



---

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE  
SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE DE  
MORELIA**

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:  
ERICK OLIVER CERVANTEZ GUTIÉRREZ

ASESOR:  
DRA. ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN

MORELIA, MICH.

AGOSTO 2006

# ÍNDICE

RESUMEN	3
OBJETIVO	4
INTRODUCCIÓN	5
1. ASPECTOS FÍSICOS	20
1.1. Zona de estudio	
1.2. Rasgos climatológicos	
2. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS	39
2.1. Población	
2.2. Vivienda	
2.3. Transporte	
2.4. Servicios Públicos	
2.5. Vías de Comunicación	
3. ACTIVIDAD ECONOMICA	44
3.1. Principales Sectores, Productos y Servicios	
4. CONTAMINANTES ATMOSFERICA	47
4.1. Origen de los contaminantes.	
4.1.1. Contaminantes primarios.	
4.1.2. Contaminantes secundarios.	
4.2. Contaminantes criterio	
4.2.1. Monóxido de carbono	
4.2.2. Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	
4.2.3. Clorofluorcarbonos (CFC)	
4.2.4. Contaminantes atmosféricos peligrosos(HAP)	
4.2.5. Plomo	

4.2.6.	Ozono (O <sub>3</sub> )	
4.2.6.1.	Descripción de los daños causados por el ozono	
4.2.6.2.	Efectos sobre los metales y materiales de construcción	
4.2.6.3.	Efectos sobre pinturas	
4.2.7.	Oxido de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	
4.2.7.1.	Efectos de los óxidos de nitrógeno	
4.2.8.	Partículas	
4.2.9.	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	
5.	EMISIONES ATMOSFERICAS	71
5.1.	Tipo de emisiones	
5.2.	Métodos de estimación de emisiones de sustancias contaminantes de la atmósfera	
5.3.	Inventario	
5.4.	Concentraciones industriales	
6.	NORMAS Y LEYES	91
7.	CONCLUSIONES	94
8.	BIBLIOGRAFIA	97

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo es el esfuerzo conjunto de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, el CONACYT, y la SRMARNAP.

Deseo expresar mi agradecimiento a CONACYT por el apoyo obtenido durante este proceso de la elaboración de esta tesis, también quiero dar un especial agradecimiento a mi asesora la Dra. Elia M. Alonso Guzmán por todo el apoyo y la atención que ella me brindo para resolver todas mis dudas así como el valioso tiempo que empleo para atenderme.

## RESUMEN.

Esta tesis hace una compilación de los últimos 30 años de los datos atmosféricos de la Ciudad tomado en la Estación Meteorológica de la Comisión Nacional del Agua ubicada al norte de la ciudad de Morelia, en las inmediaciones del Tecnológico de Morelia “José María Morelos y Pavón”.

Reúne también los diferentes monitoreos ambientales realizados por la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Michoacán y el H. Ayuntamiento de la Ciudad de Morelia.

Los datos muestran en lo general que el ambiente meteórico puede clasificarse como atmósfera de baja reactividad para provocar la corrosión, en nuestro caso específico la corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto armado.

Esta misma atmósfera, es también de mediana reactividad para provocar carbonatación de la matriz de concreto hidráulico.

Pero la velocidad y dirección de los vientos dominantes, permite que las partículas antropogénicas sean transportadas y depositadas en las fachadas expuestas de los monumentos históricos del Primer Cuadro de la Ciudad.

La velocidad de los vientos dominantes no es tal que permita el deterioro por abrasión mecánica.

Si es un momento propicio para investigar cómo y cuánto es lo que se emite al aire que respiramos vía los vehículos automotores públicos y privados y diseñar una estrategia que permita disminuir las emisiones vertidas a nuestra atmósfera antes de que el problema se agudizara.

Estudios como el presente deben continuar realizándose, con otros equipos, en otras ciudades, bajo otras ópticas e incluir otros datos que pudieran obtenerse a futuro para estar en posibilidad de hacer proyecciones a futuro.

## **OBJETIVO**

Esta investigación caracteriza la calidad del aire y meteórica de Morelia a fin de que sus habitantes e interesados puedan continuar con la aplicación que les parezca más importante, según su interés sea la salud, el deterioro de materiales, la corrosión, la invención de materiales protectores, la ecología, los combustibles, en fin.

Como ingenieros civiles, nos parece interesante, clasificar de alguna manera el ambiente para considerar los efectos que pueda tener sobre los materiales construcción.

Quizás a los profesionales de la salud les sea útil desde el punto de vista del efecto sobre la salud de sus habitantes.

A las autoridades les dará una idea para tomar decisiones sobre las emisiones contaminantes y sus localizaciones, cómo remediar, prevenir, paliar.

Los efectos específicamente meteorológicos no son manipulables pero si modificables a mediano y largo plazo: controlando las emisiones de los vehículos automotores, reforestando para limpiar la atmósfera de CO<sub>2</sub> y recargar los mantos freáticos, obligando a las empresas contaminantes a hacer trabajos de remediación, de limpieza, destinar parte de sus impuestos a la investigación.

El problema de la contaminación del aire no es grave en la ciudad pero sí es el momento adecuado de ir tomando cartas en el asunto en la prevención y tratamiento del problema.

# INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

El aire es un elemento esencial para la existencia de todo ser vivo. Sin agua podríamos sobrevivir algunos pocos días, pero sin aire moriríamos irremediablemente a los pocos minutos.

Nuestro cerebro, compuesto por neuronas, se alimenta principalmente de aire y de glucosa, si tenemos hipoxia nuestras neuronas mueren y perdemos capacidades.

El aire no puede ser totalmente puro, sin embargo a medida que el hombre “progresó” sobre la faz de la Tierra y descubre nuevas maneras de facilitar su trabajo, su transporte, la producción en serie, la siembra y cosecha masiva, el transporte rápido, vierte más y más desechos a la atmósfera, muchos de los cuales, quedan suspendidos en el aire y los aspiramos, causando daños a nuestra salud, otros desechos en forma de partículas también se mantienen en la atmósfera y cuando hay precipitaciones acidifican el agua causando daños en las flora, la fauna, la especie humana, las construcciones.

Las plantas verdes, que procesan clorofila son capaces de absorber el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera y convertirlo en  $\text{O}_2$ , pero a la fecha estamos excediendo la capacidad de los árboles para realizar tal conversión, estamos produciendo una gran cantidad de  $\text{CO}_2$ , que no ha podido ser absorbida. Se ha dicho que una de las causas de la desaparición de los dinosaurios es que un meteorito chocó contra la tierra, en Ixquib, en la península de Yucatán, México y que al chocar provocó tal cantidad de polvo atmosférico que la luz del sol fue incapaz de atravesar nuestra enrarecida atmósfera y propiciar el proceso químico de la fotosíntesis y los vegetales fueron incapaces de procesar el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera convirtiéndolo en  $\text{O}_2$ , muriendo los vegetales y los pleistosaurios, iguanodontes y sus congéneres, murieron de inanición. [1]

Hay otros compuestos como los fluorocarburos, HCFC, que antes se usaban masivamente para atomizar substancias en los aerosoles comerciales que se elevaron a la parte superior de la atmósfera formando nuevos compuestos y destruyendo el  $\text{O}_3$  de la misma, y que no es posible monitorear por ciudades. Estos compuestos migran hacia los polos, específicamente al Polo Sur, Círculo Polar Antártico y su acumulación se observa ahora en forma de oquedades en la capa de ozono [2]



Diariamente nuestros pulmones filtran, aproximadamente, 15 kg de aire atmosférico mientras que solo absorbemos 2,5 kg de agua y menos de 1,5 kg de alimento [3] una persona adulta inhala de 13.000 a 15.000 litros de aire por día [4].

Según un estudio que la Comisión Europea (CE) presentará en breve y cuyos resultados han sido ya difundidos por la prensa germana, a nivel europeo mueren anualmente 310.000 personas por enfermedades respiratorias y del sistema circulatorio generadas por los gases de escape de motores Diesel y por polvos finos y otras partículas en suspensión [5]. La industria, produce más del 40% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono, no sólo por sus procesos químicos de conversión, también por los combustibles fósiles que emplea en su manufactura, los cuales al quemarse emiten azufre y CO<sub>2</sub> [6]

El aire es un elemento esencial para la existencia de todo ser vivo. Diariamente nuestros pulmones filtran, aproximadamente, 15 kg de aire atmosférico mientras que solo absorbemos 2,5 kg de agua y menos de 1,5 kg de alimento [3].

La contaminación del aire existe cuando los elementos que lo conforman sufren alteraciones o cuando se presentan sustancias extrañas en el mismo. Los contaminantes presentes en el aire pueden ser sólidos y gaseosos.

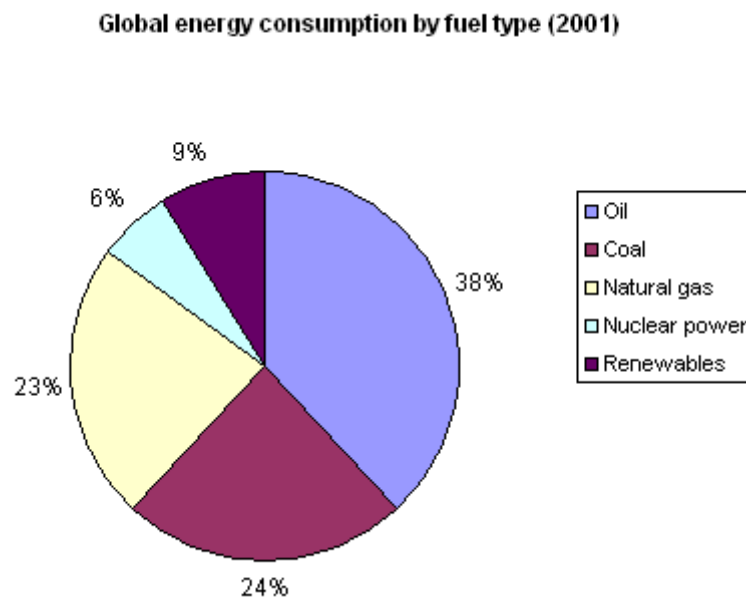
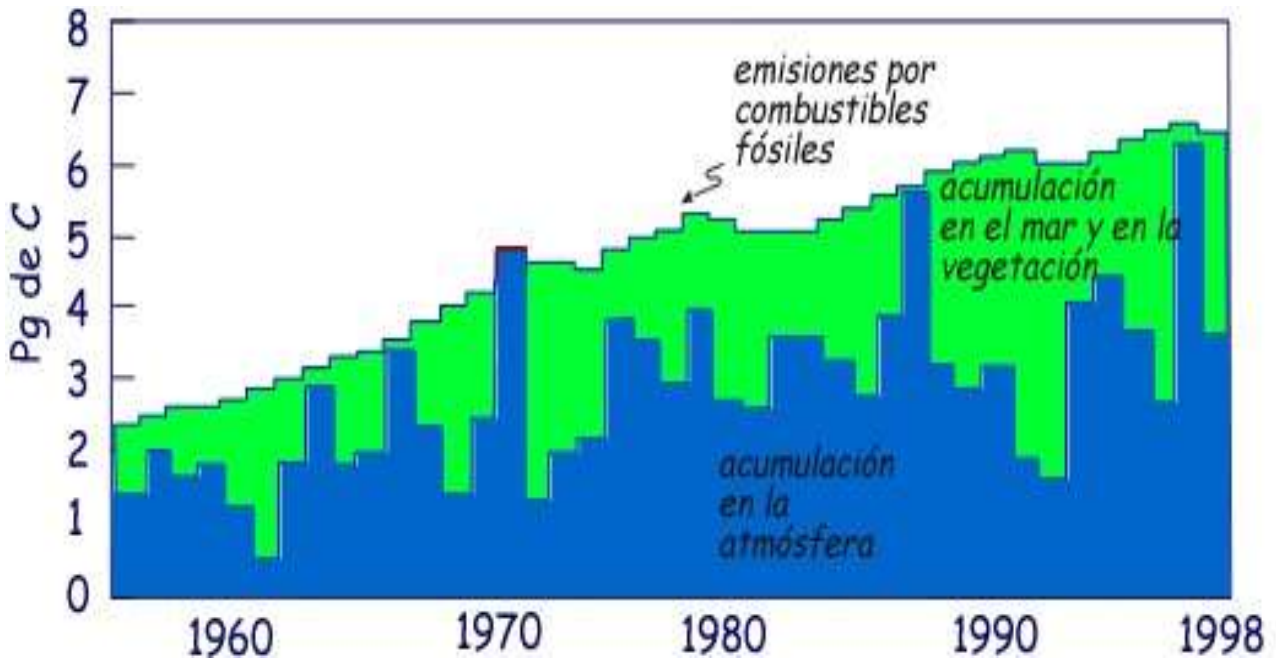
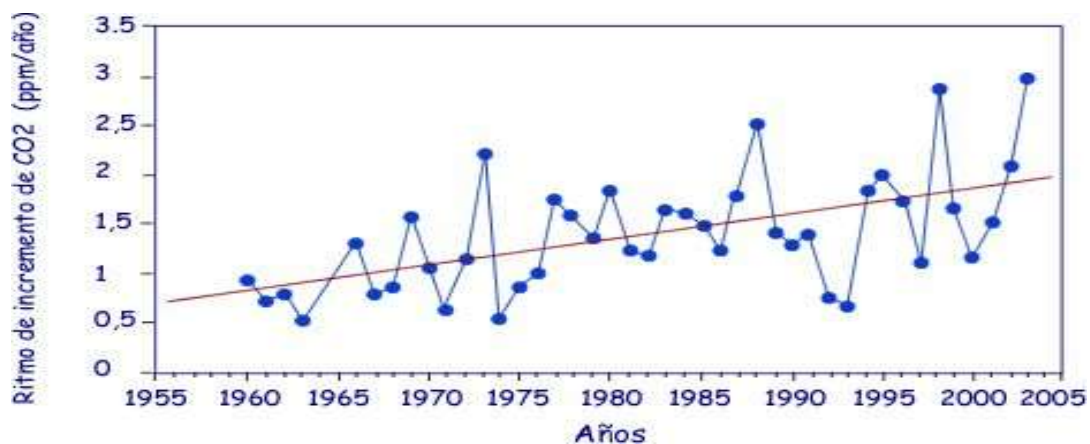


Figura Número 1 Referencia; <http://www.lenntech.com/espanol/Efecto-invernadero/combustibles-fosiles.htm>



Emisiones globales antrópicas de  $\text{CO}_2$  en petagramos de carbono al año. Solamente una parte del  $\text{CO}_2$  emitido (la mitad aproximadamente) se acumula en la atmósfera (área azul) ya que es considerable la parte del  $\text{CO}_2$  que es absorbida fotosintéticamente por el plancton oceánico y la vegetación terrestre (área verde), con lo que aumenta así la biomasa terrestre.

Referencias: IPCC 2001, Climate Change 2001, Cambridge University Press; Quay P., 2002, Ups and Downs of  $\text{CO}_2$  uptake, Science, 298, 2344



Las emisiones superan ya los 6 PgC/año, pero el incremento atmosférico es muy desigual de un año para otro. En la figura se representa el aumento anual en ppm de CO<sub>2</sub> desde el año 1959 hasta el 2003 medido en Mauna Loa (Hawai).

Notas: Pg (Petagramo) = Gt (Gigatonelada) = mil millones de toneladas

Las emisiones vienen dadas en petagramos de carbono. En petagramos de CO<sub>2</sub> son 3,6 veces más. 2,12 Petagramos de carbono equivalen a 1 ppm en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>. [7]

La parte que estudiamos para conocer su calidad del aire es la atmósfera, la atmósfera se divide en tres capas principales:

1) TROPÓFERA: es en la que se desarrolla la vida, llega a una altura de más o menos 10 Km. Su nombre quiere decir zona de turbulencias; dentro de la troposfera se desarrollan los fenómenos climáticos que podemos observar, como vientos, lluvias, temperaturas, y casi toda la formación de nubes, salvo los cúmulos nimbus que son las únicas nubes que superan los 11 Km. de altura.

2) ESTRATÓFERA: alcanza una altura de 80 Km., aquí encontramos al famoso ozono que es una combinación de los radicales libres del oxígeno que nos protege filtrando la radiación ultravioleta.

3) TERMÓFERA: es el límite que nos separa del espacio exterior [8]

Total CO<sub>2</sub> Emission by Countries 1995  
Classified by absolute emission Ton/y

Pais		Ton/y	%	Population	CO2 kg/cap	Area km2 T	CO2 on/km2	Satn%	Factor
United Status	1	5.98E+09	23.32	261000000	22924	9300000	643.4	30.6	2.38
China	2	3.32E+09	12.96	1191000000	2790	9141000	363.5	17.3	1.35
Russia	3	1.87E+09	7.28	148400000	12580	17075000	109.3	5.2	0.4
Japan	4	1.36E+09	5.3	125000000	10885	378000	3599.5	171.2	13.33
Germany	5	1.20E+09	4.66	81500000	14677	357000	3350.7	159.4	12.41
India	6	9.14E+08	3.56	913400000	1000	3266000	279.7	13.3	1.04
United Kingdom	7	6.28E+08	2.45	58400000	10747	245000	2561.8	121.9	9.49
Canada	8	5.60E+08	2.18	29200000	19184	9976000	56.2	2.7	0.21
Italy	9	4.82E+08	1.88	57100000	8445	301000	1602.1	76.2	5.93
Korea, South	10	4.41E+08	1.72	44500000	9918	99000	4458	212	16.51
France	11	4.33E+08	1.69	57900000	7474	552000	784	37.3	2.9
Australia	12	4.13E+08	1.61	17800000	23176	7713000	53.5	2.5	0.2
Ukraine	13	4.12E+08	1.61	51900000	7935	604000	681.8	32.4	2.52
Poland	14	4.08E+08	1.59	38500000	10598	313000	1303.6	62	4.83
South Africa	15	3.87E+08	1.51	40500000	9564	1221000	317.2	15.1	1.17
Mexico	16	3.85E+08	1.5	88500000	4346	1958000	196.4	9.3	0.73
Spain	17	3.10E+08	1.21	39100000	7940	505000	614.8	29.2	2.28
Brazil	18	2.98E+08	1.16	159100000	1870	8512000	35	1.7	0.13
Iran	19	2.74E+08	1.07	62400000	4384	1648000	166	7.9	0.61
Saudi Arabia	20	2.66E+08	1.04	17800000	14961	2150000	123.9	5.9	0.46
Total 20 group		2.03E+10		3483000000	5840	75314000	270.1	12.8	
World %		80.9		62.19		37.77			

CO<sub>2</sub> Emission classified by level of kg CO<sub>2</sub> per capita

Country		Ton/y	%	Population	CO2 kg/per	Area km2	CO2 Ton/km2	
Australia	1	413000000	1.61	17800000	23176	7713000	53.5	2.5
United States	2	5980000000	23.32	261000000	22924	9300000	643.4	30.6
Canada	3	560000000	2.18	29200000	19184	9976000	56.2	2.7
Saudi Arabia	4	266000000	1.04	17800000	14961	2150000	123.9	5.9
Germany	5	1200000000	4.66	81500000	14677	357000	3350.7	159.4
Russia	6	1870000000	7.28	148400000	12580	17075000	109.3	5.2
Japan	7	1360000000	5.3	125000000	10885	378000	3599.5	171.2
United Kingdom	8	628000000	2.45	58400000	10747	245000	2561.8	121.9

Poland	9	408000000	1.59	38500000	10598	313000	1303.6	62
Korea, South	10	441000000	1.72	44500000	9918	99000	4458	212
South Africa	11	387000000	1.51	40500000	9564	1221000	317.2	15.1
Italy	12	482000000	1.88	57100000	8445	301000	1602.1	76.2
Spain	13	310000000	1.21	39100000	7940	505000	614.8	29.2
Ukraine	14	412000000	1.61	51900000	7935	604000	681.8	32.4
France	15	433000000	1.69	57900000	7474	552000	784	37.3
Iran	16	274000000	1.07	62400000	4384	1648000	166	7.9
Mexico	17	385000000	1.5	88500000	4346	1958000	196.4	9.3
China	18	3320000000	12.96	1191000000	2790	9141000	363.5	17.3
Brazil	19	298000000	1.16	159100000	1870	8512000	35	1.7
India	20	914000000	3.56	913400000	1000	3266000	279.7	13.3

CO2 Emission classified by ton CO2 / km2

Country		Ton/y	%	Population	CO2 kg/per	Area km2	CO2 Ton/km2	Satn%
Korea, South	1	441000000	1.72	44500000	9918	99000	4458	212
Japan	2	1360000000	5.3	125000000	10885	378000	3599.5	171.2
Germany	3	1200000000	4.66	81500000	14677	357000	3350.7	159.4
United Kingdom	4	628000000	2.45	58400000	10747	245000	2561.8	121.9
Italy	5	482000000	1.88	57100000	8445	301000	1602.1	76.2
Poland	6	408000000	1.59	38500000	10598	313000	1303.6	62
France	7	433000000	1.69	57900000	7474	552000	784	37.3
Ukraine	8	412000000	1.61	51900000	7935	604000	681.8	32.4
United States	9	5980000000	23.32	261000000	22924	9300000	643.4	30.6
Spain	10	310000000	1.21	39100000	7940	505000	614.8	29.2
China	11	3320000000	12.96	1191000000	2790	9141000	363.5	17.3
South Africa	12	387000000	1.51	40500000	9564	1221000	317.2	15.1
India	13	914000000	3.56	913400000	1000	3266000	279.7	13.3
Mexico	14	385000000	1.5	88500000	4346	1958000	196.4	9.3
Iran	15	274000000	1.07	62400000	4384	1648000	166	7.9
Saudi Arabia	16	266000000	1.04	17800000	14961	2150000	123.9	5.9
Russia	17	1870000000	7.28	148400000	12580	17075000	109.3	5.2
Canada	18	560000000	2.18	29200000	19184	9976000	56.2	2.7
Australia	19	413000000	1.61	17800000	23176	7713000	53.5	2.5
Brazil	20	298000000	1.16	159100000	1870	8512000	35	1.7

Información de Total CO<sub>2</sub> Emission by Countries 1995 anexo,  
[<http://www.combussem.com/WENCO2.HTM>]

En la tabla anterior podemos observar que México se encuentra en la por debajo de las primeras diez posiciones donde en el país de México se encuentra la ciudad mas poblada del mundo que es DF por lo cual podemos decir que es una de las mas contaminadas.

La contaminación del aire existe cuando los elementos que lo conforman sufren alteraciones o cuando se presentan sustancias extrañas en el mismo. Los contaminantes presentes en el aire pueden ser sólidos y gaseosos.

La contaminación destruye los materiales de construcción [9]. Las mayores pérdidas provienen del deterioro causado en los frentes de edificios, metales, textiles y pinturas, ciertas piedras y mármoles utilizados en edificios, especialmente los de naturaleza calcárea se deterioran cuando el contenido de bióxido de carbono es anormalmente elevado, si la humedad del aire es alta, pueden producirse soluciones ácidas que terminan por atacar y decolorar las piedras. Además cuando el aire es húmedo y contiene bióxido de azufre este puede oxidarse transformándose en trióxido de azufre y dar lugar a neblinas o nieblas ácidas que perjudican seriamente al hierro y otros materiales. Otro aspecto adverso de los óxidos de azufre es que otorgan una pátina de óxido verdoso sobre las superficies de cobre. Los óxidos de azufre y el ácido sulfúrico resultante deterioran papeles y textiles que se tornan amarillentos y quebradizos. El hollín y otras partículas oscuras se adhieren fácilmente a paredes y cielorrasos dándoles un aspecto desagradable y ruinoso.

Los contaminantes ambientales en la atmósfera urbana son varios y numerosos, y causan serio daño a los monumentos históricos. Los procesos de deterioro y transformación de los diferentes componentes del material son mayormente debidos a contaminantes sulfúricos, metales pesados, alquenos de la combustión de petróleo, residuos animales, hongos, etc., todos ellos con las condiciones ambientales. El principal proceso de alteración ocurre en la superficie del material. Estudios diferentes han mostrado que las capas superficiales de los materiales ornamentales pueden contener muchos compuestos del medio ambiente y/o de los procesos de alteración [Del Monte, M., C. Sabbioni and O. Vittori, "Urban stone sulphation and oil-fired carbonations particles", Science of the Total Environment, Volume 36, 1984, pp 369-376; Baedecker, P.A., M.M. Reddy, K.J. Reimann and C.A. Sciammarella, "Effects of acidic deposition on the erosion

of carbonate stone. Experimental results from the U.S. national acid precipitation assessment program (NAPAP)", *Atmospheric Environment*, Volume 26-B, 1992, pp 147-158; Perez-Rodriguez, J.L., C. Maqueda, M.C. Jimenez de Haro and P. Rodriguez-Rubio, "Effect of Pollution on Polychromed Ceramic Statues", *Atmospheric Environment*, Volume 32, number 6, 1998, pp 993-998; Saiz-Jimenez, C. "Deposition of airborne organic pollutants on historic buildings", *Atmospheric Environment*, Volume 27-B, 1993, pp 77-85; Saiz-Jimenez, C. "Deposition of anthropogenic compounds on monuments and their effect on airborne microorganisms" *Aerobiologia* No. 11, 1995, pp 161-17].

Se han realizado muchos estudios acerca de las condiciones ambientales en el deterioro de los monumentos europeos. Mayormente, la atención está dirigida a los efectos del deterioro inducido antropogénicamente [Leysen, L., Roekens, E. and Van Grieken, R, "Air-pollution-induced chemical decay of a sandy-limestone cathedral in Belgium". *The Science of the Total Environment*, Volume 78, 1989, pp 263-287; Fassima, V., "A survey of air pollution and deterioration of stonework in Venice", *Atmospheric Environment*, Volume 12, 1978, pp 2205-2211]. El deterioro antropogénico es el inducido por el hombre, en este caso por el uso de vehículos que emplean combustibles fósiles y su uso se ha generalizado a partir de la segunda mitad del siglo XX. [Coursimault, A., Donati, J. and Viellard, H. "La pollution Automobile due aux hydrocarbures aromatiques monocycliques á Paris", *The Science of the Total Environment*, Number 1-3, Volume 169, 1995, pp 17-23]. Es ampliamente creído que los porcentajes de deterioro se han acelerado desde los últimos 50 años. Cuantificar los porcentajes de deterioro de diferentes tipos de rocas encontrados en edificios históricos es un importante paso en la formulación de estrategias para reducir el deterioro [O'Brien, P.F., E. Bell, S. Pavia Santamaria, P. Boyland and T.P. Cooper, "Role of mortars in the decay of granite", *The Science of the Total Environment*. Volume 167, 1995-a, pp 103-110; O'Brien, P.F., E. Bell, T.L.L. Orr and T.P. Cooper. "Stone loss rates at sites around Europe", *The Science of the Total Environment*, Volume 167, 1995-b, pp 111-121].

Desde los modelos automotores modelo 1995, se están emitiendo 75 % menos CO, 70 % menos HC y 65 % menos NO que los modelos anteriores [Bishop, G.A, Stedman, D.H, de la Garza, J. and Davalos, F.J. "On-Road Remote Sensing of Vehicle Emissions in Mexico", *Environmental Science and Technology*, Volume 31, 1997, pp 3505-3510] y desde el período 1991-1994, México ha instituido muchas nuevas iniciativas

para reducir las emisiones ligeras incluyendo un agresivo programa para renovar el parque vehicular de los carros de alquiler y una fase nacional de reducción de estándares de emisiones para los nuevos vehículos de gasolina comenzando a partir de los modelos 1989 [Diario Oficial de la Federación. NOM-CCAT-004-ECOL/1993. Octubre 22, 1993]; a partir de 1999 el Instituto Mexicano del Petróleo inició un intenso programa de investigación tendiente a minimizar en lo posible las emisiones de contaminantes que han disminuido de entre 600 y 800 ppm de azufre [Schifter, Issac, Comunicación Personal, IPM, 2000]. La Ciudad de Morelia no es una ciudad con gran número de industrias; la mayor parte de los contaminantes provienen de los vehículos automotores y del servicio público de transporte, teniéndose un total de 250,000 vehículos por día en la Ciudad, esto incluye a los vehículos que emplean diesel; esto también ocurre en otros sitios turísticos en el mundo, como lo mostró el Programa Nacional Italiano de Energía para 1989, que informó que 50 % del polvo es debido al sector transporte. [Realini, M., Negrotti, R., Appollonia, L. and Vaudan, D. "Deposition of particulate matter on stone surfaces; an experimental verification of its effects on Carrara marble", The Science of the Total Environment, Volume 167, 1995, pp 67-72].

Los mecanismos por los cuales los contaminantes del aire dañan los materiales pueden clasificarse como:

1) Abrasión. Las partículas sólidas de tamaño suficiente viajan a grandes velocidades y pueden causar abrasión destructiva;

2) Depositación y remoción. Las partículas sólidas depositadas sobre una superficie pueden no causar ningún daño directo, otras causan decoloración, pero la remoción del depósito causa algún deterioro. Además, la presencia de partículas de basura en una superficie aumentan los efectos producidos por los gases contaminantes provocando un gran número de centros de reacción;

3) Ataque químico directo, algunos contaminantes aéreos reaccionan irreversiblemente con las superficies causando daño; por ejemplo los óxidos de azufre, especialmente el trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) puede reaccionar directamente con el mármol o la caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) para producir yeso;

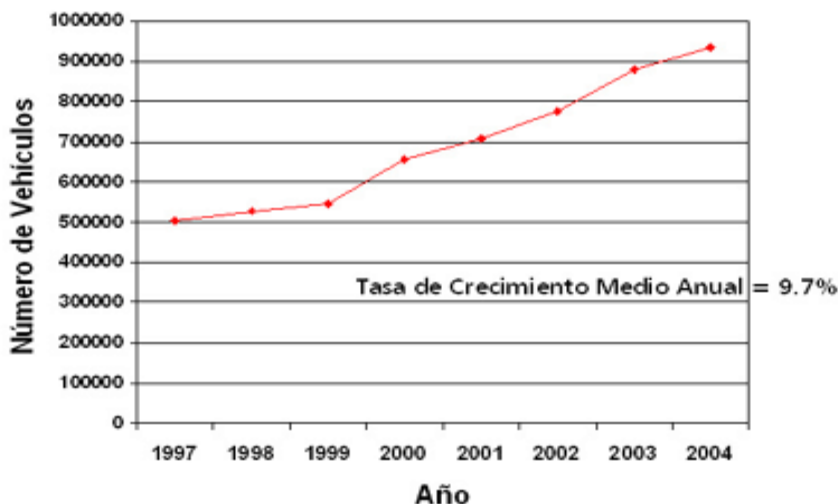
4) Ataque químico indirecto, ciertos materiales absorben contaminantes y se dañan cuando los contaminantes se someten a cambios químicos. El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), por ejemplo, absorbo en la piel (cuero) se convierte en ácido sulfúrico que la debilita;



5) Corrosión electromecánica, los gases ácidos como el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y el trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) en presencia de humedad aumentan la superficie conductora de hierro, acero y otros metales, acelerando la corrosión [9].

Se toma más tiempo que los contaminantes aéreos solos, dañen los materiales. Una cantidad de otras condiciones ambientales fuertemente influyen a la relación a la cual los contaminantes dañan los materiales: 1) Humedad; como se hizo notar antes, la humedad se requiere para causar la corrosión del hierro y acero, en presencia de óxidos de azufre. Las muestras de acero en ambientes secos que contienen dióxido de azufre no se corroen. 2) Temperatura; cualquier reacción química de deterioro se incrementará con la temperatura, además, una superficie que está debajo del punto de rocío de temperatura causará condensación en la superficie y aumentará la reacción con gases contaminantes solubles. 3) Congelamiento y deshielo; si las temperaturas están por debajo del punto de congelamiento del agua, los ciclos de congelamiento y deshielo causan grietas y exfoliación de las rocas, exponiendo nuevas superficies a los contaminantes reactivos [Yocom, J.E., "Air pollution damage to buildings on the Acropolis", Journal of the Air Pollution Control Association, Volume 29, Number 4, 1979, pp 333-338]

### *Crecimiento del Parque Vehicular en el Estado*



*Elaborada con datos de la TGE (Dirección de Ingresos)*

Figura 2; Referencia: [http://www.michoacan.gob.mx/gobierno/verifica\\_prog.php](http://www.michoacan.gob.mx/gobierno/verifica_prog.php)

Entre otros muchos problemas la nuestra es una ciudad que presenta ya niveles de contaminación considerables. Hablar de este tema no únicamente debe remitirnos hacia la agresión que a diario propiciamos en contra de nuestra atmósfera. La contaminación visual y auditiva también pone en riesgo la salud de los morelianos.

Lo cierto es que Morelia fue diseñada y construida a lo largo del paso del tiempo para un número de habitantes muy inferior a los cerca del millón que actualmente vivimos en ella, situación que ya de entrada complica la habitabilidad en su interior. Crecimiento urbano desordenado, vialidades insuficientes y sin la posibilidad inmediata de mejora, marginación, pobreza y desempleo, pésimo servicio de transporte público y un aumento en los vehículos que circulan a diario en la ciudad son tan sólo algunas aristas de la problemática urbana de «las canteras rosas».

La contaminación es un tema que debería interesarnos a todos por igual. Considerar que diariamente circulan en Morelia cerca de 220 mil vehículos (cifra del parque vehicular) por las maltrechas calles y avenidas estrechas es ponderar la gravedad del caso.

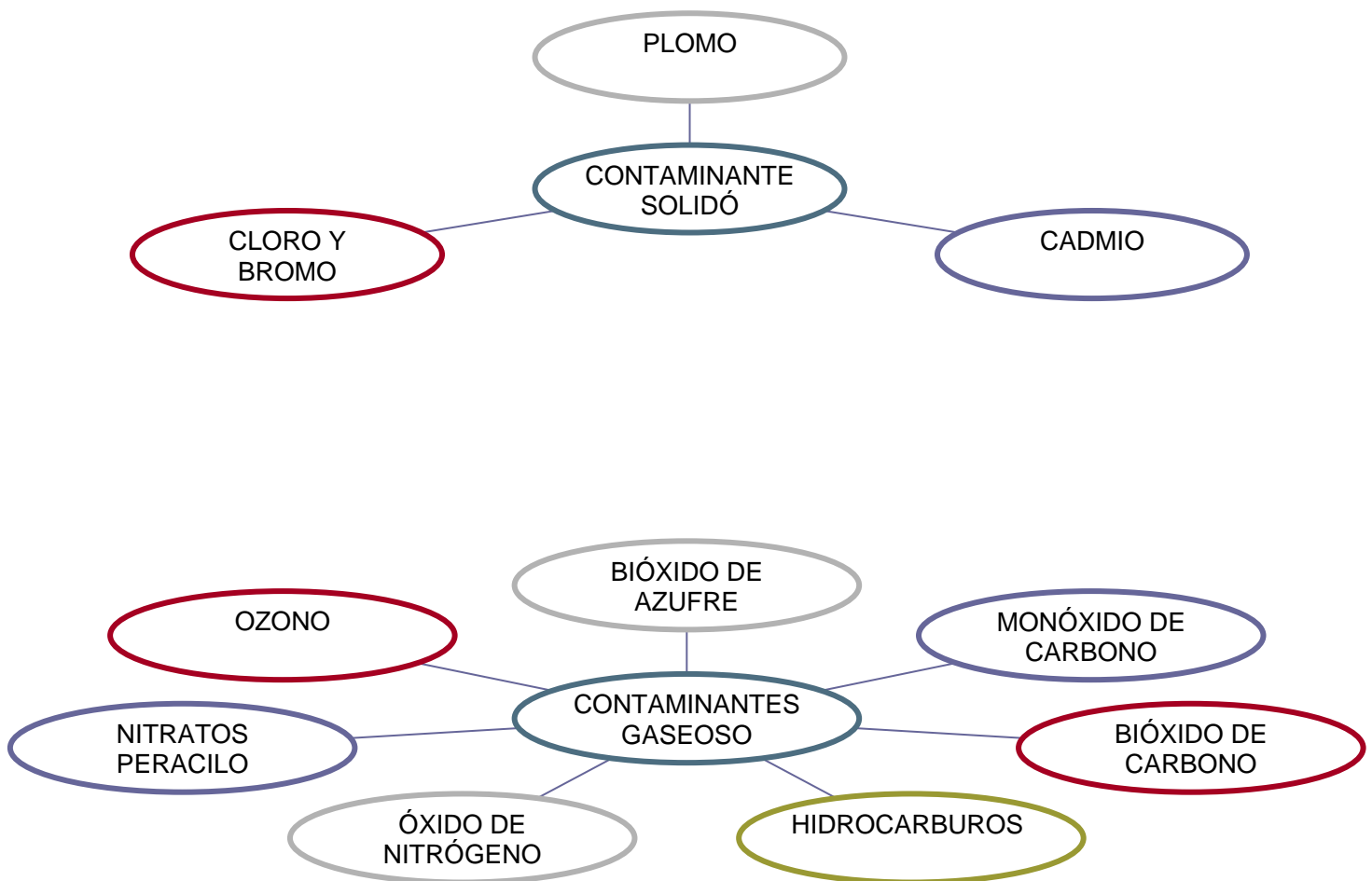
Tan sólo basta compararnos con la ciudad de León, Guanajuato, que con todo y sus vialidades y puentes elevados de primera, cuenta entre su parque vehicular con cerca de 150 mil vehículos.

Sin embargo el asunto no es complicado únicamente por el número, sino por las condiciones en que se encuentra un porcentaje importante del parque vehicular. La tremenda concentración de motores en una porción de tierra pequeña como lo es nuestra ciudad comienza a contaminar seriamente nuestro medio ambiente. Nuestra responsabilidad es no permitir que los niveles alcancen condiciones incontrolables cuando ya nada haya que hacer.

Desde 1997 el Protocolo de Kyoto advierte del peligro en el que se encuentra nuestro planeta producto del calentamiento global y la emisión de gases efecto invernadero, y se constituye como un instrumento que pone reglas jurídicas internacionales vinculantes entre las naciones y al mismo tiempo de observancia necesaria e impostergable. Entre algunas de las metas importantes del mencionado protocolo está la que dicta que los países industrializados deberán reducir sus emisiones

de gases de efecto invernadero a cinco por ciento menos de lo que emitían en 1990; las metas deberán ser alcanzadas entre los años 2008 y 2012. En México, 65 por ciento de los gases de efecto invernadero corresponden a los sectores energético, industrial y de transporte, dato que nos debe alertar y no sólo preocupar sino ocupar.

La emisión de gases de los miles de vehículos que circulan por esta urbe debe ser supervisada, controlada y en su momento sancionada conforme a la Ley de Equilibrio Ecológico de Michoacán. [10]



En nuestro país se miden y se norman los siguientes contaminantes atmosféricos: bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ), partículas suspendidas totales (PST), partículas menores a 10 micrómetros de diámetro (PM10) y plomo (Pb). Para cada uno de estos contaminantes se cuenta con un

estándar o norma de calidad del aire. Las normas de calidad del aire establecen las concentraciones máximas de contaminantes en el ambiente que no debieran sobrepasarse más de una vez por año, para que pueda garantizarse que se protege adecuadamente la salud de la población. La integración de los resultados correspondientes a los diferentes parámetros que ayudan a concebir en conjunto la calidad del aire se denomina índices de calidad.

En México al igual que en otros países, se han desarrollado índices de contaminación que son entendidos más fácilmente. En nuestro país se usa el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), según el cual la concentración que señala la Norma de Calidad del Aire para cada contaminante le corresponde a 100 puntos IMECA.

En el estado de Michoacán las siglas IMECA durante el periodo de 1995 y 2000, fueron remplazados por ICAM (Índice de Calidad de Michoacán) y éste no se sustenta sobre mediciones continuas o frecuentes durante un periodo de tiempo representativo de la anualidad o por la simultaneidad de la misma.

Las normas vigentes de calidad del aire fueron publicadas por la Secretaría de Salud y son elaboradas por ésta, en coordinación con la SEMARNAT y con la participación de representantes de la academia, de los sectores productivos y de grupos ambientalistas [11].

En la actualidad los efectos de la contaminación del aire en el estado de Michoacán se comienzan a manifestar en los principales centros urbanos, como son; Morelia, Lázaro Cárdenas, Zamora, Zitácuaro, Uruapan y Apatzingán. Las causas principales de este fenómeno son: el uso de combustibles impuros, la cantidad de automotores, deficiencia en el mantenimiento vehicular, intensidad energética en los procesos industriales y la quema de carbón de leña y madera para la obtención de combustible y preparación de alimentos, así como, la falta de reglamentos eficientes en materia de calidad del aire.

Hasta ahora, el monitoreo de las condiciones atmosféricas que se realizan en el estado es incipiente para conocer la calidad del aire e implementar las acciones previas y correctivas. Morelia es la primera ciudad que ha planteado un esfuerzo de registro, pero,

lamentablemente ha sido poco significativo por la falta de equipo e infraestructura para dichas acciones.

En 1994 se generaron los primeros datos de un diagnóstico ambiental para Morelia, Zamora, Zitácuaro, Uruapan y Lázaro Cárdenas, esta información no fue del conocimiento público y, desafortunadamente, no se puede establecer un punto comparativo para programas que se realicen en un futuro [12].

# ASPECTOS FÍSICOS

## 1. ASPECTOS FÍSICOS

### 1.1 ZONA DE ESTUDIO

#### **Antecedentes.**

Morelia, nombrada así en honor del Generalísimo José María Morelos y Pavón, es la Capital de la Entidad Federativa de Michoacán, llamada Michoacán de Ocampo; ésto último en honor de Don Melchor Ocampo (liberal mexicano, 1814-1861), a quien debemos la Epístola de Ocampo en los contratos nupciales.[13]

En, 1541, el sitio ideal para fundar la nueva ciudad de Michoacán se encontró en el valle de Guayangareo, sobre una loma de suaves declives y rodeada por un foso natural formado por los cauces de los ríos Chiquito y Grande. El valle se encuentra limitado por montañas: al oriente el Punhuato y al noroeste el Quinceo, mientras que al sur y al norte se diluye en un lomerío de poca altura. La loma sobre la cual se asienta la ciudad se localiza en el extremo oriente del Valle y se eleva a 1917 m. s.n.m. La tercer prominencia de la loma la ocupa la Catedral, 1908 m., y luego se desplaza al caserío construido de cantera rosa procedente del subsuelo, del cual parece brotar espontáneamente, el escalonamiento de construcciones que se admira desde cualquier punto cardinal por el cual se llegue a la ciudad. Morelia y su valor histórico Asentamiento pre-hispanico: Centro Ceremonial En el valle de Guayangareo y sus laderas se han encontrado, en varios sitios, asentamientos urbanos; en ellos se manifiesta claramente el centro de la comunidad constituido por el área ceremonial. En la ladera de Santa María aparecen huellas de estructuras cuya presencia del talud y tablero, así como el patio, rector de espacios cerrados, relaciona este grupo con los habitantes de Teotihuacan.

Durante el periodo Post-clásico, etapa militarizada, llegó al valle un grupo matlatzinca, que recibió estas tierras en pago por servicios militares que prestaron a los tarascos; su presencia ha quedado manifestada en diversos sitios del valle. Asentamiento Español: Tipo Aldea

En 1531 antes de ser fundada oficialmente la villa, los franciscanos Fray Juan de San Miguel y Fray Antonio de Lisboa llegaron al valle de Guayangareo y organizaron un poblado cerca del templo de Capuchinas. Desde allí iniciaron su labor evangelizadora y de aculturación entre los indígenas que se encontraba dispersos en el paraje. Con la aldea comienza un nuevo patrón de asentamiento urbano, que si bien, no era desconocido en Mesoamérica pre-hispanica, sí lo lo habían desarrollado grandes grupos humanos, donde el área de vivienda se ordenaba bajo previo proyecto. Ciudad de Michoacán en 1541

Históricamente la ciudad de Michoacán nace en 1541, año en que el Virrey Antonio de Mendoza cede a las presiones que le hicieron los encomenderos de Michoacán, quienes solicitaron insistentemente la fundación de una ciudad española que fuera núcleo de futuras expansiones y donde no se les pusiera cortapisa a su libertad. Así, obedeciendo a una causa política se diseña la ciudad española con una planificada traza urbana, misma que presenta un doble significado, ya que en ella se conjuga el humanismo renacentista con la religiosidad de la Edad Media, la arquitectura religiosa se vuelve rectora de la traza. La razón y la religión se entrelazan y se plasman en el suelo de la ciudad, conceptos que responde a filosofías aparentemente opuestas pero que quedaron conjugadas dentro del mismo capítulo histórico. Ciudad Conventual, siglo XVII

En 1580 la cabecera de la diócesis de Michoacán se traslada de Pátzcuaro a Valladolid, asegurándose de esta forma el progreso de la ciudad mediante un nuevo decreto. A partir de entonces comienza la construcción de nuevos conventos y casas, según refiere el informe de 1619, que describe el estado en que se encuentra la ciudad y los barrios. "Tenía 102 vecinos españoles, con sus respectivas casas; 120 religiosos y monjas repartidos en los conventos de San Francisco, San Agustín, El Carmen, La Compañía de Jesus, La Merced y Santa Catarina de Sena y veinte colegiales en el Colegio de San Nicolás". En Valladolid se advierte ese carácter de la ciudad española, la cual concilia por un lado la urbe latina, y por otro el hermetismo de la sociedad islámica El proyecto de la Catedral duró gestionándose de 1580 a 1660, año en el cual el duque de Alburquerque, Virrey de la Nueva España, mandó que se iniciara la obra, según el proyecto de Vicente Barroso de la Escayola, edificio que venía a satisfacer las anhelos de supremacía que siempre tuvo la sociedad Vallisoletana frente a la ciudad de Pátzcuaro. Al



finalizar el siglo XVII el paisaje urbano de la ciudad lo definían las torres y cúpulas que sobresalían de la arquitectura civil. Hombre y espacio juegan dialécticamente y así han ido conformando la ciudad para dejarnos lo intangible: sentimientos, costumbres y tradiciones, en lo tangible, que es la piedra. Ciudad de terratenientes, siglo XVIII.

El siglo XVII significó para Valladolid la edad de oro. "En esta ciudad los españoles y criollos, muestran más interés en ser terratenientes, inversión más segura que las deslumbrantes fortunas habidas de la industria extractiva de las minas. Así pues, cuando las ciudades mineras decaían, la hacienda progresaba. Las autoridades civiles, el clero, los terratenientes y comerciantes mostraron gran interés en mejorar el aspecto de la ciudad, ya que ésta constituía un medio para exhibir su poder y riqueza. Las transformaciones de la ciudad en el siglo XVIII, se encaminaron más a mostrar el prestigio de clase que resolver la infraestructura urbana, ya que la ciudad seguía careciendo de un sistema sanitario, de drenaje y de distribución de agua. La ciudad de Valladolid del siglo XVIII nos recuerda a las ciudades renacentistas europeas, donde la rica burguesía regía las urbes desde el siglo XV, y construía sus palacios para exhibir su poder y riqueza. Morelia en la Independencia

En la primera mitad del siglo XIX, la ciudad de Valladolid decreció y el desarrollo arquitectónico detuvo su carrera constructiva. Causas políticas y económicas determinaron el estancamiento. El acontecimiento más importante de la primera década independiente fue el cambio de nombre de la ciudad. A raíz de la consumación de la independencia se inició el culto al caudillo insurgente Don José María Morelos, el cual nació en Valladolid y en su honor se expidió un documento el 12 de septiembre de 1828. "El congreso de Estado ha decretado lo siguiente: Desde la celebridad del 16 del corriente, quedará suprimido para siempre el nombre de Valladolid con que se ha conocido a esta ciudad, sustituyéndose por el de Morelia, en honor de su digno hijo, benemérito de la patria, ciudadano José María Morelos"[14].

Acerca de la fundación de Morelia, se cita textualmente "más atrás en el tiempo, más antes de que hubiera holladura humana en este sitio donde ahora es Morelia, más allá, donde la única memoria que nos ha llegado es la que arrojan las piedras y los estratos de la tierra, hubo en este lugar, ocupado casi seguramente por un gran depósito de agua, tremendos cataclismos, horrorosas convulsiones, espectáculos hermosos

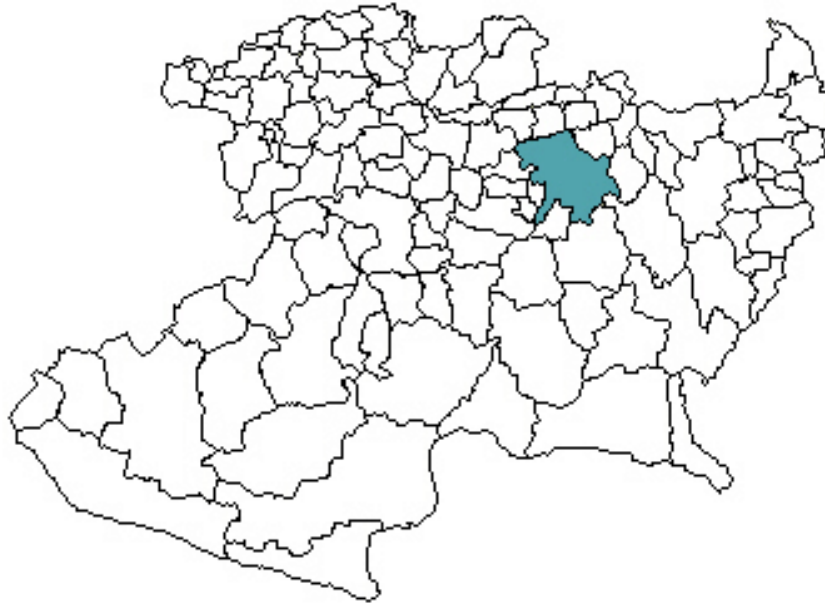
pero terroríficos que produjeron bruscos levantamientos del terreno, repliegues, depresiones y hondonadas, fisuras y altas chimeneas llenas de fuego que arrojaban incesantes fumarolas de humo y de ceniza que hacían de los días, noches. Allí, donde alguna vez se agitaron las aguas al soplar de los vientos, surgieron elevaciones de tierra y rocas empujadas inconteniblemente por los jugos plutónicos formando espesas nubes de vapor, grietas y fosas que a su vez se cubrieron en diferentes momentos de cenizas volcánicas” [Tavera Alfaro, X. “Morelia, Patrimonio de la Humanidad”, Capítulo I, Coedición Universidad Michoacana, Gobierno del Estado de Michoacán y Ayuntamiento de Morelia, 1995, pp. 11-25], de esta manera tan romántica se hace una descripción de la génesis de las canteras de ignimbrita que abundan en los alrededores de Morelia.

La Ciudad de Morelia, Capital del Estado de Michoacán de Ocampo, fue declarada como Herencia de la Humanidad por la UNESCO, dependencia de la ONU. Ser nombrada Patrimonio de la Humanidad significa que pertenece al hombre y que tenemos el deber moral de preservarla para las futuras generaciones.

La Reunión en la cual se aprobó finalmente la solicitud para lograr la citada declaración, tuvo lugar los días 9 al 13 de Diciembre de 1991, en Túnez. Esta distinción internacional se obtuvo merced a la cantidad y calidad de los monumentos histórico-arquitectónicos ubicados en el Centro Histórico de la Ciudad, conocido también como Primer Cuadro.

### **Localización**

Morelia se localiza en la zona centro-norte del Estado. Su cabecera es la capital del Estado de Michoacán. Se ubica en las coordenadas 19°42' de latitud norte y 101°11.4' de longitud oeste, a una altura de 1,951 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Tarímbaro, Chucándiro y Huaniqueo; al este con Charo y Tzitzio; al sur con Villa Madero y Acuitzio; y al oeste con Lagunillas, Coeneo, Tzintzuntzan y Quiroga. Su distancia a la capital de la República es de 315 km.

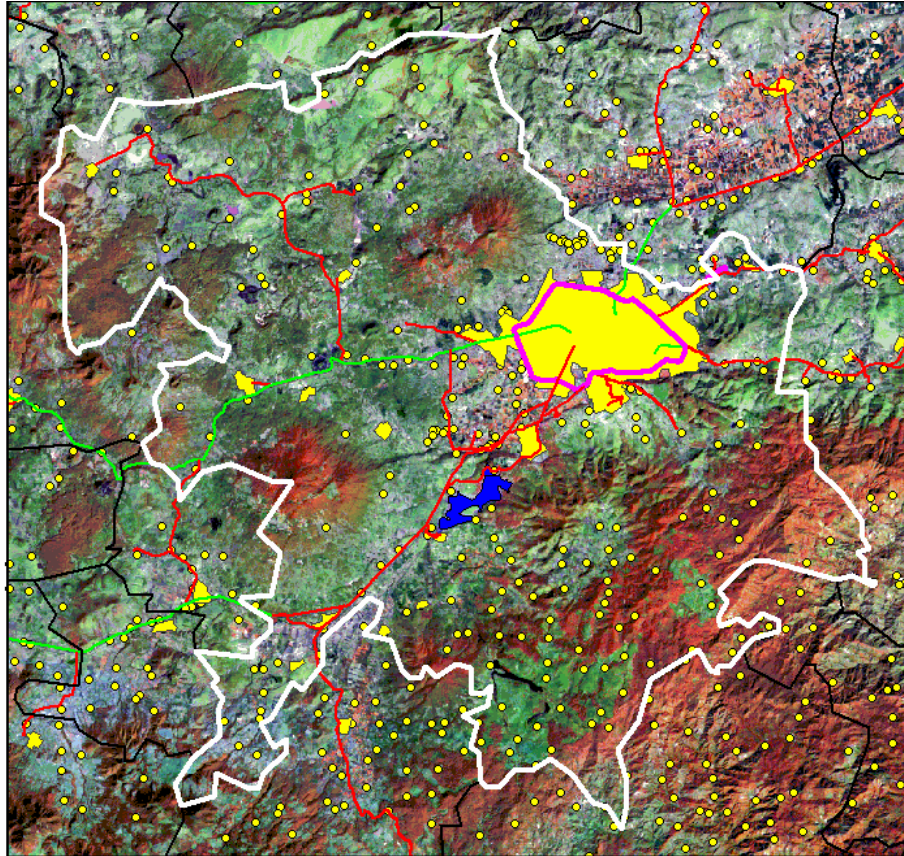


### **Extensión**

Su superficie es de 1,199.02 km<sup>2</sup> y representa el 2.03 por ciento del total del Estado.

### **Orografía**

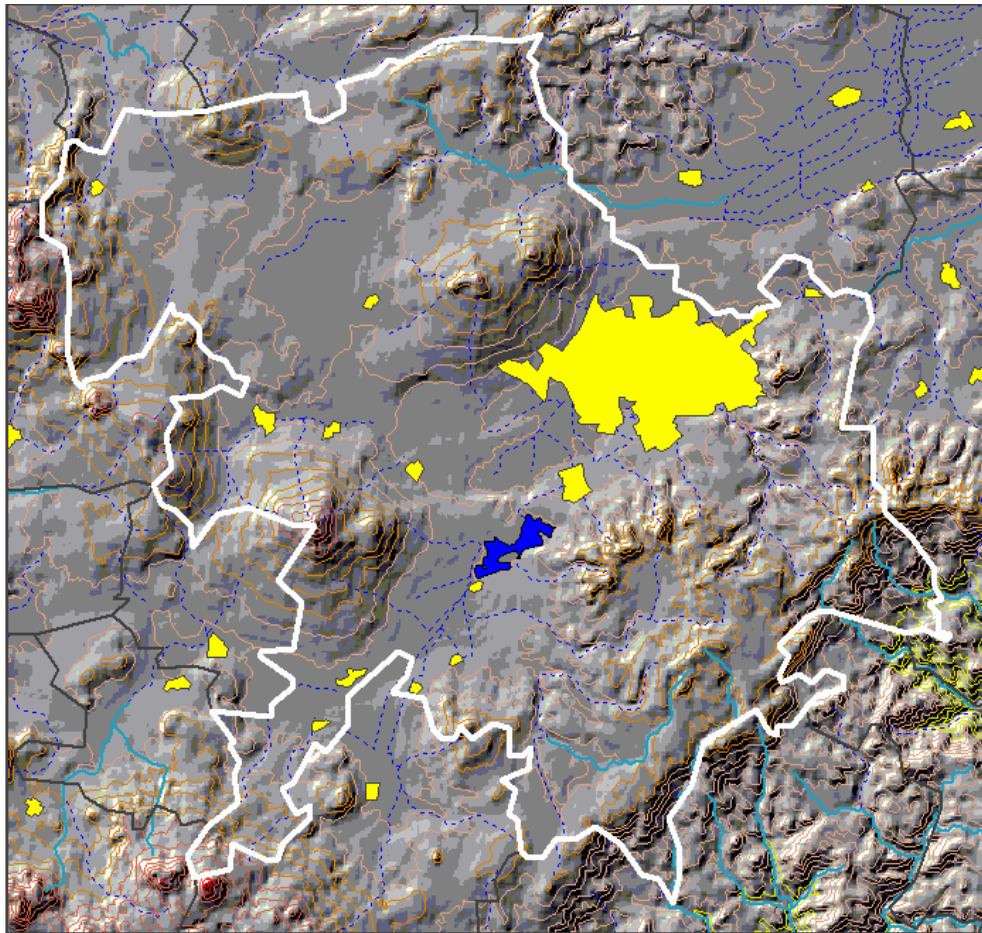
La superficie del municipio es muy accidentada. La región montañosa se extiende hacia el sur y forma vertientes bastante pronunciadas, que se internan al norte, sobresaliendo los cerros de Punhuato y las lomas antiguamente llamadas de El Zapote, que se unen en la región norte con la sierra de Otzumatlán. Al sur de la ciudad de Morelia se encuentran las lomas de Santa María de los Altos; adelante están los cerros de San Andrés, que se unen, en la parte noroeste, con el pico de Quinceo, la mayor altura en la zona, con 2,787 metros sobre el nivel del mar, que tienen conexión con las lomas de Tarímbaro y los cerros de Cuto y de Uruétaro, los cuales limitan al valle y los separan del lago de Cuitzeo.



Fuente: Imagen satelital tomada del disco de elaborado por SEDRADRO  
"Manual Municipal para el Desarrollo Rural Sustentable" versión 2.0

### **Hidrografía**

El municipio se ubica en la región hidrográfica número 12, conocida como Lerma-Santiago, particularmente en el Distrito de Riego Morelia-Queréndaro. Forma parte del lago de Cuitzeo. Sus principales ríos son el Grande y el Chiquito. Sus arroyos más conocidos son la Zarza y la Pitaya. Su presa más importante es la de Cointzio, aunque cuenta con otras menores como las de Umécuaro, Laja Caliente y La Mintzita. También son importantes sus manantiales de aguas termales que son aprovechados como balnearios, figurando Cointzio, El Ejido, El Edén y Las Garzas.



Fuente: Imagen satelital tomada del disco de elaborado por SEDRADRO  
"Manual Municipal para el Desarrollo Rural Sustentable" versión 2.0

### **Principales Ecosistemas**

En la ciudad de Morelia la vegetación se encuentra claramente diferenciada, de acuerdo a la altitud y a los tipos de clima y de suelo: en la parte montañosa del sur, por ejemplo, hay coníferas (pinos, encinos y madroños); en la región norte, arbustos y matorrales (mezquites, cazahuates, "uña de gato" y huisaches). En el sureste de la ciudad se encuentra el bosque "Lázaro Cárdenas", que es una reserva ecológica. En términos generales, la flora comprende, entre otras especies encino, cazahuate, granjeno, jara, sauce, pirúl, cedro blanco, nopal, huisache, pasto, girasol, maguey, eucalipto, fresno y álamo.

En cuanto a fauna, se pueden enumerar conejo, coyote, tlacuache, ardilla, víbora, liebre, aves silvestres, tejón, ganado caprino y porcino, águila, gavilán, halcón, armadillo, cuervo y zorrillo.

### **Características y Uso del suelo**

La ciudad se encuentra asentada en terreno firme de piedra dura denominada riolita, conocida comúnmente como cantera, y de materiales volcánicos no consolidados o en proceso de consolidación, siendo en este caso el llamado tepetate. El suelo del municipio es de dos tipos: el de la región sur y montañosa pertenece al grupo podzólico, propio de bosques subhúmedos, templados y fríos, rico en materia orgánica y de color café "forestal"; la zona norte corresponde al suelo negro "agrícola", del grupo Chernozem. El municipio tiene 69,750 hectáreas de tierras, de las que 20,082.6 son laborables (de temporal y de riego); 36,964.6 de pastizales; y 12,234 de bosques; además, 460.2 son incultas e improductivas [15].

### **Monumentos Históricos**



Arquitectónicos: Morelia se caracteriza por la suntuosidad de sus monumentos, siendo la mayoría de tipo colonial, entre los que destacan: la Catedral, construida en 1744; el convento de San Francisco, iniciado en 1513; el convento de San Agustín, fundado en 1550; el Colegio y templo de la Compañía de Jesús, iniciado en 1580, conocido como Palacio Clavijero; el convento del Carmen, de 1597; el convento de Santa Catarina, que data de finales del siglo XVII y principios del XVIII.

El convento de la Merced, de 1613; el colegio de Santa Rosa María, cuya fundación es de 1743; el palacio del Poder Ejecutivo, su construcción inició en 1734 y se terminó en 1770; el Palacio del Poder Legislativo y Palacio del Supremo Tribunal de Justicia, del siglo XVIII; Colegio Primitivo y Nacional de San Nicolás de Hidalgo, del siglo XVI, reconstruido en 1882; el Museo Michoacano, del siglo XVIII; la Casa natal de Morelos, sobre la calle Corregidora, utilizada como Museo, biblioteca y para eventos culturales.

La casa propiedad de Morelos, sobre la calle Morelos Sur, usada como museo; el Acueducto, iniciada su construcción en 1787 y terminada en 1789, compuesto de 253 arcos y que abasteció a la ciudad aproximadamente hasta 1910; y otros edificios como la antigua Alhóndiga; la Casa de Don Mariano Michelena, el Museo del Estado, la Casa Correccional de Clérigos y la Casa Natal de Iturbide.

Escultóricos: Entre los monumentos más importantes, se encuentran: Las Tarascas, y las dedicadas a: José María Morelos, Lázaro Cárdenas, Benito Juárez, Miguel de Cervantes, Vasco de Quiroga y Melchor Ocampo.



Fotografía de las Tarascas

Obras de Arte:

Pinturas: En el Museo de Arte Colonial se encuentran entre otros, los siguientes óleos: Juan de Palafox y Mendoza, de Miguel Cabrera, que data de 1765; Nuestra Señora de la Luz, anónimo del siglo XVIII; Nuestra Señora de la Luz, de J.C. Padilla, 1890; La Comunión, anónimo del siglo XVIII; Cristo sentado, anónimo del siglo XVIII; San Nicolás de la Santa Eucaristía, anónimo del siglo XVIII; y San Buenaventura, anónimo del siglo XVIII.

También las obras de Manuel Ocaranza como: Equivocación y ¿Quién soy yo?; de Alfredo Zalce: En el muelle, Mujer leyendo, Lasitud, Desnudo y Delito de Disolución

Social; así como obras de Francisco Rodríguez Oñate, Gerardo Pérez Lozada y Manuel Pérez Coronado, entre otros.

Escultura: En el Museo de Arte Contemporáneo, sobresale la obra denominada Reyes Magos hecha en pasta de caña y laminada en oro, de autor anónimo del siglo XVI; en la Casa de la Cultura, del siglo XVII, Virgen de Guadalupe en pasta de caña de autor anónimo; del siglo XVIII, San Dimas en madera policromada, de autor anónimo y Niño Hincado en madera tallada; del siglo XX se tienen las obras hechas a base de chatarra de José Luis Linares, sobresaliendo Zapata, Cóndor, Mariposa, Quetzalcóatl, Quijote (2.79 mts.), Sancho Panza (2.42 mts.) y El Tercer Mundo. En bronce sobresalen: Paisaje, de Gustavo Bernal; Mujer, de Juan Torres; El Tomador de Francisco Ramírez y Víbora de Jorge Madrigal. De Alfredo Zalce destacan: Pájaro, en cantera de Guanajuato, Sirena, El Abrazo, El Coyote, 1968 y La Pareja, todas en bronce.

Literatura: En la Casa Natal de Morelos, Biografía del Emperador Carlos V (tomo I y II), de Fray Prudencio de Sandoval, cosido a mano, 1617; Sermones dichos en el Palacio Apostólico a Inocencio XII, de Pablo Señeri, 1721; Recopilación de Leyes de Indios, el Rey Carlos II, cosido a mano, 1791; Historia Antigua de México (tomos I y II), de Francisco Saverio Clavijero, cosidos a mano, 1826, entre otras obras.

Arte Plumario y de Popote: En la Casa de la Cultura, la obra de Gabriel Olay.

Textil: En el Museo de Arte Contemporáneo, tapices de Alfredo Zalce.

Cerámica: En el Museo de Arte Contemporáneo, obras de Alfredo Zalce.





Ruinas Arqueológicas; Las Yacatas

Ruinas arqueológicas de la Barranca de los Lobos, en Teremendo; vestigios prehispánicos en la loma de Santa María, en la ciudad de Morelia; Santuario Náhuatl y yácatas, en Capula; Normal de Tiripetío, construida en el siglo XVI, que fue la primer universidad de América latina.

En la Ciudad de Morelia, que desde 1991 forma parte del Patrimonio Cultural de la Humanidad, existe un importante acervo arquitectónico con monumentos coloniales como: catedral, acueducto, Real Factoría del Tabaco (hoy Palacio Municipal), Palacio de Justicia, Antiguo Hospital de Juaninos, Templo de San Agustín, Casa Natal de Morelos, Casa de Morelos, templo y consevatorio de las Rosas (el primero en América Latina), Palacio Clavijero, Antiguo Palacio Episcopal, Antigua Casa del Diezmo, templo de San José, templo de las Monjas, templo de la Merced, exconvento y templo de San Francisco, exconvento de Capuchinas y Convento del Carmen.

Museos: Museo Regional Michoacano (casa que perteneció a Isidro Huarte, abogado y benefactor, que nació en 1770), que exhibe desde fósiles y objetos prehispánicos hasta piezas pertenecientes a la época post-revolucionaria.

Museo del Estado (se le conoce como Casa de la Emperatriz, ya que perteneció a Ana Huarte, esposa de Agustín de Iturbide), que exhibe objetos que datan desde la época precolombina hasta las primeras décadas del siglo XX [15].

Museo de Arte Colonial.

Museo Casa Natal de Morelos.

Museo Casa de Morelos.

Museo de Arte Contemporáneo.

Museo de Historia Natural.

Casa de las Artesanías (exposición y venta).

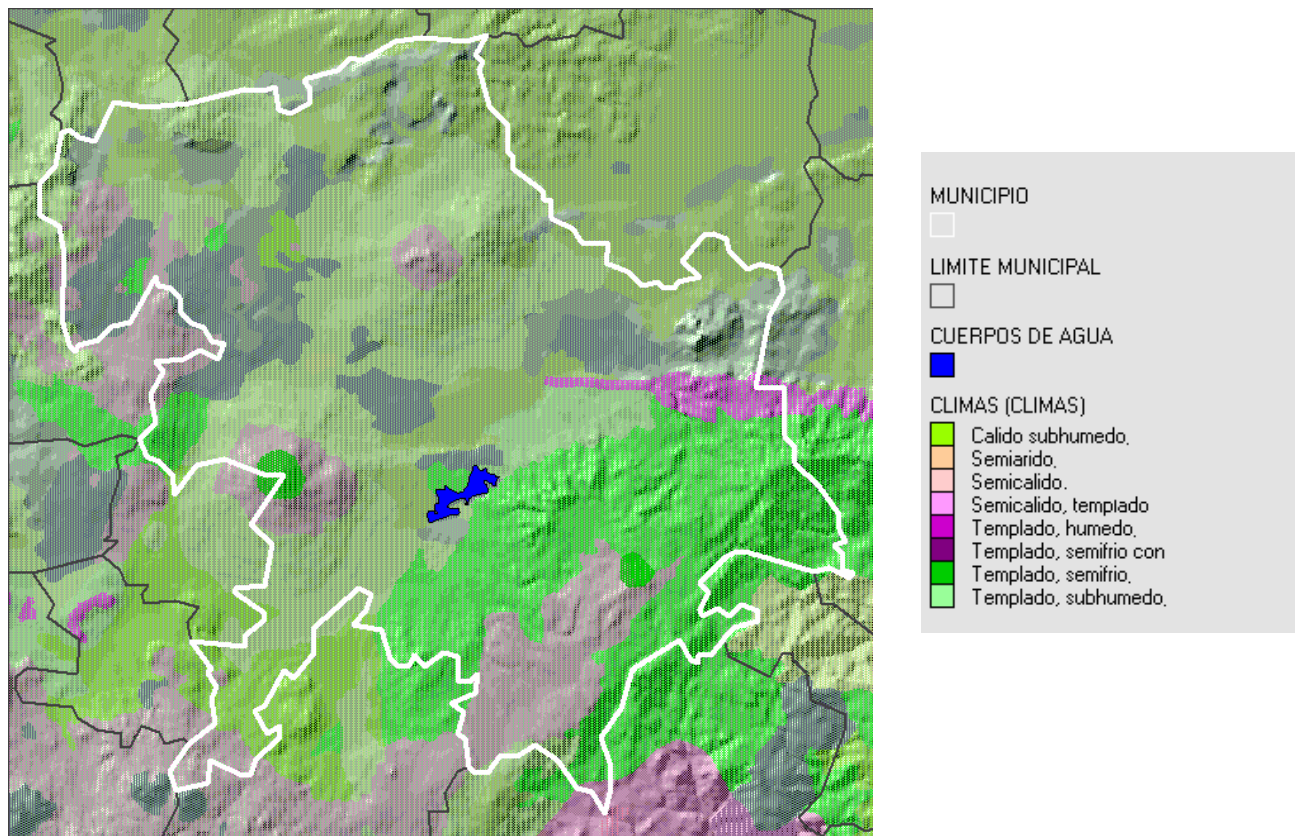
Orquidario (exposición y venta).

## **1.2 RASGOS GEOCLIMÁTICOS**

### **Clima**

Las características geográficas y climáticas de una localidad, se consideran como uno de los principales factores que condicionan la acumulación o dispersión de los contaminantes generados por procesos antropogénicos.

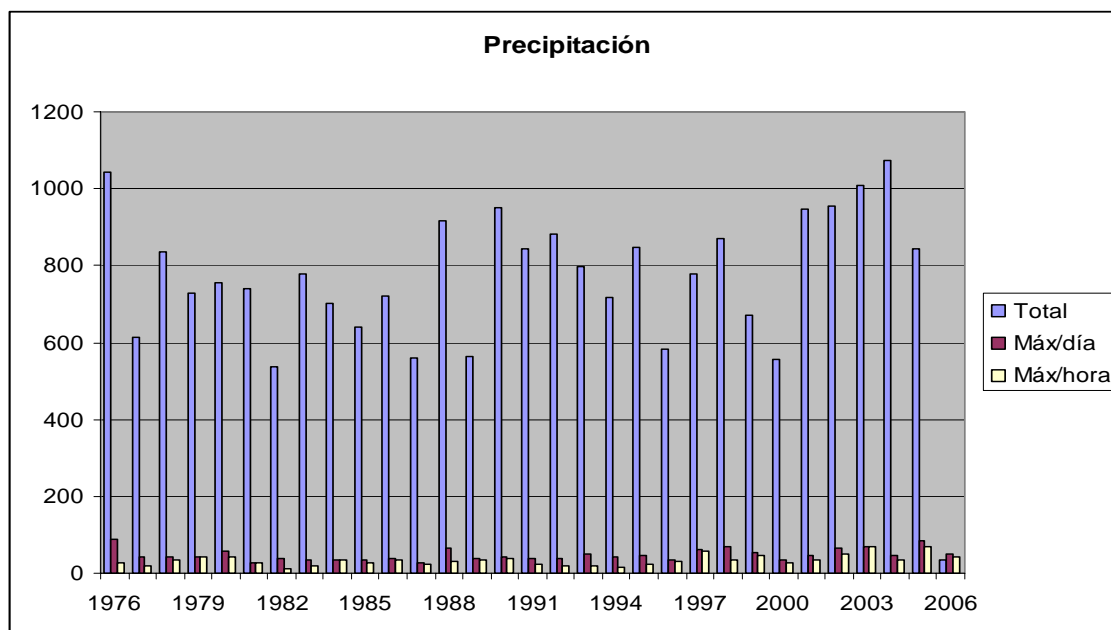
En el municipio de Morelia predomina el clima del subtipo templado de humedad media, con régimen de lluvias en verano de 700 a 1,000 milímetros de precipitación anual y lluvias invernales máximas de 5 milímetros anuales promedio. La temperatura media anual es de 15° a 21° centígrados, aunque ha subido hasta 38° centígrados. Los vientos dominantes provienen del suroeste y del noroeste, con variables en julio, agosto y octubre, con intensidad de 2 a 14.5 kms. por hora.



Fuente: Imagen satelital tomada del disco de elaboración por SEDRADRO  
"Manual Municipal para el Desarrollo Rural Sustentable" versión 2.0

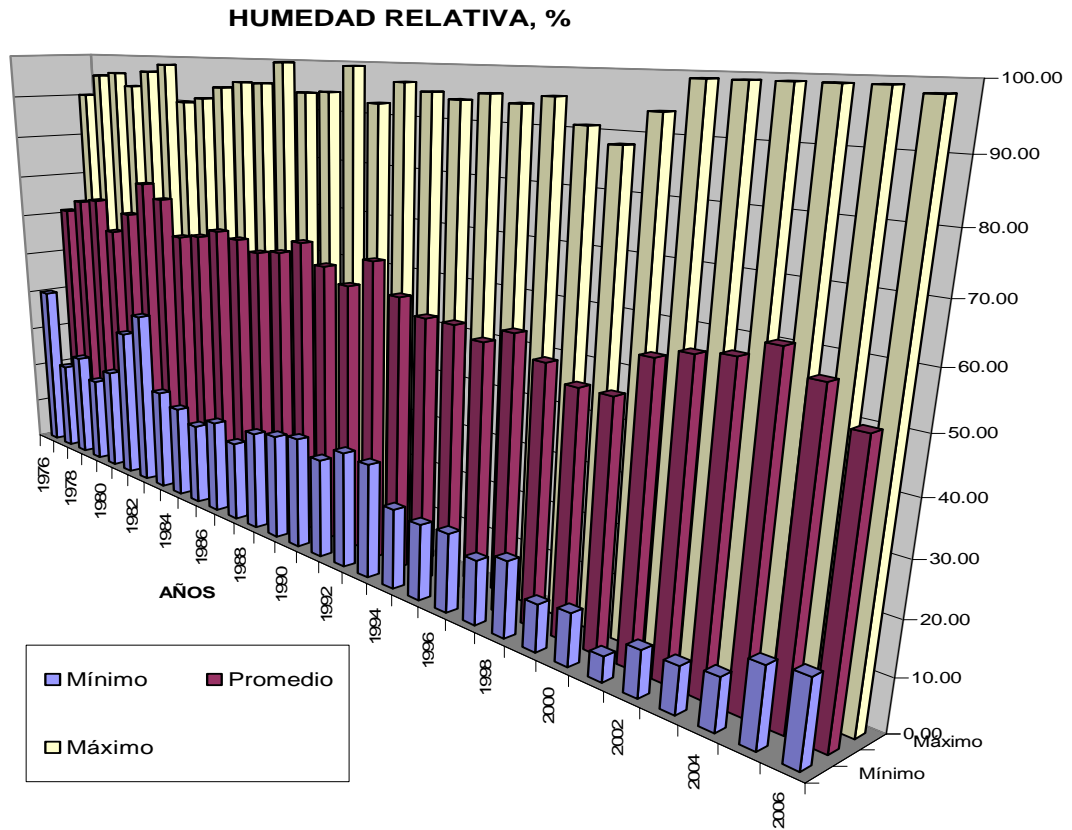
### **Precipitación pluvial y humedad relativa**

El aumento de la precipitación pluvial propicia una disminución en los índices de calidad del aire de la zona por efecto de "lavado troposférico" y mitiga la emisión de partículas.



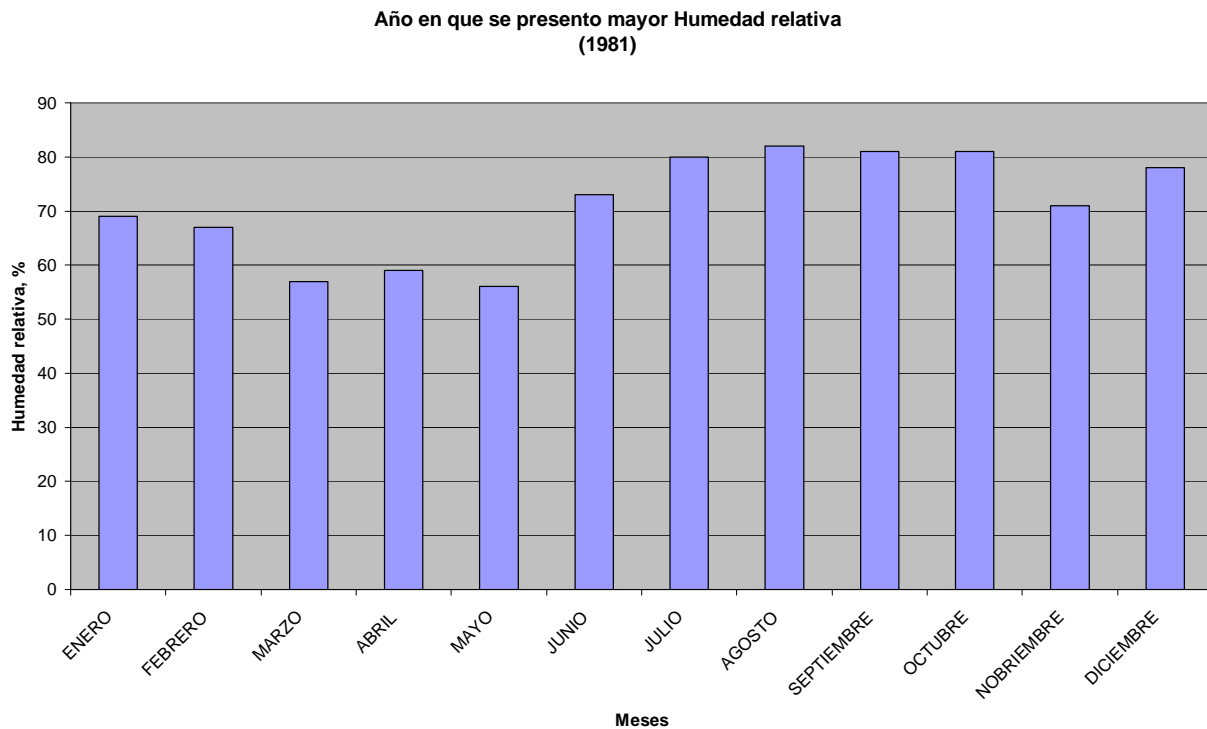
Gráfica 1.2.1 Precipitación anual total, máx./día y máx./hora en el periodo de 1976-2006

La humedad relativa, dada en los informes meteorológicos, es la razón entre el contenido efectivo de vapor en la atmósfera y la cantidad de vapor que saturaría el aire a la misma temperatura. [16]



Grafica 1.2.2 Humedad relativa, % máxima, mínima y promedio en el periodo 1976-2006

Con respecto a la humedad relativa, tenemos que en un mismo día pueden registrarse valores muy variados, sin que necesariamente tengan un patrón definido durante el día, como sucede con la temperatura. La tendencia durante el año, es que la etapa de mayor humedad se enmarque durante la temporada de lluvias. Para el caso específico del año 1981, se presentaron valores altos de esta variable, tal como se presenta en la gráfica 3



Grafica 1.2.3 Humedad relativa, % .Durante el año de 1981

El periodo de (Junio - Octubre) presentan un alto contenido de humedad por las masas de aire húmedo, lo que propicia la formación de nubes, reduce la insolación y a su vez contribuye a disminuir la formación de ozono, además de provocar lluvias que dan lugar al “lavado atmosférico”.

De lo contrario, en las construcciones donde se tiene un ambiente húmedo se propicia el nacimiento de los hongos, las algas y los líquenes de tal modo que su presencia constituye una amenaza para los materiales porosos pues los ácidos que expulsan las bacterias corroen el interior del material que les sirve de soporte.

Entre los principales factores que influyen sobre el deterioro de las construcciones se encuentran [17]:

- La humedad
- La temperatura
- La radiación solar

Otro problema es la aparición de eflorescencias que se encuentra una fuerte correlación con los factores climáticos tales como baja temperatura y alta humedad

relativa ambiente. Por esto las eflorescencias tienen una mayor tendencia a aparecer en otoño e invierno, luego de lluvias.

La eflorescencia (Salitre) es un depósito cristalino que aparece en las superficies de los emboquillados o juntas, muros o superficies de concreto, es un polvo blanquecino que generalmente no es dañino excepto por su apariencia

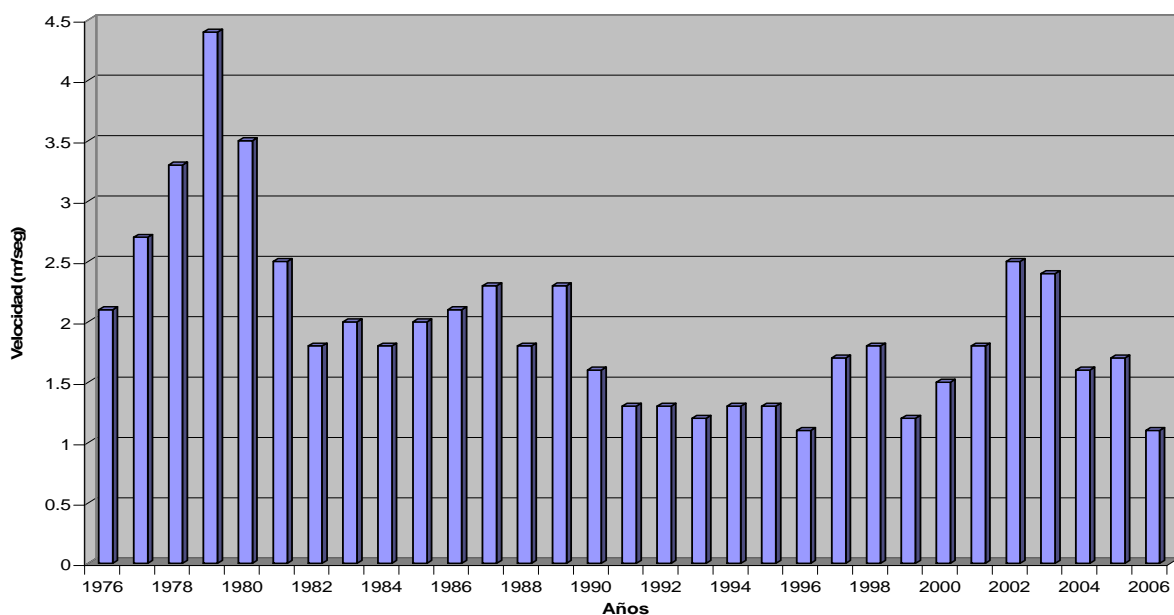


(Fotografía bajo lupa estereomicroscópica),  
Fuente: artículos publicados por MMSA Materials & methods Standard Assoc.

## VIENTO

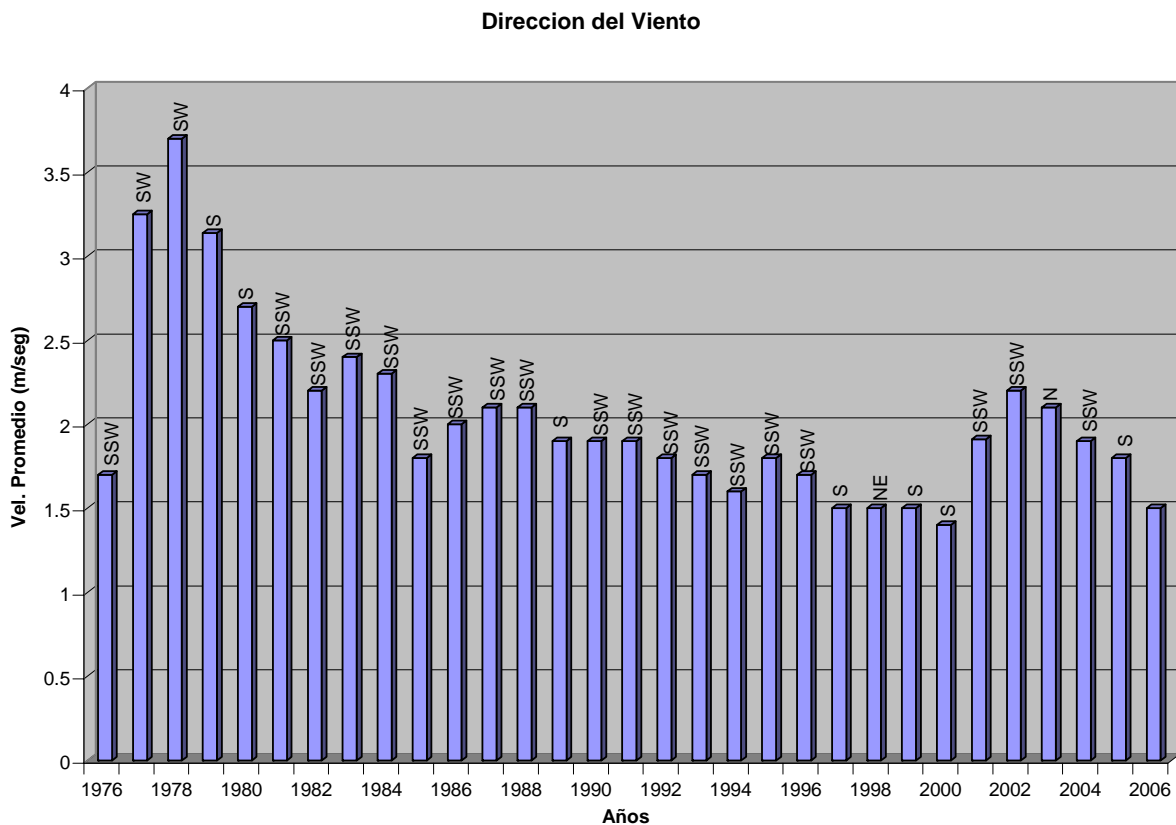
El viento se ubica, desde el punto de vista de la contaminación, entre los factores meteorológicos climáticos más importantes, ya que a partir de su dirección se identifican los sistemas meteorológicos que afectan, en cierto momento, a determinado lugar. Su intensidad es el factor principal para que los contaminantes emitidos a la troposfera en capas cercanas a la superficie se acumulen o se dispersen [18].

Vientos Dominantes



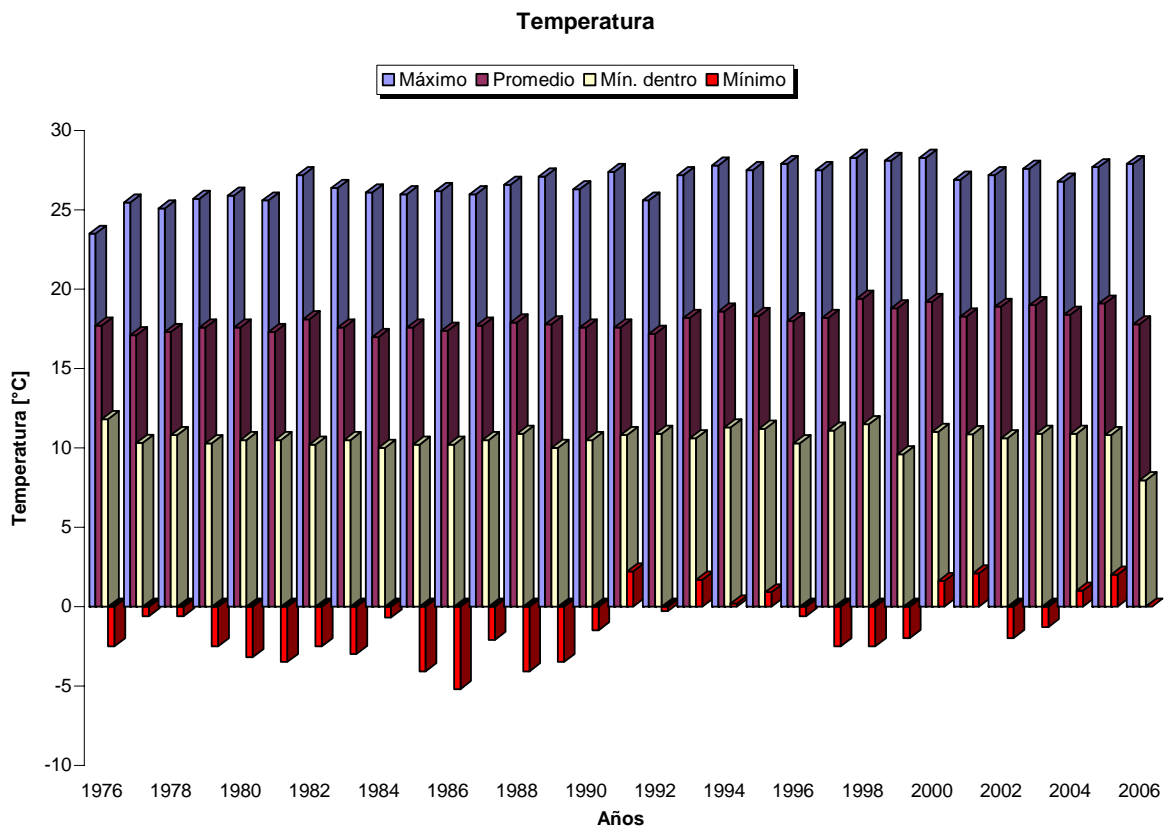
Gráfica 1.2.4 Velocidad de viento dominante, m/seg en el periodo de 1976-2006

La Grafica 5., muestra las dirección del viento con datos promedio de la velocidad del viento, datos que forman parte de la Meteorológica desde el año 1976 hasta 2005, en ella se observa claramente que la dirección del viento es variable que aunque la componente principal es del sur-suroeste, encontramos vientos dominantes provienen en dirección sur. Las velocidades del viento de las componentes principales se mantuvieron durante estos años generalmente en el rango de 1.5 – 2.5 m/s.



Grafica 1.2.5 Velocidad de viento, m/seg dirección en el periodo de 1976-2006

## TEMPERATURA



Grafica 1.2.6 Temperatura, Grados Centígrados en el periodo de 1976-2006



## ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

## **2. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS**

### **2.1 POBLACIÓN**

#### **Grupos Étnicos**

Según el Censo General de Población y Vivienda 2000, en el municipio habitan 3301 personas que hablan alguna lengua indígena, las cuales corresponde a un 0.53% de población con respecto al municipio.

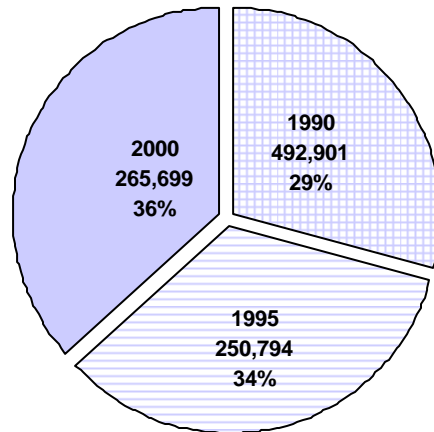
Dentro de las dos principales lenguas indígenas podemos mencionar el purepecha y nahuatl, donde la cantidad de personas que hablan el dialecto purepecha es de 1276 [19].

#### **Evolución Demográfica**

En el municipio de Morelia en 2000, la población representaba el 15.56 por ciento del total del Estado. Para 1995, se tenía una población de 578061 habitantes, su tasa de crecimiento es del 3.23 por ciento anual y la densidad de población es de 432.69 habitantes por kilómetro cuadrado. El número de mujeres es relativamente mayor al de hombres. Para el año de 2000, se tiene que la población es de 620,532 habitantes y su tasa de crecimiento es de 1.42 por ciento anual y la densidad de la población es de 464.49 habitantes por kilómetro cuadrado. El número de mujeres es de 324,215 habitantes y el de hombres es de 296,317 habitantes siendo mayor el número de mujeres con relación al de los hombres [19].

Revisando estas estadísticas podemos diferir que en el municipio de Morelia el incremento de la población durante este periodo de años no es muy grande ya uno de los principales factores que influyen en la contaminación es el ser humano, al incremento de la contaminación va muy relacionada con el crecimiento de la población.

**Grafica 2.1 evolucion demografica municipio  
Moelia**



## 2.2. Vivienda

Cuenta aproximadamente con 139,633 viviendas, en su mayoría son de 3, 4 y 5 recámaras, el porcentaje de viviendas con drenaje y agua entubada es de 6.71 por ciento, las viviendas con drenaje y electricidad es de 91.51 por ciento y el porcentaje de viviendas sin drenaje y electricidad es de 0.59 por ciento.

### 2.3. Transporte

Debido al crecimiento poblacional del municipio, la mancha urbana ha seguido creciendo, haciendo que las distancias y tiempos de traslado dentro de la misma hayan aumentado. Así mismo, la falta de un transporte público eficiente, ha ocasionado que continúe creciendo la flota vehicular de uso particular principalmente, representando al 53% de los vehículos de motor registrados en el municipio (ver grafica 2.2).

De acuerdo al anuario estadístico de Michoacán edición 2005 se tienen los siguientes datos.

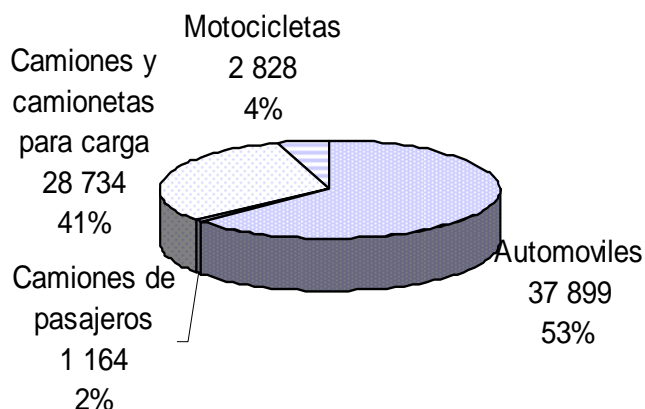
AUTOMÓVILES		
TOTAL	PÚBLICO	PARTICULAR
153 056	5 201	146 325

CAMIONES DE PASAJEROS a/		
TOTAL	PÚBLICO	PARTICULAR
2 278	2 170	85

CAMIONES Y CAMIONETAS PARA CARGA			
TOTAL	OFICIAL	PÚBLICO	PARTICULAR
72 688	2 908	1 498	68 282

MOTOCICLETAS	
TOTAL	PARTICULAR
11 884	11 768

**Grafica 2.2 Vehículo de motor registrados en circulación en el municipio de Morelia**



a/ Incluye microbuses

FUENTE: Tesorería General del Estado. Dirección de Ingresos.

### 2.4. Servicios Públicos

La cobertura de servicios públicos de acuerdo a apreciaciones del Ayuntamiento es:

- Alumbrado Público 88%
- Recolección de Basura 75%
- Mercado 6 mercados
- Rastro 100%
- Panteón 90%
- Cloración del Agua %
- Seguridad Pública 100%

- Parques y Jardines 900,000 mts2 de áreas verdes

## 2.5. Vías de Comunicación

Morelia cuenta con el servicio de Aeropuerto Internacional que se encuentra en el Municipio adyacente de Álvaro Obregón; vía y estación ferroviaria, carreteras libres al Estado de Guanajuato, Distrito Federal y al Estado de Jalisco; con una autopista (de cuota) que une a Morelia con la Ciudad de México y Guadalajara; terracerías y caminos asfaltados a todas sus comunidades.

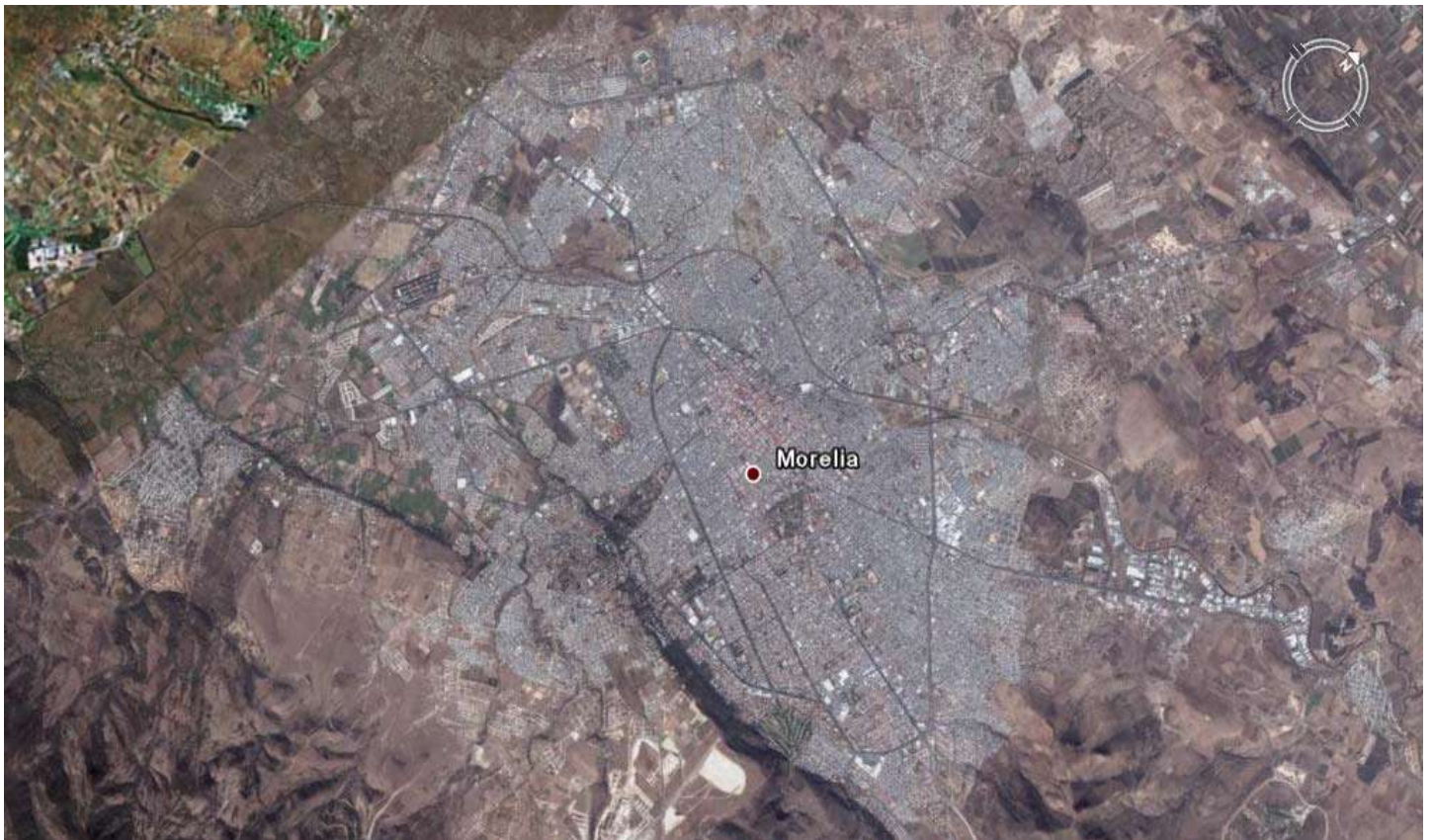


Imagen satelital de la ciudad de Morelia

# ACTIVIDAD ECONÓMICA

### 3. ACTIVIDAD ECONÓMICA

#### 3.1 Principales Sectores, Productos y Servicios

En la capital de Michoacán se encuentra la Ciudad Industrial de Morelia, en la que hay empresas pequeñas y medianas dedicadas a diferentes ramos. Entre otros giros, la industria moreliana se dedica al aceite comestible, la harina, a la fundición, al plástico, a los dulces en conservas, al embotellamiento de agua y de refrescos.

Los sectores de económicos se dividen en tres; sector primario, secundario, terciario Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal se tiene la tabla 3.1

SECTORES			% que Representa la PEA Ocupada
<b>Sector Primario</b>	Agricultura, Ganadería y Pesca	8,041	3.49%
<b>Sector Secundario</b>	Minería	310	0.13%
	Industria Manufacturera	28,806	12.51%
	Energía eléctrica y agua	1,306	0.56%
	Construcción	23,320	10.13%
<b>Sector Terciario</b>	Comercio	49,579	21.53%
	Trasnporte y comunicaciones	14,437	6.27%
	Servicios financieros	2,618	1.13%
	Actividad gobierno	14,861	6.45%
	Serv. De esparcimiento y cultura	2,601	1.12%
	Servicios profesionales	6,799	2.95%
	Servs. Inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles	1,479	0.64%
	Servicios de restaurantes y hoteles	12,529	5.44%
	Otros excepto gobierno	22,223	9.65%
	Apoyo a lo negocios	3,277	1.42%
	Servicios Educativos	20,237	8.79%
Servicios de salud y asistencia social	11,370	4.93%	

Tabla 3.1 Población Económicamente Activa (PEA) por Sector de Actividad 2000.

#### Turismo

Por localizarse cerca de poblaciones con tradiciones y próxima a escenarios naturales, como Los Azufres y los lagos de Pátzcuaro y de Cuitzeo, entre otros sitios, y por haberse fundado la ciudad de Morelia el 18 de mayo de 1541 y contar, por lo mismo, con un significativo acervo arquitectónico, cultural e histórico, en la cabecera del municipio se desarrolla una importante actividad turística. Cuenta con infraestructura, entre la que

destacan hoteles, restaurantes, agencias de viajes, clubes deportivos, balnearios, centro de convenciones, planetario, orquidario, parque zoológico, etc.

En el municipio también hay atractivos naturales, entre los que destacan los siguientes: Cueva de la Joya, en Capula; Cañada del Cañón, en Capula; La Peña, en Atécuaro; Grutas de la Escalera, en Cuto de la Esperanza; balnearios el Edén y el Ejido, en la tenencia Morelos; bosque en Jesús del Monte; Presa de Umécuaro, en Santiago Undameo; Presa Cointzio, en Santiago Undameo; Cerro del Aguila, con 2,800 metros sobre el nivel del mar, en Tacícuaro; Manantial del Bañito, en Tiripetío; Cráter de la Alberca, en Teremendo; Cerro del Zirate, en Teremendo; Bosque Lázaro Cárdenas, en Morelia.

### **Comercio**

Desde hace ya muchos años, Morelia se ha caracterizado por su intensa actividad comercial, e incluso ha sido centro de abasto para poblaciones de menor densidad demográfica aledañas al municipio. Actualmente cuenta con varias plazas comerciales modernas, con establecimientos dedicados a toda clase de giro y con tiendas de gran tradición.

### **Servicios**

La mayor parte de las empresas dedicadas a los servicios se concentran en la cabecera municipal. Se dispone de toda clase de servicios. Sector Primario (agricultura, ganadería, caza y pesca): Este sector no es significativo en el municipio, de manera que contempla un 3.49% dentro de la actividad económica. Se llevan a cabo algunas actividades relacionadas con agricultura y silvicultura.



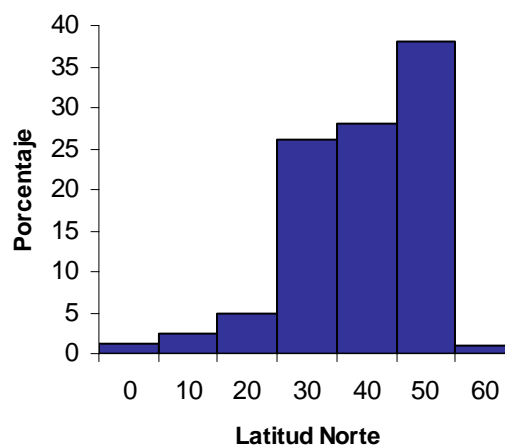
# CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

## 4. CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

### 4.1 Origen de la Contaminación Atmosférica

La contaminación del aire en las grandes zonas urbanas es uno de los problemas más graves y con efectos duraderos sobre la salud de los habitantes, la de los ecosistemas en su conjunto, además de que se produce el deterioro de edificios, monumentos, estatuas y otras estructuras.

La mayor parte de la industria del mundo se encuentra en el hemisferio norte (más del 90%), y la gran mayoría de ésta se encuentre en las latitudes de 30°N y 60°N (Figura 4.1) [20]. En esta región, la emisión antropogénica es considerablemente más importante que la emisión natural.



**Figura 4.1** Distribución del consumo de energía con la latitud para el hemisferio norte.

*Fuente:* W. Strauss/S.J. Mainwaring, "Contaminación del Aire" [3].

Las principales enfermedades asociadas con la contaminación del aire son: enfermedades respiratorias, cardiovasculares y dérmicas; además, se generan las condiciones favorables para la propagación de epidemias.

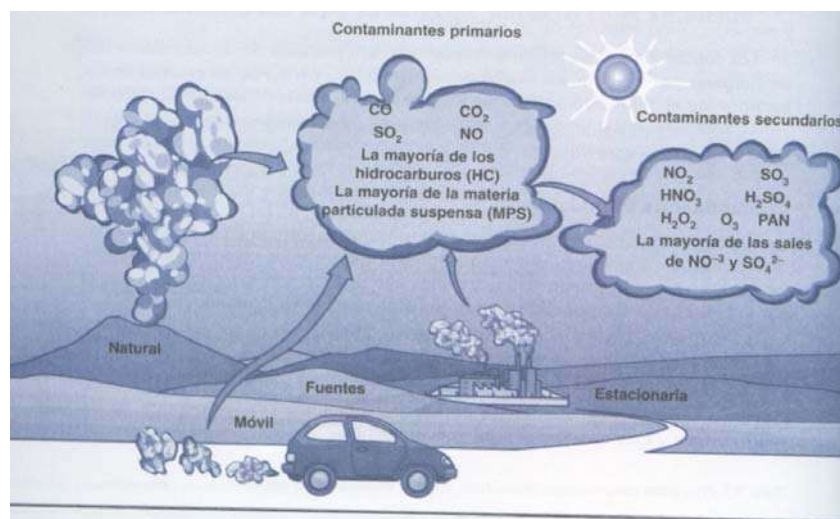
El aire es una mezcla de varios gases que rodea la Tierra en una capa de varios kilómetros de altura. Su composición se muestra en la tabla 4.1

Gas	Porcentaje
Nitrógeno	78.48
Oxígeno	20.95
Argón	0.93
Bióxido de carbono	0.30
Neón	0.0018
Helio	0.0005
Criptón	0.0001
Hidrógeno	0.00005
Xenón	0.000008
Ozono	Variable
Vapor de agua	Variable

**Tabla 4.1** Componentes del aire

Fuente: Aurora Adame Romero, Daniel a. Salín pascual, "CONTAMINACION AMBIENTAL" [1]

Existe la contaminación del aire cuando los elementos que lo conforman sufren alteraciones o cuando se presentan sustancias extrañas en el mismo, de acuerdo con su origen, se pueden clasificar en contaminantes primarios y secundarios (ver figura 4.2).



**Figura 4.2** Origen de los contaminantes primarios y secundarios del aire atmosférico  
Fuente: Alfaro/Limón/Martínez/Ramos/Tijerina, "Ciencias del Ambiente" [1]

#### 4.1.1 Contaminantes primarios.

Los contaminantes primarios es aquél que se emite a la atmósfera directamente de la fuente y mantiene la misma forma química y pueden ser de origen natural o antropogénico, por ejemplo cenizas de la quema de residuos sólidos [21]. Los contaminantes de origen natural o geogénico son resultados de procesos naturales como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y partículas sólidas de erupciones volcánicas, el polen de las flores y esencias, como terpenos de las coníferas.

Los contaminantes de origen antropogénico son producto de las actividades del ser humano; por ejemplo, los óxidos de nitrógeno (NO Y NO<sub>2</sub>) de los escapes de los automóviles, el monóxido de carbono (CO) de las chimeneas de industrias, etcétera.

La tabla 9.2 muestra los principales contaminantes primarios, sus efectos en la salud y sus principales fuentes.

Contaminante	Efecto en la salud y el ambiente	Fuentes principales
Óxidos de nitrógeno: NO, NO <sub>2</sub>	Afectan el sistema respiratorio	Plantas generadoras de energía (combustión de carbón y petróleo a alta temperatura)
Monóxido de carbono CO	Impide el transporte de oxígeno en la sangre, causa daños en los sistemas nervioso central y cardiovascular.	
Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	Contribuye al efecto invernadero	Consumo de gasolina petróleo y carbón
Compuestos orgánicos volátiles, semivolátiles e hidrocarburos aromáticos	Algunos tienen propiedades cancerígenas Además participan en la formación de contaminantes secundarios	
Óxidos de azufre SO <sub>2</sub> y SO <sub>3</sub>	Causan daños en los sistemas nervioso central y cardiovascular Además participan en la formación de contaminantes secundarios	Combustión de carbón, combustóleo y petróleo con azufre
Plomo	Afecta el sistema nervioso y produce enfermedades como el saturnismo	Combustión de la gasolina, industria química
Partículas suspendidas de materia o PSM	Afectan los sistemas respiratorio, nervioso central y renal; sirven como medio de transporte para metales pesados y especies orgánicas tóxicas	Actividades industriales, transporte urbano y origen natural

**Tabla 4.2** Contaminantes primarios, efectos y fuentes.

*Fuente:* Alfaro/Limón/Martínez/Ramos/Reyes/Tijerina, "Ciencias del Ambiente" [1]

#### 4.1.2 Contaminantes Secundarios

Los contaminantes secundarios son compuestos que se forman en la atmósfera por reacciones químicas entre los contaminantes primarios y los componentes naturales del aire. Específicamente, las reacciones que ocurren son inducidas o iniciadas por la radiación solar; por ello se conocen como reacciones fotoquímicas, por ejemplo el ozono que se produce cuando los vapores orgánicos reaccionan con los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar.

La concentración de los contaminantes secundarios en la atmósfera depende principalmente de las condiciones climáticas como son; la temperatura, intensidad de la radiación solar, vientos, humedad y de la presencia de los contaminantes primarios.

En la tabla 9.3 se enumeran los principales contaminantes secundarios, así como su origen y efectos sobre la salud y el ambiente.

Contaminantes	Origen (precursores)	Efectos sobre la salud y el ambiente
Tritóxidos de azufre, ácido Sulfúrico y sales de nitratos	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Componentes de la lluvia acida Causan enfermedades respiratorias Inhiben el crecimiento de las plantas al depositarse como lluvia acida
Acido nítrico y sales de nitratos	Óxidos de nitrógeno (NO Y NO <sub>2</sub> )	
Ozono (O <sub>3</sub> ) Nitratos de peroxiacilo (PAN)	Compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y radiación solar	Forman lo que se le conoce como smog fotoquímico Causan irritación en la piel y en las vías respiratorias

**Tabla 4.3** Principales contaminantes secundarios, origen y efectos sobre el ambiente.

*Fuente:* Alfaro/Limón/Martínez/Ramos/Reyes/Tijerina, "Ciencias del Ambiente" [2]

## 4.2 Contaminantes criterio

Los contaminantes de aire también se han clasificado como **contaminantes criterio** y **contaminantes no criterio**. Los contaminantes criterio son los que se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objeto de estudios publicados en documentos de calidad del aire. Los contaminantes criterios son:

### 4.2.1 Monóxido de Carbono (CO)

Este gas es una combinación de carbono y oxígeno, inodoro e incoloro. El monóxido de carbono se produce como consecuencia de la combustión incompleta de combustibles a base de carbono, tales como la gasolina, el petróleo y la leña, y de la de productos naturales y sintéticos, como por ejemplo el humo de cigarrillos. Se lo halla en altas concentraciones en lugares cerrados, como por ejemplo garajes y túneles con mal ventilados, e incluso en caminos de tránsito congestionado.

Cuando una persona constantemente respira monóxido de carbono, se crea en ella un estado de intoxicación permanente. Algunos síntomas leves de esta intoxicación son náuseas, debilidad, dolor de cabeza y mareo.



**Fig. 4.1** De cada 1 000 litros de gasolina quemada por los automóviles, resultan casi 375 Kg. de monóxido de carbono expelidos a la atmósfera. **Fuente:** Aurora Adame Romero, Daniel a. Salín pascual, "CONTAMINACION AMBIENTAL" [1]

### 4.2.2 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

Es el principal gas causante del efecto invernadero. Se origina a partir de la combustión de carbón, petróleo y gas natural. En estado líquido o sólido produce quemaduras, congelación de tejidos y ceguera. La inhalación es tóxica si se encuentra en altas concentraciones, pudiendo causar incremento del ritmo respiratorio, desvanecimiento e incluso la muerte.

### 4.2.3 Clorofluorcarbonos (CFC).

Son sustancias químicas que se utilizan en gran cantidad en la industria, en sistemas de refrigeración y aire acondicionado y en la elaboración de bienes de consumo. Cuando son liberados a la atmósfera, ascienden hasta la estratosfera. Una vez allí, los

CFC producen reacciones químicas que dan lugar a la reducción de la capa de ozono que protege la superficie de la Tierra de los rayos solares. La reducción de las emisiones de CFC y la suspensión de la producción de productos químicos que destruyen la capa de ozono constituyen pasos fundamentales para la preservación de la estratosfera.

#### **4.2.4 Contaminantes atmosféricos peligrosos (HAP).**

Son compuestos químicos que afectan la salud y el medio ambiente. Las emanaciones masivas –como el desastre que tuvo lugar en una fábrica de agroquímicos en Bhopal, India, pueden causar cáncer, malformaciones congénitas, trastornos del sistema nervioso y hasta la muerte.

Las emisiones de HAP provienen de fuentes tales como fábricas de productos químicos, productos para limpieza en seco, imprentas y vehículos (automóviles, camiones, autobuses y aviones).

#### **4.2.5 Plomo.**

Es un metal de alta toxicidad que ocasiona una diversidad de trastornos, especialmente en niños pequeños. Puede afectar el sistema nervioso y causar problemas digestivos. Ciertos productos químicos que contienen plomo son cancerígenos. El plomo también ocasiona daños a la fauna y flora silvestres.

El contenido de plomo de la gasolina se ha ido eliminando gradualmente, lo que ha reducido considerablemente la contaminación del aire. Sin embargo, la inhalación e ingestión de plomo puede tener lugar a partir de otras fuentes, tales como la pintura para paredes y automóviles, los procesos de fundición, la fabricación de baterías de plomo, los señuelos de pesca, ciertas partes de las balas, algunos artículos de cerámica, las persianas venecianas, las cañerías de agua y algunas tinturas para el cabello.

#### **4.2.6 Ozono (O<sub>3</sub>).**

Este gas es una variedad de oxígeno, que, a diferencia de éste, contiene tres átomos de oxígeno en lugar de dos. El ozono de las capas superiores de la atmósfera, donde se forma de manera espontánea, constituye la llamada “capa de ozono”, la cual protege la tierra de la acción de los rayos ultravioletas. Sin embargo, a nivel del suelo, el

ozono es un contaminante de alta toxicidad que afecta la salud, el medio ambiente, los cultivos y una amplia diversidad de materiales naturales y sintéticos. El ozono produce irritación del tracto respiratorio, dolor en el pecho, tos persistente, incapacidad de respirar profundamente y un aumento de la propensión a contraer infecciones pulmonares. A nivel de medio ambiente, es perjudicial para los árboles y reduce la visibilidad.

El ozono que se halla a nivel del suelo proviene de la descomposición (oxidación) de los compuestos orgánicos volátiles de los solventes, de las reacciones entre sustancias químicas resultantes de la combustión del carbón, gasolina y otros combustibles y de las sustancias componentes de las pinturas y spray para el cabello. La oxidación se produce rápidamente a alta temperatura ambiente. Los vehículos y la industria constituyen las principales fuentes del ozono a nivel del suelo.

#### **4.2.6.1 Descripción de los daños causados por el ozono**

A pesar de que el dióxido de azufre sigue siendo uno de los contaminantes más importantes en la degradación de materiales, hay otros contaminantes (el ozono uno de ellos) cuyo efectos están cobrando importancia debido al descenso de las emisiones de  $\text{SO}_2$ . El ozono junto con otros foto-oxidantes químicos daña materiales de muchos tipos atacando tanto su funcionalidad como su estética. El ozono es lo suficientemente activo químicamente que incluso afecta materiales expuestos a bajas concentraciones.

#### **4.2.6.2 Efecto sobre los metales y materiales de construcción**

En contraste con el efecto provocado en los materiales orgánicos, el ozono por sí solo tiene poca capacidad de afectar a los materiales inorgánicos. En este caso, el impacto del ozono en metales o materiales de construcción es básicamente el resultado de una sinergia con el  $\text{SO}_2$ . La corrosión de metales como el zinc, aluminio, níquel, cobre y hierro se ve acelerada en la presencia de ozono y  $\text{SO}_2$ . Sin embargo, el ozono por sí solo, parece tener poco efecto en la corrosión de los metales.

El mecanismo por el cual se produce la sinergia es que el ozono reacciona con los enlaces débiles del azufre en la superficie del metal. La formación del sulfato crea una disolución electrolítica que tiene un poder corrosivo en la superficie del metal. La



formación del sulfato crea una disolución electrolítica que tiene un poder corrosivo en la superficie oxidada protectora del metal, exponiendo el metal sobre la capa a la acción de la corrosión.

Los materiales de construcción como el mármol, arenisca, caliza, ladrillo, hormigón y grava también se ven afectados por la sinergia que existe entre el ozono y el  $\text{SO}_2$ . El ozono se comporta como oxidante que transforma el dióxido de azufre en sulfato, el cual reacciona con el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o el  $\text{CaCO}_3$  formando yeso que cristaliza en los poros del material de construcción.

#### **4.2.6.3 Efectos sobre pinturas**

El ozono tiene la capacidad de erosionar superficies revestidas de pinturas o lacas reaccionando con base o con el pigmento de forma similar a como la hacían con los materiales elásticos. El resultado del daño ocasionado se muestra como erosión de la pintura, agrietamiento, desconchaditas y decoloración.

El ozono solo provoca agresión a elevadas concentraciones. Las pinturas domesticas en base aceites son las mas susceptibles ante el ozono, mientras que los acabados y pinturas de automóviles solo los mas resistentes ante el ozono.

Otros factores que contribuyen a la erosión de las pinturas es la temperatura, humedad y duración de la humedad, insolación, velocidad del viento y la presencia de otros contaminantes ambientales. Estos factores tienen un mayor efecto en la erosión de pinturas que el ozono únicamente.

#### **4.2.7 Oxido de nitrógeno (NOx).**

Proviene de la combustión de la gasolina, el carbón y otros combustibles. Es uno de los principales causas del smog y la lluvia ácida. El primero se produce por la reacción de los óxidos de nitrógeno con compuestos orgánicos volátiles. En altas concentraciones, el smog puede producir dificultades respiratorias en las personas asmáticas, accesos de tos en los niños y trastornos en general del sistema respiratorio. La lluvia ácida afecta la vegetación y altera la composición química del agua de los lagos y ríos, haciéndola potencialmente inhabitable para las bacterias, excepto para aquellas que tienen tolerancia a los ácidos.

#### **4.2.7.1 Efectos de los óxidos de nitrógeno**

El dióxido de nitrógeno no causa daños directos en circunstancias normales, pero sin embargo, reacciona con el agua para dar ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), que resulta ser un ácido fuerte y un agente corrosivo. Por lo tanto, afecta a los materiales acelerando la corrosión de los metales.

El  $\text{NO}_2$  deteriora las piedras calcáreas ( $\text{Ca(OH)}_2$  y  $\text{CaCO}_3$ ) mediante ataque ácido. El  $\text{NO}_2$  se oxida en presencia de agua para formar nitrato cálcico, que es soluble y es rápidamente eliminado de la superficie de la piedra.

El  $\text{NO}_2$  en presencia de  $\text{SO}_2$  produce un efecto sinérgico en los daños por corrosión producidos por este último [22].

#### **4.2.8 Partículas.**

En esta categoría se incluye todo tipo de materia sólida en suspensión en forma de humo, polvo y vapores. Además, de reducir la visibilidad y la cubierta del suelo, la inhalación de estas partículas microscópicas, que se alojan en el tejido pulmonar, es causante de diversas enfermedades respiratorias. Las partículas en suspensión también son las principales causantes de la neblina, la cual reduce la visibilidad.

Las partículas de la atmósfera provienen de diversos orígenes, entre los cuales podemos mencionar la combustión de diesel en camiones y autobuses, los combustibles fósiles, la mezcla y aplicación de fertilizantes y agroquímicos, la construcción de caminos, la fabricación de acero, la actividad minera, la quema de rastrojos y malezas y las chimeneas de hogar y estufas a leña.

#### **4.2.9 Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ).**

Es un gas inodoro cuando se halla en bajas concentraciones, pero en alta concentración despiden un olor muy fuerte. Se produce por la combustión de carbón, especialmente en usinas térmicas. También proviene de ciertos procesos industriales, tales como la fabricación de papel y la fundición de metales. Al igual que los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre es uno de los principales causantes del smog y la lluvia ácida. Está estrechamente relacionado con el ácido sulfúrico, que es un ácido fuerte.

Puede causar daños en la vegetación y en los metales y ocasionar trastornos pulmonares permanentes y problemas respiratorios.

#### **4.2.9.1 Efectos sobre los materiales**

Cada vez se está prestando más atención, tanto por sus repercusiones económicas como por los daños irreparables que causa sobre los objetos y los monumentos de alto valor histórico-artístico, a los efectos que la contaminación atmosférica produce sobre los materiales.

La acción de los contaminantes atmosféricos sobre los materiales puede manifestarse por la sedimentación de partículas sobre la superficie de los mismos, afeando su aspecto externo, o por ataque químico al reaccionar el contaminante con el material. Los SO<sub>x</sub> causan daños a muchos tipos de materiales, bien directa o indirectamente. Un alto contenido de SO<sub>x</sub> en el aire produce la aceleración de la corrosión de los metales tales como el acero al carbono, zinc, acero galvanizado, compuestos del cobre, níquel y aluminio. Esta aceleración se ve favorecida por la presencia de partículas depositadas por la humedad y por la temperatura.

En general, puede señalarse que la corrosividad de una atmósfera depende de condiciones meteorológicas y factores de contaminación. Se han observado correlaciones entre tasas de corrosión en metales y concentraciones de SO<sub>2</sub> en la atmósfera, dándose las tasas altas de corrosión en zonas industrializadas. Las nieblas de ácido sulfúrico procedentes de la conversión catalítica del SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub> en la atmósfera, atacan a los materiales de construcción como el mármol, la caliza y la argamasa, convirtiendo los carbonatos en sulfatos solubles en el agua de lluvia. Esto unido a que el volumen específico de los sulfatos es mayor que el de los carbonatos, hace que en la piedra aparezcan escamas y se debilite mecánicamente.

Los compuestos de azufre pueden producir daños en pinturas plásticas, papel, fibras textiles y sobre los contactos eléctricos de los sistemas electrónicos, dando lugar a deficiencias en su funcionamiento. La acción de los oxidantes fotoquímicos se produce sobre todo en los cauchos y elastómeros en los que causan un rápido envejecimiento y agrietamiento. Los óxidos de nitrógeno decoloran y estropean las fibras textiles y los nitratos producen la corrosión de las aleaciones de cupro-níquel [22].

#### 4.2.10 Compuestos orgánicos volátiles (VOC).

Son sustancias químicas orgánicas. Todos los compuestos orgánicos contienen carbono y constituyen los componentes básicos de la materia viviente y de todo derivado de la misma. Muchos de los compuestos orgánicos que utilizamos no se hallan en la naturaleza, sino que se obtienen sintéticamente. Los compuestos químicos volátiles emiten vapores con gran facilidad. La emanación de vapores de compuestos líquidos se produce rápidamente a temperatura ambiente.

Los VOC incluyen la gasolina, compuestos industriales como el benceno, solventes como el tolueno, xileno y percloroetileno (el solvente que más se utiliza para la limpieza en seco). Los VOC emanan de la combustión de gasolina, leña, carbón y gas natural, y de solventes, pinturas, colas y otros productos que se utilizan en el hogar o en la industria. Las emanaciones de los vehículos constituyen una importante fuente de VOC. Muchos compuestos orgánicos volátiles son peligrosos contaminantes del aire. Por ejemplo, el benceno tiene efectos cancerígenos.

Para cada contaminante criterio se han establecido **normas** que establecen las concentraciones máximas permisibles de los contaminantes atmosféricos durante un período definido (Tabla 4.4). Son los valores límite diseñados con un margen de protección ante los riesgos. La finalidad de las normas es proteger la salud humana y proteger el bienestar del ser humano y los ecosistemas. En el capítulo 5 se describen la especificaciones de cada norma.

CONTAMINANTE	NORMA
O <sub>3</sub>	NOM-020-SSA1-1993
CO	NOM-021-SSA1-1993
SO <sub>2</sub>	NOM-022-SSA1-1993
NO <sub>2</sub>	NOM-023-SSA1-1993
PST	NOM-024-SSA1-1993
PM-10	NOM-025-SSA1-1993
Pb	NOM-026-SSA1-1993

Tabla 4.4 Normas para evaluar la calidad del Aire en México

### **4.3 Contaminantes emitidos por los vehículos automóviles**

En las últimas décadas, el automóvil ha aparecido de forma masiva en las ciudades, contribuyendo a incrementar los problemas de contaminación atmosférica como consecuencia de los gases contaminantes que se emiten por los tubos de escape. Los principales contaminantes lanzados por los automóviles son: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos no quemados (HC), y compuestos de plomo.

No todos los vehículos lanzan los distintos tipos de contaminantes en las mismas proporciones; éstas dependerán del tipo de motor que se utilice. Los vehículos que emplean gasolina como carburante emiten principalmente monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y compuestos de plomo. La emisión de este último tipo de contaminante se debe a la presencia en algunos tipos de gasolina de tetraetilo de plomo, aditivo que se añade para aumentar su índice de octano.

Los principales contaminantes emitidos por los vehículos que utilizan motores de ciclo diésel (camiones y autobuses, por ejemplo) son partículas sólidas en forma de hollín que da lugar a los humos negros, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno y anhídrido sulfuroso procedente del azufre contenido en el combustible.

### **4.4 Calefacciones domésticas**

Las instalaciones de calefacción domésticas son una de las principales fuentes de contaminación atmosférica de las grandes ciudades. Este tipo de fuentes puede contribuir con un 20 a 30% de las emisiones totales a la atmósfera en áreas urbanas. Los principales contaminantes producidos dependen del tipo de combustible empleado [23].

En el caso del carbón los principales contaminantes producidos son: anhídrido sulfuroso, cenizas volantes, hollines, metales pesados y óxidos de nitrógeno. Cuando el combustible empleado es líquido (gasóleo o gasoil), los principales contaminantes emitidos son: SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, NOx, hidrocarburos volátiles no quemados y partículas carbonosas.

El gas natural es el combustible más limpio de los actualmente disponibles para calefacción, siendo su producción de contaminantes despreciable respecto a los otros combustibles. A la introducción masiva del gas para calefacciones domésticas,

sustituyendo al carbón y al gasoil anteriormente utilizado, se debe en gran parte el éxito del Plan de Descontaminación Atmosférica de la ciudad de Londres (Gran Bretaña).

#### **4.5 Calderas industriales de generación de calor**

Entre las distintas fuentes de contaminación atmosférica de origen industrial, la combustión de combustibles fósiles para la generación de calor y electricidad ocupa un lugar preponderante, tanto por la cantidad como por los tipos de contaminantes emitidos. Especial atención merecen las centrales térmicas de producción de electricidad.

Los combustibles utilizados por este tipo de instalaciones son el carbón y el fuel-oil. La producción de contaminantes depende en gran medida de la calidad del combustible, en especial de las proporciones de azufre y cenizas contenidas en el mismo y del tipo de proceso de combustión empleado.

Durante el proceso de combustión se libera a la atmósfera el azufre contenido en el combustible en forma de anhídrido sulfuroso. Junto con otros contaminantes como óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, metales pesados y una gran variedad de sustancias. Cuando se utiliza como combustible el carbón, se emiten abundantes partículas finas que pueden ser trasladadas a grandes distancias.

#### **4.6 Contaminantes emitidos por la industria**



La contaminación de origen industrial se caracteriza por la gran cantidad de contaminantes producidos en las distintas fases de los procesos industriales y por la variedad de los mismos. Por otra parte, en las fuentes de emisión industriales se suelen combinar las emisiones puntuales, fácilmente controlables, con emisiones difusas de difícil control.

Los tipos de contaminantes producidos por las fuentes industriales dependen fundamentalmente del tipo de proceso de producción empleado, de la tecnología utilizada y de las materias primas usadas. Las actividades industriales que producen

contaminantes atmosféricos son muy variadas, pero los principales fuentes están en los procesos productivos utilizados en las industrias básicas.

Entre los sectores que dan lugar a la mayor emisión de contaminantes atmosféricos podemos destacar:

La siderurgia integral. Produce todo tipo de contaminantes y en cantidades importantes, siendo los principales: partículas, SO<sub>x</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, fluoruros y humos rojos (óxidos de hierro).

Refinerías de petróleo. Producen principalmente: SO<sub>x</sub>, HC, CO, NO<sub>x</sub>, amoníaco, humos y partículas.

Industria química. Produce, dependiendo del tipo de proceso empleado: SO<sub>2</sub>, nieblas de ácidos sulfúrico, nítrico y fosfórico y da lugar a la producción de olores desagradables.

Industrias básicas del aluminio y derivados del fluor. Producen emisiones de contaminantes derivados del flúor. [21]

## **4.7 Los efectos de la contaminación de aire**

### **4.7.1 El smog**

El smog es una mezcla de contaminantes, acumulados por un tiempo prolongado en el aire de una ciudad, y que se percibe como una niebla o humo asfixiante. El estancamiento de los contaminantes en una ciudad es consecuencia de las condiciones meteorológicas locales y puede verse favorecido por las condiciones geográficas del lugar [24].

La formación de smog se presenta con mayor frecuencia en las grandes zonas urbanas ubicadas en valles y rodeadas por montañas. Si los vientos están en calma, los contaminantes pueden quedar atrapados por efectos de la **inversión térmica**.

### **Smog industrial**

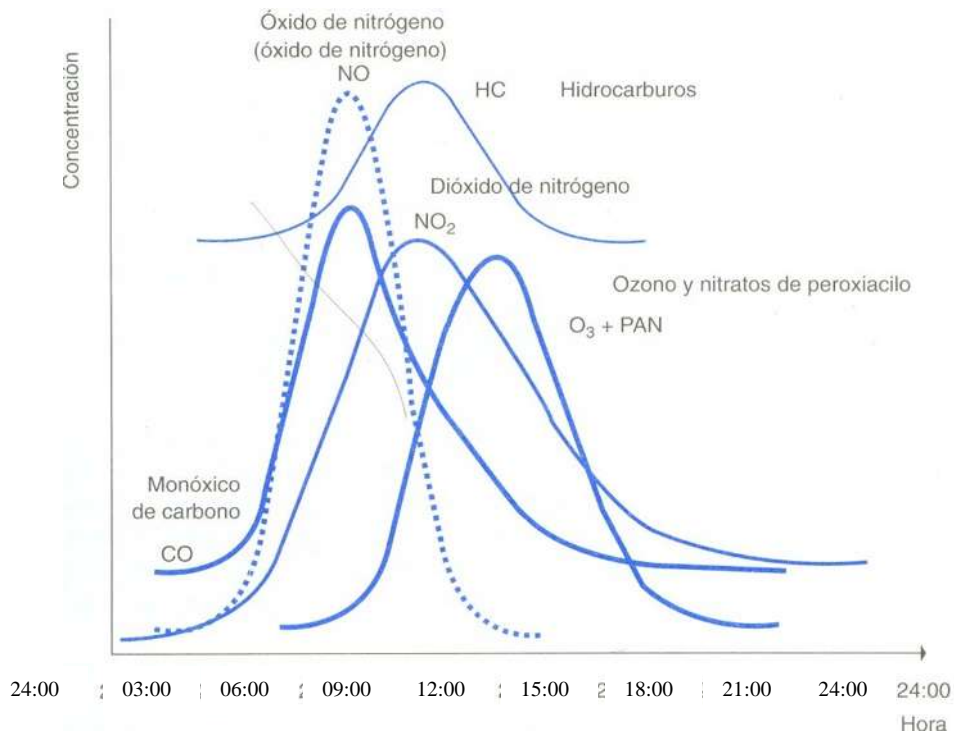
También se conoce como smog de Londres y se debe a los ácidos de azufre ( $\text{SO}_2$  Y  $\text{SO}_3$ ) y partículas suspendidas de materia (PSM). Su color es grisáceo y se presenta en invierno, en las ciudades donde se genera eléctrica a partir de combustibles con alto contenido de azufre. Este problema se presentó a principios del siglo XX, Chicago y Pittsburg, donde se quemaron grandes cantidades de carbón y petróleo pesado con impurezas de azufre, en plantas industriales para generar energía eléctrica y calefacción [25]. En la actualidad, rara vez se manifiesta este tipo de contaminación ya que se ha desarrollado tecnología para evitar o reducir al máximo la emisión de óxidos de azufre durante la combustión de carbono y petróleo. No obstante, este no es el caso para unos países como China, Polonia y otros de Europa oriental.

### **Smog fotoquímico**

También se conoce como smog de los Ángeles o de la Ciudad de México. Sus principales constituyentes son el ozono ( $\text{O}_3$ ) y los nitratos de peroxiacilo (PAN) que se generan por la acción de la luz solar sobre hidrocarburos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno. De hecho en todas las ciudades modernas se presentan problemas de smog fotoquímico, que se intensifican en verano y cuando se presenta un alto tráfico vehicular.

La formación de ozono y de nitratos de peroxiacilo requiere una serie de reacciones químicas y fotoquímicas que tienen lugar por las mañanas cuando se combina el intenso tráfico vehicular con la radiación solar. La figura 4.2 ilustra la variación temporal de los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, ozono y PAN en la atmósfera de una ciudad occidental típica.





**Fig. 4.2** Variación temporal de los contaminantes fotoquímicos en una ciudad típica

*Fuente:* Alfaro/Limón/Martínez/Ramos/Tijerina, "Ciencias del Ambiente" [1].

La reacción que da inicio a la formación del smog fotoquímico ocurre por las mañanas, dentro del motor de los automóviles, cuando al ponerlos en marcha ocurre la combustión de la gasolina y la emisión de óxido de nitrógeno y de compuestos orgánicos de la gasolina que no se alcanzan a quemar. La concentración de estos gases llega a su máximo entre 6:00 y 7:00 a.m. En esta hora, el tráfico vehicular es intenso, debido a la movilización de las personas hacia sus lugares de trabajo o de estudio (figura 4.1). Con la aparición de los rayos solares ocurre, la conversión de óxido de nitrógeno en dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), este último alcanza su concentración máxima a las 10:00 a.m.

El proceso concluye con las reacciones que forman el ozono y los nitratos de peroxiacilo. Estas se inician alrededor de las 10:00 a.m., cuando existe una elevada concentración de dióxido de nitrógeno, de compuestos orgánicos y la radiación solar es intensa. La concentración máxima de los contaminantes fotoquímicos se produce cerca del mediodía.

Por la tarde, conforme disminuye la intensidad de la radiación solar, baja los niveles de O<sub>3</sub> y PAN en la atmósfera. Esta situación se origina, a pesar de que el tráfico vehicular

se intensifica una vez más (alrededor de las 6:00 p.m.), cuando las personas regresan a sus actividades.

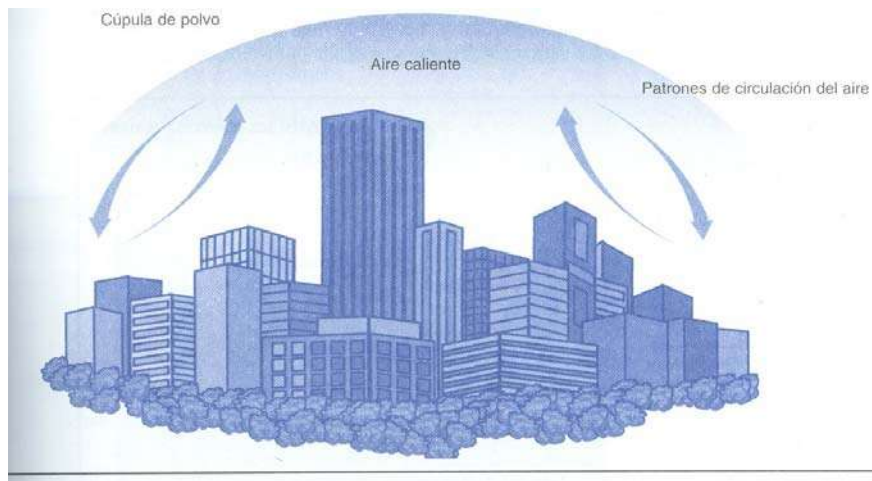
### **Isla de calor urbana**

Conforme las áreas urbanas crecen o se fusionan y forman áreas metropolitanas, aumentan los problemas ambientales. Un problema que a menudo pasa desapercibido para los habitantes de una gran área urbana es la alteración del clima local. Se ha demostrado que la temperatura, la precipitación y la nubosidad suelen ser mas altas en las áreas urbanas que en los suburbios y zonas rurales vecinas.

En una gran ciudad se combinan diferentes ingredientes para el almacenamiento de calor. Por un lado, se tienen automóviles, fabricas, sistemas de calefacción, alumbrado y los habitantes, que generan calor. Por otro lado, los edificios altos, el asfalto de las calles y de grandes áreas como los estacionamientos absorben el calor y obstruyen el paso de los vientos refrescante. En caso de lluvias, el agua escurre con rapidez, de modo que se reducen las posibilidades de un enfriamiento del aire por evaporación.

Este calentamiento atmosférico se conoce como “isla urbana de calor” y es un efecto microclimático típico de las grandes ciudades, que son “islas de calor” rodeadas por áreas suburbanas y rurales generalmente frescas o frías. La región así atrapada en la isla posee una cúpula de calor, en donde se quedan atrapados contaminantes, en especial partículas sólidas suspendidas, creando una cúpula o domo de polvo sobre las áreas urbanas. La figura 4.3 muestra los diferentes componentes de una isla urbana de calor.

En consecuencia, la concentración de materia particulada suspendida sobre grandes áreas urbanas con actividades industriales puede ser hasta mas de 1000 veces que las que se registran sobre áreas rurales. La cúpula de polvo se puede alargar por la acción de los vientos y formar un penacho de polvo que transporta los contaminantes de las zonas urbanas sobre áreas rurales e incluso hasta otras zonas urbanas localizadas a cientos de kilómetros de distancia.



**Figura 4.3** Isla urbana de calor y cúpula de polvo sobre una ciudad  
*Fuente:* Alfaro/Limón/Martínez/Ramos/Tijerina, “Ciencias del Ambiente” [1].

Cuando las grandes áreas metropolitanas crecen hasta fusionarse con otras similares se forma una megalópolis. En estas condiciones se desarrollan islas de calor regionales que afectan el clima de una región y evitan la limpieza adecuada de la atmósfera. Un ejemplo internacional de este fenómeno es la urbanización del espacio abierto entre las ciudades de Boston y Washington. En el ámbito regional, se podría formar una megalópolis al crecer las ciudades de Monterrey y Saltillo, hasta fusionarse.

### **Inversión térmica.**

El comportamiento y la concentración de contaminantes en el aire de una zona urbana esta regido por la densidad de la población en industria, por el tipo de combustibles utilizados en la industria, la calefacción y el transporte; pero también, en gran medida, por el clima y la topografía de la región.

Así, la dispersión de los contaminantes en al atmósfera depende de la velocidad y dirección del viento y del perfil de la temperatura de la atmósfera. En la troposfera, la capa de la atmósfera más cercana a la corteza terrestre, la temperatura decrece con la altura. Esto permite la difusión del aire caliente superficial hacia alturas mayores, que se intensifica en presencia de turbulencias. En este caso se considera que la atmósfera es inestable.

Es obvio que una atmósfera inestable provoca mayor dispersión de contaminantes y una disminución de su concentración a bajas alturas (edificios, vegetación) en una zona urbana.

Dependiendo del clima y de las condiciones topográficas de la región, se puede presentar el caso contrario es decir, que la temperatura aumente con la altura. En estas condiciones, habrá una capa de aire caliente sobre una de aire frío, lo que impide la difusión vertical del aire. Cuando ocurre esta situación, se dice que hay una inversión térmica. Es un fenómeno natural y representa una atmósfera estable. En la figura 9.5 se describen las condiciones para que suceda la inversión térmica.

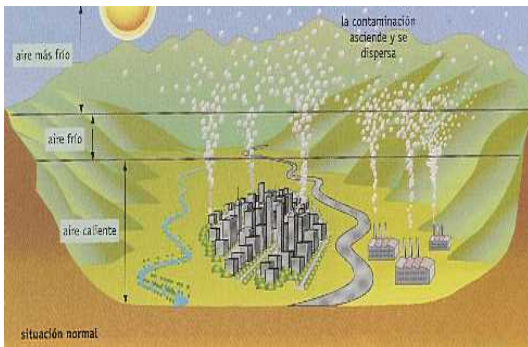
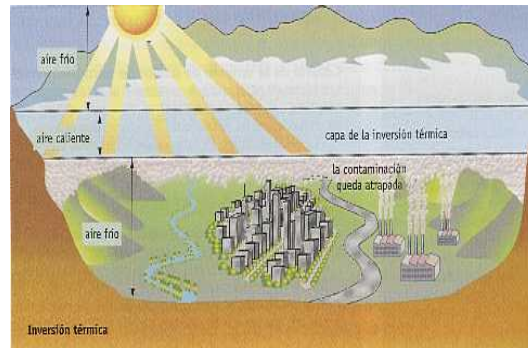


Fig. 4.4 En la situación habitual de la atmósfera la temperatura desciende con la altitud lo que favorece que suba el aire más caliente (menos denso) y arrastre a los contaminantes hacia arriba.

Fuente: BUENO, J.L, "Contaminación e ingeniería ambiental"/ 5 vol. Oviedo ,1997

Fig. 4.5 En una situación de inversión térmica un aire más cálido se sitúa sobre el aire superficial más frío e impide la ascensión de este último (más denso), por lo que la contaminación queda encerrada y va aumentando.

Fuente: BUENO, J.L, "Contaminación e ingeniería ambiental"/ 5 vol. Oviedo ,1997



capa de aire más caliente impide la dispersión de la contaminación

ingeniería

### Inversión térmica de superficie

Cuando la inversión térmica se produce a partir del suelo, se conoce como inversión de superficie. En esta situación, los contaminantes permanecen en una capa poco profunda y los vientos son siempre ligeros, de modo que se observan altas concentraciones de contaminantes cuando estos se emiten cerca del suelo.

Una inversión térmica de superficie puede suceder de diferentes formas, las más importantes son:

Inversión por irradiación: se presenta normalmente por la noche, cuando la superficie terrestre se enfría al no recibir radiación solar y, por tanto, el aire que se encuentra en contacto con la superficie es más frío que el que está a mayor altura. Este tipo de inversión es común en noches despejadas y sin vientos.

Inversión por advección: ocurre cuando una masa de aire caliente pasa sobre una superficie fría, como un lago o terrenos cubiertos por nieve. Este tipo de inversión sucede en las proximidades de una zona frontal, por ello se conoce también como invasión frontal.

### **Invasión térmica en alto**

Cuando la inversión se produce en una capa situada a una altura cualquiera, se denomina inversión en altura. La inversión por subsidencia es la más importante de esta clase.

Inversión por subsidencia: se debe al ascenso de aire caliente cuando es reemplazado por una masa de aire frío que desciende sobre la superficie; los sistemas de altas presiones provocan esta inversión.

### **Efectos de la inversión térmica en una zona urbana**

La inversión térmica es un fenómeno natural que, en principio, se puede presentar cualquier día del año y a cualquier hora del día y que, debido a su carácter natural, no representa riesgo para la salud humana. Termina cuando los rayos solares alcanzan su máxima intensidad o cuando la velocidad del viento es mayor de 20 km/h.

La inversión térmica se vuelve peligrosa en una zona urbana, ya que la capa de aire caliente que cubre la región impide que se desarrollen corrientes de aire ascendentes que dispersarían los contaminantes. Esta situación se agrava en presencia de masas de aire de alta presión, que propician que una inversión se prolongue a varios días. En estas condiciones, los contaminantes del aire en la superficie llegan a concentrarse hasta llegar a valores nocivos o letales para los seres vivos.

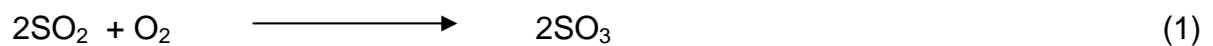
Una inversión térmica también puede ser peligrosa, ya que acentúa los efectos nocivos de las islas de calor urbano y las cúpulas de polvo que se forman sobre las áreas urbanas.

### Lluvia acida

El termino “lluvia acida” podría sugerir que se trata de una precipitación líquida con un nivel de acidez mas elevado de lo normal. En realidad, este término se refiere a la precipitación húmeda o seca de partículas y a la condensación de vapores ácidos sobre la superficie terrestre. Para describir este fenómeno, también se utiliza el termino “deposición acida o depositacion” ver figura 4.6

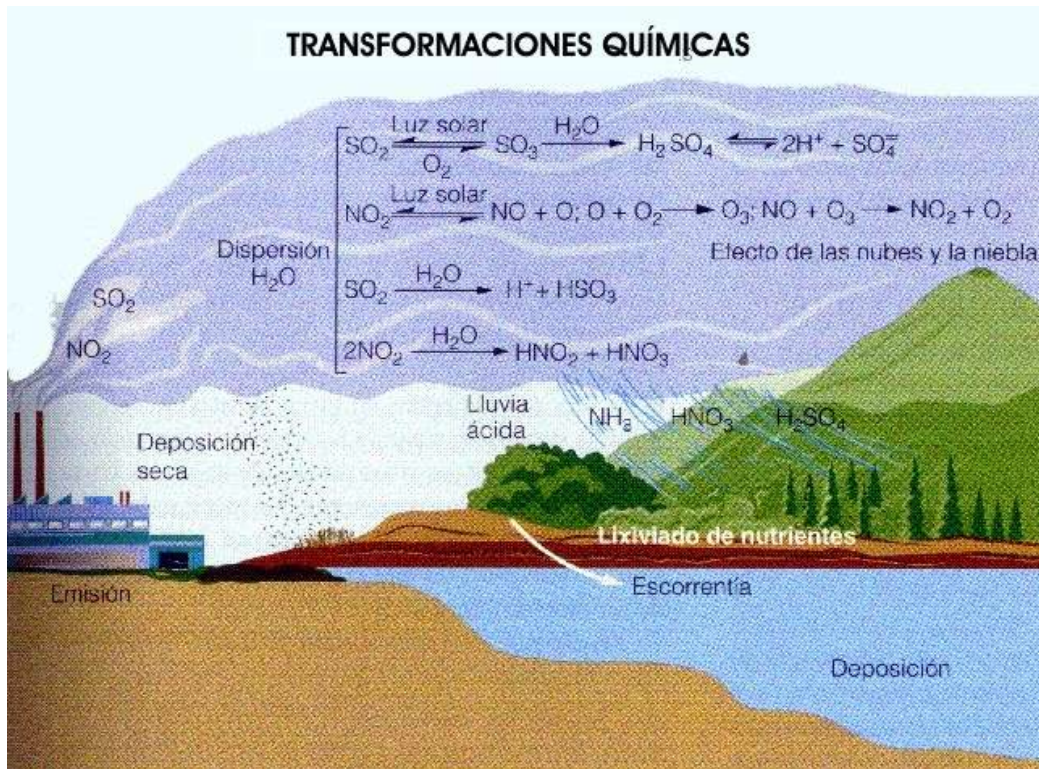
El origen principal de la lluvia acida es la quema de combustibles que contienen azufre. Así, el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), que es emitido como un subproducto de la quema de carbón o combustoleo, en presencia de oxígeno y catalizadores da lugar a la formación de trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) y este, a su vez, a la aparición de sales sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) en la atmósfera, mismas que al combinarse con agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) producen acido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

Las ecuaciones (1) y (2) describen este proceso de una forma simplificada:

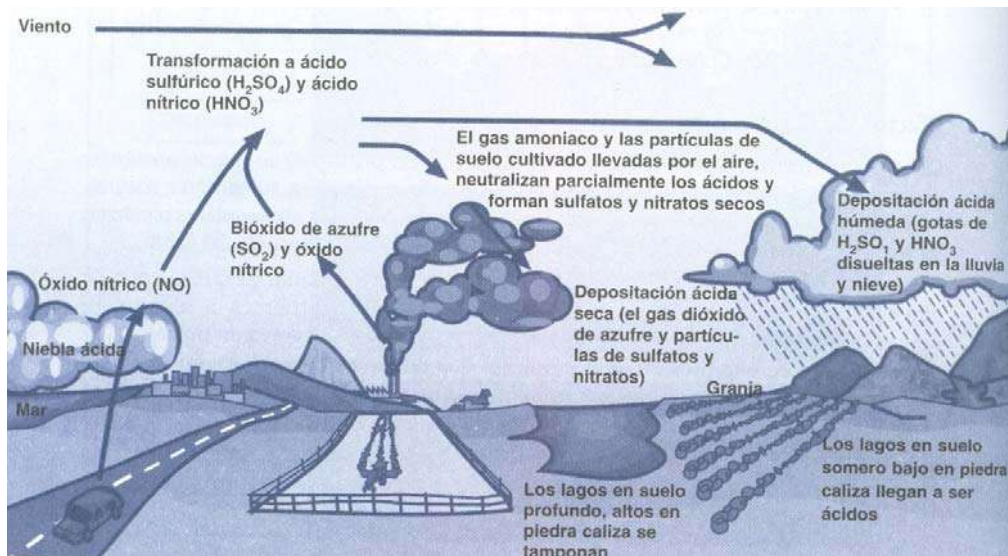


Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ) que se producen en los procesos de combustión a alta temperatura, como en automóviles y centrales eléctricas, también contribuyen a la lluvia acida, ya que se pueden convertir en acido nítrico en la atmósfera mediante un proceso similar al del  $\text{SO}_2$ .

Las principales fuentes móviles son los automóviles y estacionarias las chimeneas que producen materiales que pueden dar lugar a deposición acida, así como los mecanismos de transporte y transformación hasta que llegan a formar parte de deposiciones secas o húmedas, luego de combinarse con el  $\text{H}_2\text{O}$  atmosférico, ya sea en las nubes o al ser arrastrados por procesos de precipitación.



Fuente: Lluvia ácida <http://www.sagan-gea.org/hojared/Hoja13.htm>



**Fig. 9.6**

Contaminantes precursores de la lluvia ácida.

Cuando las sustancias ácidas alcanzan la superficie de la Tierra, se pueden depositar sobre las plantas, edificaciones o en el suelo. Gran parte penetran en los cuerpos de agua y pueden finalmente, conducir a un aumento en la acidez de arroyos, ríos, pantanos y lagos.

De esta forma, los lagos y lagunas tienden a convertirse en depósitos para algunos de estos compuestos ácidos que, además de depositarse con la lluvia, pueden ser transportados por la escorrentía superficial a estos cuerpos de agua. Otra forma de contaminación de los cuerpos de agua con sustancias ácidas ocurren en las temporadas de desahue, durante la primavera, cuando al derretirse la nieve se libera el material ácido que se había acumulado en ella durante el invierno.

La distancia a la que se transportan los agentes contaminantes en la atmósfera depende de la estructura y de la dinámica atmosférica. Por ejemplo, el ambiente cercano a una planta termoeléctrica (1 a 2 Km.) se ve afectado negativamente por las emisiones ácidas de esta. Se puede presentar una decoloración en las hojas de los árboles o una disminución en las cosechas.

También es posible que los mecanismos de transporte de largo alcance lleven el material ácido hasta 10, 100 o más kilómetros de su origen, antes de su precipitación. Así, se hace difícil asociar los daños causados a la vegetación con la deposición ácida, además de que pueden ocurrir otros procesos químicos en el suelo.

La deposición ácida es un fenómeno conocido desde hace varias décadas, principalmente en las grandes ciudades y en la cercanía de las plantas industriales como las fundidoras. En la actualidad, el fenómeno es mucho más extenso; por ejemplo, el pH anual promedio de la lluvia en algunas extensiones del este de Estados Unidos, sureste de Canadá y de Europa oriental varía entre 4 y 4.5.

Este fenómeno también sucede en el valle de México. Su origen principal son los óxidos de azufre que provienen de la combustión del combustóleo que tiene alto contenido de azufre y es utilizado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para producir electricidad. Por ello, resulta claro que para las condiciones de contaminación que prevalecen en el Distrito Federal la lluvia resulta benéfica, ya que a su paso arrastra una gran cantidad de contaminantes, que de otra forma respirarían los habitantes de esa gran ciudad.



# EMISIONES ATMOSFÉRICAS

## 5. EMISIONES ATMOSFÉRICAS

### 5.1 TIPO DE EMISIONES

Tradicionalmente se consideran como fuentes emisoras de contaminación atmosférica a dos grupos de gran importancia que se establecen de la siguiente forma:

1. Naturales: erupciones volcánicas, incendios forestales no provocados por el hombre, tolvánicas, polen, bacterias, partículas orgánicas en descomposición y ozona entre otras.
  
2. Antropogénicas; que a su vez se pueden subdividir en tres grupos:
  - ❖ Fijas: fábricas, talleres en general, instalaciones nucleares, termoeléctricas, refinerías de petróleo, plantas procesadoras de cemento, fábricas de fertilizantes, fundiciones de hierro y acero, baños incineradores industriales, comerciales, domésticos y los de servicio público.
  
  - ❖ Móviles: plantas de emergencia generadoras de energía eléctrica, plantas elaboradores de concreto, vehículos de combustión interna como: automóviles aviones, locomotoras, barcos, motocicletas y similares.
  
  - ❖ Diversas: quema a cielo abierto de basura y residuos peligrosas o potencialmente peligrosos, uso de explosivos o cualquier tipo de combustión que produzca o pueda producir contaminación.

Si atendemos a la distribución espacial de la emisión de contaminantes, podemos clasificar las fuentes en: puntuales, tales como las chimeneas industriales aisladas; lineales, por ejemplo, las calles de una ciudad, las carreteras y autopistas; y de área, las aglomeraciones industriales y las áreas urbanas son los ejemplos más representativos.

En el cuadro siguiente se muestra la proporción entre las emisiones primarias naturales y antropogénicas para los distintos contaminantes.

Contaminante	Fuentes de emisión	
	Antropogénicas	Naturales
	%	%
Aerosoles	11.3	88.7
SOx	42.9	57.1
CO	9.4	90.6
NO	11.3	88.7
HC	15.5	84.5

Tabla 5.1

Fuente: José E. Marcano, "Educación ambiental en la República Dominicana", Pagina de Internet  
<http://www.jmarcano.com/index.html>. [27]

Las cifras anteriores muestran la gran importancia que, en cuanto a emisiones globales, tienen las fuentes naturales de emisión de contaminantes en relación con las antropogénicas, excepto en el caso de las emisiones de anhídrido sulfuroso en que casi se igualan ambas.

Otra circunstancia a tener en cuenta es que las fuentes de emisión antropogénicas están concentradas, por lo general, en áreas urbanas e industriales. Este conjunto de circunstancias hacen que la contribución de las emisiones antropogénicas al problema de la contaminación atmosférica a escala regional sea predominante.

## **5.2 SISTEMA INTEGRADO DE REGULACIÓN Y GESTIÓN AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA**

El 11 de abril de 1997 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Acuerdo mediante el cual la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) establece los mecanismos y procedimientos para obtener la Licencia Ambiental Única (LAU), mediante un sólo trámite, así como la actualización de la información de emisiones contaminantes, en el primer cuatrimestre de cada año, mediante una Cédula de Operación Anual (COA).

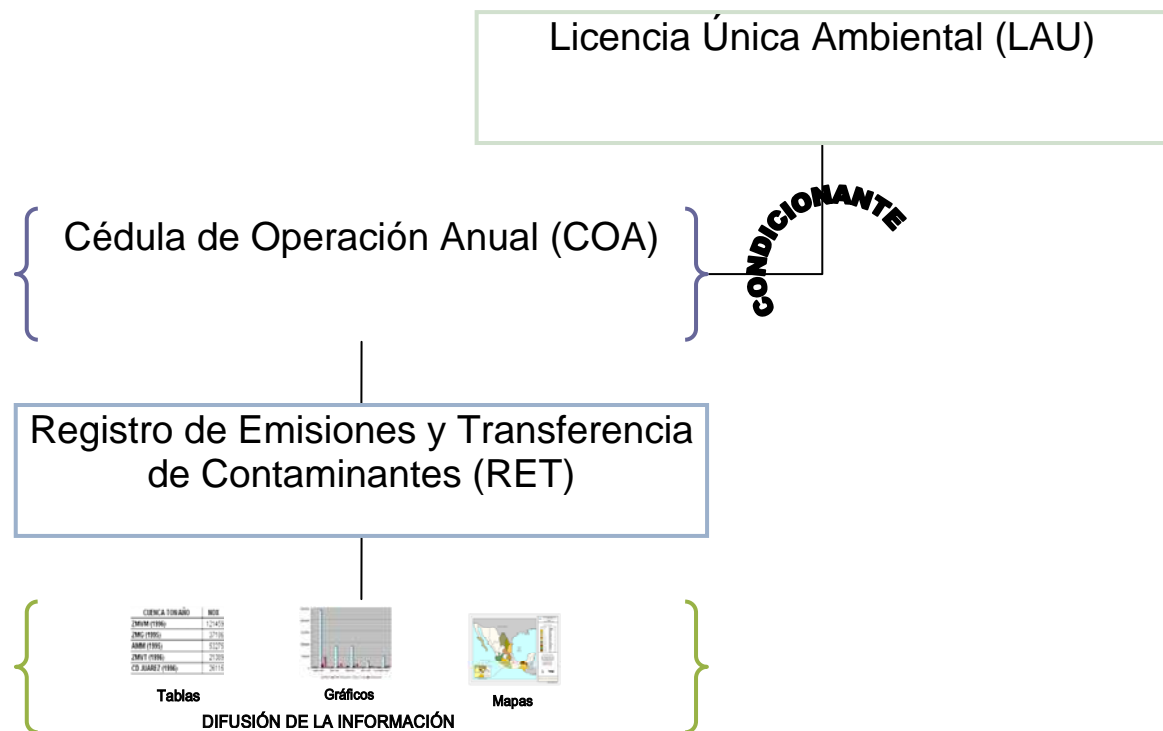


Figura 5.1 Componentes de la regulación y gestión ambiental de la industria

### 5.2.1 Licencia ambiental única (LAU)

La LAU es un instrumento de regulación directa, para establecimientos industriales de jurisdicción federal y estatal en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera, que establece condiciones para su operación y funcionamiento integral conforme a la legislación ambiental vigente. La LAU permite coordinar en un solo proceso la evaluación, dictamen y seguimiento de las obligaciones ambientales de dichos establecimientos en materia de trámites de impacto ambiental y riesgo, emisiones a la atmósfera y generación y tratamiento de residuos peligrosos y residuos no peligrosos, y de servicios hidráulicos.

#### Características de la LAU

- Única por establecimiento industrial.
- Integra: Impacto ambiental y riesgo.
  - Emisiones a la atmósfera.
  - Residuos peligrosos y no peligrosos.
  - Servicios hidráulicos.

- Es obligatoria para establecimientos de jurisdicción federal y Estatal en materia de atmósfera, nuevos o que deban regularizarse.
- Puede solicitarse de manera voluntaria vía relicenciamiento.
- Se emite por única vez. Deberá renovarse por cambio de giro o de localización. Deberá actualizarse por aumento de la producción, ampliación de la planta o cambio de razón social.

### **Marco jurídico**

De acuerdo a lo que nos marca la ley se establece lo siguiente en materia de la Licencia Única Ambiental.

### **Ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente (LGEEPA)**

**Artículo 7.-** Corresponden a los Estados, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

**III.-** La prevención y control de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, así como por fuentes móviles, que conforme a lo establecido en esta Ley no sean de competencia Federal;

**IV.-** La regulación de actividades que no sean consideradas altamente riesgosas para el ambiente.

### **Ley del equilibrio ecológico y protección al ambiente del estado de Michoacán de Ocampo (LEEPAEMO)**

**Reglamento.** *Capítulo 2.* De la contaminación generada por fuentes fijas.

**Artículo 149.-** En materia de contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, corresponde a la Secretaría el ejercicio de las siguientes atribuciones:

V. Otorgar la Licencia Ambiental Única para operar las fuentes fijas de jurisdicción estatal.

### **5.2.2 Cédula de Operación Anual (COA)**

En correspondencia con el enfoque de la LAU, la COA se constituye en un reporte anual multimédios relativo a la emisión y transferencia de contaminantes ocurridos en el año calendario anterior. Su presentación forma parte de las obligaciones fijadas en la Licencia de Funcionamiento y la Licencia Ambiental Única. Se presenta por establecimiento industrial, tanto para actualizar la información sobre su operación y facilitar su seguimiento por parte de la autoridad ambiental, como para ofrecer información actualizada que contribuya a la definición de políticas ambientales por regiones prioritarias o a escala nacional. La COA deberá entregarse en el primer cuatrimestre de cada año según lo establecido en la Licencia respectiva.

#### ***La COA contempla la siguiente información básica:***

- Cantidades de emisión y transferencia de sustancias contaminantes a los diferentes medios (aire, agua, suelo).
- Cantidades de transferencia de tales sustancias fuera del establecimiento sea para su tratamiento, reciclaje, reuso y disposición final, en el caso de empresas generadoras.
- Actividades de control y prevención de la contaminación y proyección de los volúmenes de contaminación para el siguiente período de reporte.
- Información sobre métodos de tratamiento *in situ*.

Dado el enfoque multimédios de la COA, la empresa podrá derivar, del análisis de la misma, prioridades en materia de procesos que promuevan el uso de *tecnologías limpias* y la detección de problemas ambientales específicos ocasionados por la transferencia entre medios de los contaminantes. Ello le permitirá ampliar el concepto de lo que actualmente se conoce como tecnologías de control e incorporar la consideración

de la necesidad de sustitución de materias primas y sustancias peligrosas, el cambio o modernización de procesos, la racionalización del uso del agua y la energía, la utilización de mejores combustibles y el reciclaje de residuos o subproductos.

### **Características de la Cédula**

- Genera información anual multimedios sobre la emisión y transferencia de contaminantes.
- Da seguimiento a la operación del establecimiento.
- Permite actualizar, si es el caso, las condiciones de licenciamiento.
- Apoya la toma de decisiones en materia de protección ambiental.
- Contribuye a la formulación de criterios y políticas ambientales.

Cada establecimiento industrial debe preparar la COA para actualizar información sobre actividades y las bases en las cuales recibió la LAU. La COA contiene las secciones siguientes:

### **Sección I.** Información técnica general

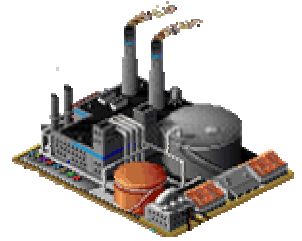
Información esencial para la vinculación, comprensión y validación de los datos en las diferentes secciones de la Cédula de Operación Anual (COA)

1. Diagrama de operación y funcionamiento
2. Insumos
3. Productos y subproductos
4. Consumo energético
5. Combustible

### **Sección II.** Registro de emisiones de contaminantes atmosféricos

1. Características de la maquinaria, equipo o actividad que generó la emisión.
2. Características de los ductos y chimeneas por dónde se condujeron.
3. Contaminantes atmosféricos normados.
  - Las emisiones de:

- Bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)
- Partículas suspendidas totales (PST)
- Monóxido de carbono (CO)
- Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- Partículas PM10
- Hidrocarburos Totales (HCT)
- Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)



**Sección III.** Aprovechamiento de agua, registro descargas y transferencia de contaminantes y sustancias en el agua.

**Sección IV.** Registro de la generación, manejo y transferencia de residuos peligrosos.

**Sección V.** Registro de emisiones (aire, agua, residuos) y transferencia (agua y residuos) de otras sustancias.

La COA contribuirá a integrar anualmente el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). Dicho registro es uno de los componentes del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

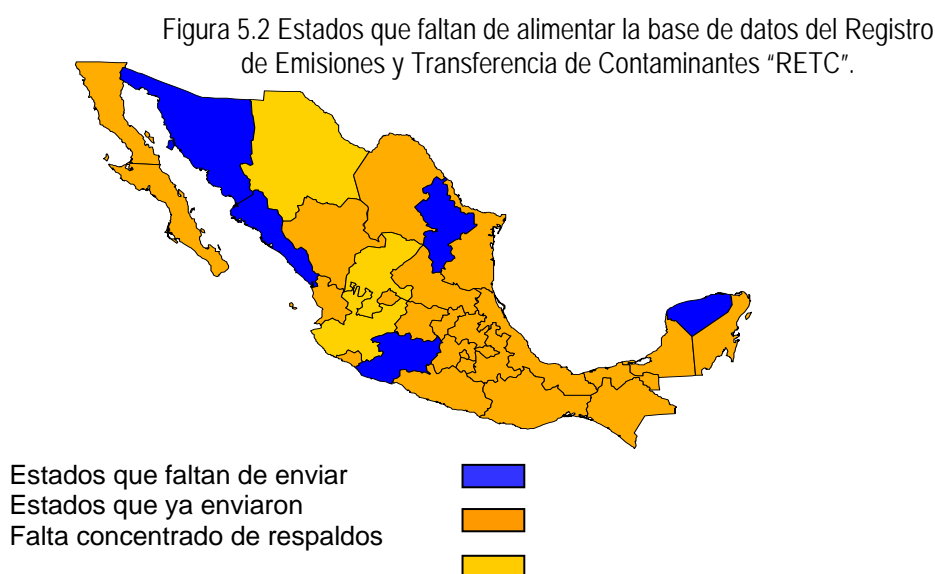
### **5.2.3 Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)**

En el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) proporciona datos detallados con respecto a los tipos, ubicación y cantidades de sustancias descargadas en el sitio y transferencia fuera del sitio por instalaciones industriales que ayudan a definir políticas y acciones locales, regionales y globales como: prevención de la contaminación, reducción la generación de residuos, disminución de emisiones en determinada región, además permite elaborar análisis de información ambiental regional y de otra índole geográfica.



La ubicación geográfica de los establecimientos se obtiene de la información que se proporciona en la COA, ya sea con las coordenadas geográficas de latitud y longitud o, en dado caso coordenadas UTM. Las cuadrícula UTM, se construye con el eje de las X (equis) coincidiendo con el ecuador y el de las Y (yes) con el meridiano central.

En la gráfica siguiente se muestra que Michoacán es de los pocos estados que faltan de enviar la información para el RETC, por lo que urge tener un control más estricto en la industria.



Fuente: Presentación "Licencia única ambiental" por el Ing. Alberto Vásquez García por parte de la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) 14 de Febrero de 2006

### 5.3 ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES A LOS QUE SE APLICA LA LAU

Conforme a los Artículos 162 de la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Michoacán de Ocampo (LEEPAEMO) son fuentes fijas de jurisdicción Estatal en materia de prevención y control de la contaminación a la atmósfera, los establecimientos industriales que se encuentran comprendidos en los siguientes sectores:

1. Petróleo y petroquímica
2. Química
3. Metalúrgica (incluye la siderúrgica)
4. Automotriz
5. Celulosa y papel
6. Cemento y cal
7. Alimenticio y/o consumo humano
8. Artículos y productos plásticos
9. Artículos y productos metálicos
10. Artículos y equipos electrónicos, eléctricos y domésticos.
11. Artículos y productos compuestos de diferentes materiales.
12. Vidrio y cristal
13. Congelación, hielo y productos
14. Prestadores de servicios generadores de residuos peligrosos y/o riesgo

#### **5.4 Procedimiento Integrado de Trámites**

El procedimiento integrado de trámites se establece con el objetivo de asegurar la coordinación e integración, en un solo proceso, del conjunto de trámites que integra la LAU. En el caso de la primera etapa de aplicación de la LAU, el proceso se inicia y termina en el Módulo de Regulación Industrial de la Ventanilla de Trámites del INE. En el caso de la COA, su presentación se hace ante la Delegación Federal de la SEMARNAP en el Estado en el que se ubica el establecimiento o ante el Módulo indicado cuando se encuentra en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. El procedimiento cubre tres fases:

##### **1. FASE DE INICIO**

###### **La empresa**

El gestor o promovente, autorizado por la empresa, se presenta a la ventanilla de

trámites, dónde se le dará información sobre los requisitos a cumplir, en nuestro caso en materia de Emisiones a la Atmósfera.

#### **La ventanilla de trámites**

Entrega al gestor o promovente la documentación respectiva que con base en la Ley Federal de Derechos, se deberán hacer los pagos respectivos a cada trámite, al iniciar éstos o al recibir la resolución, según el caso.

#### **La empresa**

Requisita los documentos y si procede elabora los estudios respectivos. Presenta el expediente ante la ventanilla en original y el número de copias especificado en la solicitud, acompañados del o los comprobantes de pago de derechos que correspondan.

#### **La ventanilla de trámites**

Recibe el trámite, asigna al establecimiento el Número de Registro Ambiental (NRA), mediante el cual se le identificará para cualquier trámite o consulta, y envía el expediente a las áreas competentes en un plazo máximo de tres días hábiles a partir de su recepción.

#### **Las áreas competentes**

Integran el expediente, contando con un tercio del plazo de respuesta para requerir al interesado, por escrito y por única vez, que subsane las faltas u omisiones detectadas. El plazo de respuesta oscila entre treinta días hábiles, en el caso de emisiones a la atmósfera.

En el caso que exista algún requerimiento, el trámite se suspenderá y se reanudará a partir del día hábil inmediato siguiente a aquél en que el interesado conteste. Cuando el requerimiento no se haga en el plazo fijado, el trámite se dará por recibido. Si el interesado no subsana las faltas u omisiones en un plazo máximo de treinta días hábiles a partir de que reciba el requerimiento, se desechará la solicitud.

Cumplida la integración del expediente, las áreas competentes proceden al análisis de la documentación y emiten su dictamen o resolución dentro del plazo de respuesta.

### ***Emisión de la LAU***

Con base en los dictámenes y resoluciones recibidas, el INE consolida los dictámenes y resoluciones; si éstos son favorables emite la LAU. En caso contrario negará la misma, notificándose al interesado. Si es el caso, le señalará las modificaciones a realizar para reiniciar el trámite y lograr la emisión de la LAU. El oficio de emisión de la LAU va acompañado de los títulos, permisos y autorizaciones a que haya lugar, firmados por la autoridad competente, y se envía a la Ventanilla de Trámites. Se cuenta para todo el proceso con un plazo máximo de siete días hábiles.

En total, desde que se recibe el trámite hasta la emisión de la LAU, transcurren entre cuarenta y setenta días hábiles.

### ***La ventanilla de trámites***

Entrega la LAU y sus anexos al gestor o promovente. La empresa recibe la LAU en la comprensión que la misma es un requisito legal mediante el cual se establecen las condiciones de operación y funcionamiento del establecimiento a que queda obligado el responsable del mismo, dentro de los términos que fija la ley, y que las obras e instalaciones que se requieran sólo podrán realizarse, si es el caso, conforme a las condiciones fijadas en la Autorización de Impacto Ambiental. Concluidas las obras e instalaciones, el responsable del establecimiento deberá notificar al INE la fecha de finalización de los trabajos.

## ***2. FASE DE OPERACIÓN INICIAL***

### ***La empresa***

En el caso de establecimientos nuevos y conforme a las disposiciones legales aplicables, el responsable del establecimiento contará con un período inicial, por un máximo de seis meses, para la puesta a punto de los procesos, maquinaria y equipos, a fin de garantizar que la operación de los mismos cumple con los requisitos legales aplicables. Para ello, deberá notificar al INE la fecha de inicio de operaciones. Además, en este lapso deberá realizar los protocolos de pruebas a que esté obligado de acuerdo con la normatividad vigente, esto es, en el caso de Emisiones atmosféricas:

### ***Monitoreo y análisis de emisiones a la atmósfera.***

### ***La ventanilla de trámites***

Recibe los informes y los envía a las áreas competentes, contando con un máximo de tres días hábiles.

### ***Las áreas competentes***

Contarán con treinta días hábiles para emitir su dictamen, si es que como resultado del análisis de los informes presentados se deben modificar las condiciones de operación fijadas en la Licencia para asegurar el cumplimiento de la normatividad vigente. En ese lapso, la Secretaría podrá notificar al interesado la realización de una visita de verificación de la información, la cual deberá llevarse a cabo dentro de los quince días hábiles siguientes a la notificación. De no realizarse la visita o de no emitirse la resolución dentro del tiempo fijado, se mantendrán sin cambio las condiciones fijadas en la LAU. Los dictámenes serán consolidados por el INE, contando con un máximo de siete días hábiles para enviarlos a la Ventanilla de Trámites, la que deberá notificar de inmediato a la empresa para que recoja la documentación.

### ***La ventanilla de trámites***

Previa su identificación, entrega al gestor o promovente los dictámenes respectivos.

### ***La empresa***

Si es el caso, realiza las acciones y/o modificaciones requeridas en los dictámenes y cumple con la normatividad vigente y las condiciones fijadas en la Licencia. En caso que la Secretaría constate que en la operación del establecimiento se incumplen las disposiciones legales aplicables, procederá a revocar la autorización y/o aplicará las sanciones que correspondan.

## **3. FASE DE OPERACIÓN CONTINUA**

### ***La empresa***

Presenta en el primer cuatrimestre de cada año la Cédula de Operación Anual del establecimiento, según lo establecido en la Licencia respectiva. Para el efecto se fijará un calendario mes a mes por sectores.

### ***La ventanilla de trámites***

Recibe la Cédula y la envía al área competente dentro de los cinco días hábiles siguientes.

### ***Las áreas competentes***

Con base en el análisis de la Cédula podrán modificar los niveles máximos de emisión que hubieren fijado, cuando la zona en que se ubique la fuente se convierta en zona crítica y/o existan modificaciones en los procesos de producción empleados. Si es el caso, emiten su dictamen en un plazo máximo de sesenta días hábiles. Los dictámenes serán consolidados por el INE, contando con un máximo de siete días hábiles, a partir de su recepción, para enviarlos a la Ventanilla de Trámites, la que deberá notificar de inmediato a la empresa para que recoja la documentación.

## **5.5 PROPOSITO, PLANEACION Y METODOS DE UN INVENTARIO DE EMISIONES**

### **5.5.1 PROPÓSITO DE UN INVENTARIO DE EMISIONES**

El tipo de información a considerarse, así como la mayor parte de las características de un inventario de emisiones, se definen en función de su propósito. En muchos casos, un inventario será desarrollado para alcanzar dos o tres propósitos principales. Una vez establecido el propósito de un inventario de emisiones, podrán definirse tanto sus características como los pasos posteriores para la recopilación de datos y la modelación necesaria para su actualización. Típicamente, los propósitos de un inventario son descritos en un documento de planeación que se elaboran al inicio de los esfuerzos. Con frecuencia, este documento es denominado «plan de trabajo» o «protocolo del inventario de emisiones». Además del propósito, el plan de trabajo deberá incluir una descripción de las características más relevantes del inventario, así como los pasos técnicos propuestos para su desarrollo.

Existen muchos propósitos diferentes para el inventario que varían dependiendo de las necesidades y circunstancias específicas. Por ejemplo, el propósito de un inventario de emisiones de un establecimiento industrial difiere significativamente con respecto al de

otro inventario de modelación regional a gran escala. El inventario para un establecimiento industrial puede utilizarse para determinar el grado de cumplimiento con la normatividad, mientras que el de modelación regional puede ser desarrollado para evaluar la calidad del aire en una zona con múltiples fuentes de emisiones. Algunos de los propósitos más comunes para el desarrollo de un inventario de emisiones son los siguientes:

- Estimar los efectos de las emisiones atmosféricas en la calidad del aire a través de estudios de modelación.
- Cumplir los requerimientos de reporte de emisiones como la cédula de operación anual y determinar el grado en que una fuente cumple con las condiciones de la licencia ambiental y las normas de emisiones.
- Estimar los cambios en las emisiones de las fuentes bajo distintos esquemas de regulación ambiental.
- Determinar especificaciones técnicas de equipos de control de emisiones.
- Detectar variaciones de los niveles de emisión en el tiempo.
- Identificar la contribución en las emisiones totales por las diferentes categorías de fuente de emisión o por fuentes específicas.
- Identificar oportunidades y requerimientos para la introducción de derechos de emisión comercializables.
- Desarrollar inventarios de emisiones integrados por sector económico o zonas geográficas.

La identificación del propósito del inventario requiere la participación y opinión de las personas o instituciones relevantes. Primero, la participación de los usuarios finales del inventario es crucial, dado que el uso planeado, así como la facilidad de uso, serán factores significativos en el desarrollo de un inventario de emisiones. Además, debido a que estas herramientas desempeñan un papel fundamental en la gestión de la calidad del aire, debe solicitarse la participación de las entidades regulatorias y gubernamentales pertinentes, y considerarse las políticas relacionadas.

Durante la identificación del propósito del inventario debe hacerse un esfuerzo por considerar las necesidades futuras de la gestión de la calidad del aire, si bien algunas

veces pueden ser difíciles de proyectar. En otros casos, sin embargo, estas necesidades serán evidentes, y una pequeña ampliación de los recursos puede incrementar de manera significativa la utilidad final del inventario.

### **5.5.2 PLANEACIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES**

Planeación de un inventario de emisiones: nueve pasos necesarios presenta los nueve pasos técnicos que se deben considerar en la planeación de un inventario de emisiones [29].

1. Identificar el propósito de un inventario de emisiones. Como primer paso técnico en la planeación de un inventario de emisiones, es fundamental la identificación de su propósito o uso final. El propósito general ayudará a determinar muchos de los pasos posteriores.
2. Definir las características necesarias para el inventario de emisiones. Cada inventario de emisiones posee características específicas de acuerdo con el propósito que busca alcanzarse (por ejemplo tipos de contaminantes y de fuentes, año base, etc.). Algunos inventarios pueden considerar sólo algunas de estas características, mientras que otros pueden requerir especificaciones muy detalladas.
3. Determinar las fuentes de información para el inventario de emisiones y seleccionar las técnicas y métodos de estimación de emisiones. Una vez que las características requeridas han sido identificadas, es necesario determinar las fuentes de información relacionada con las emisiones, así como seleccionar las técnicas y métodos más adecuados para el desarrollo del inventario.
4. Recopilar la información relacionada con las emisiones y datos de actividad. Después de que las fuentes de información y las metodologías de estimación han sido identificadas, el siguiente paso consiste en recopilar los datos relacionados con las emisiones, que incluyen factores de emisión y parámetros relacionados.

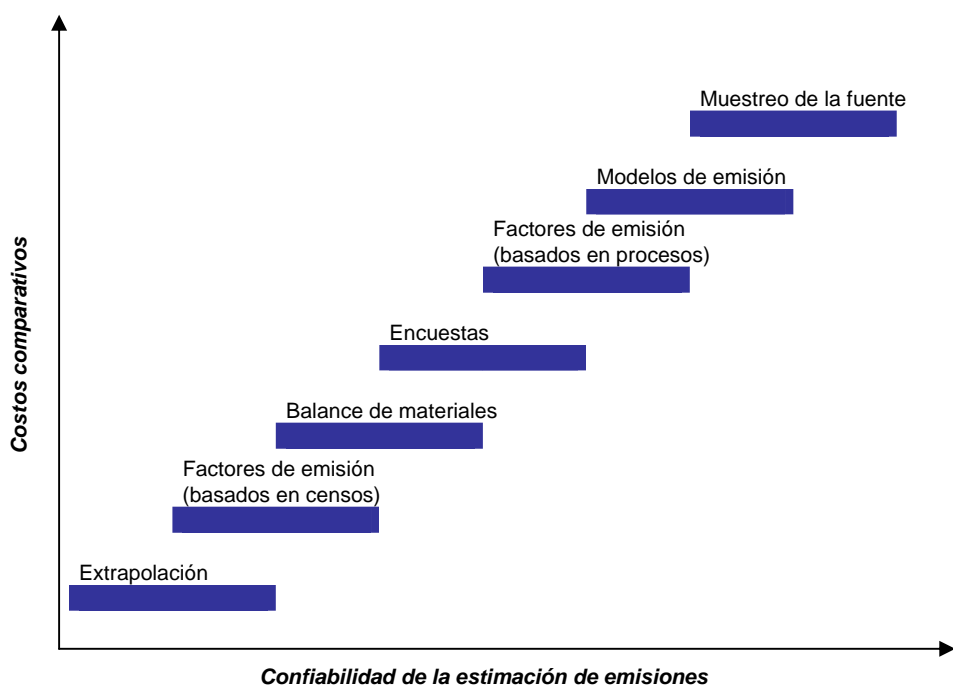


5. Realizar la estimación de emisiones y la modelación necesaria. Una vez que todos los datos necesarios han sido recopilados, se deben hacer los cálculos de estimación de emisiones. Estos cálculos se realizan conforme a la técnica o metodología de estimación de emisiones seleccionada. Los cálculos generalmente se hacen de manera electrónica, especialmente cuando se trata de inventarios más complejos. Después de que las emisiones han sido calculadas, y en caso necesario, debe ejecutarse la modelación del inventario.
6. Aseguramiento de calidad. El aseguramiento de calidad (AC) es un elemento que debe realizarse durante todo el proceso de desarrollo del inventario de emisiones. En particular, debe iniciar con la recopilación de información y continuar durante los cálculos de las emisiones y la modelación.
7. Evaluar la congruencia e incertidumbre de los resultados del inventario de emisiones. Después de que el inventario ha sido terminado, es necesario analizarlo y evaluar la congruencia e incertidumbre de los resultados. En su momento pueden ser importantes las comparaciones con las expectativas y la experiencia previa en inventarios similares desarrollados anteriormente o para otras regiones geográficas.
8. Almacenamiento electrónico de datos. Uno de los pasos finales del desarrollo de un inventario de emisiones es el archivo de los datos y la información relacionada. Dicho archivo debe conservarse, ya que constituye la base para el desarrollo de inventarios en el futuro.
9. Documentar resultados. El último paso del desarrollo de un inventario de emisiones es la documentación de resultados. Además de los resultados reales del inventario, la documentación también debe incluir las metodologías, datos y supuestos que fueron utilizados en el proceso de desarrollo.

### **5.5.3 Métodos y costos comparativos de la estimación de Emisiones**

El desarrollo de un programa de inventario de emisiones requiere de una combinación de enfoques. En este sentido, no existe un método único que pueda usarse

para estimar las emisiones de todas las categorías de fuente. La Figura 5.3 ilustra varios métodos para estimar emisiones cuando se analizan los costos del inventario en relación con la calidad de los resultados. En regiones con serios problemas por la contaminación del aire se deben instrumentar métodos más elaborados y costosos por lo que en aquellas regiones que tienen problemas ambientales mínimos, el uso de métodos de estimación menos costosos, como el de los factores de emisión, puede ser aceptable.



**Figura 5.3 Costos y confiabilidad de los métodos de estimación de emisiones**

Fuente: Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Western Governors' Association, Mayo 2005.

Las seis técnicas para la estimación de emisiones básicas que se describen representan los métodos más comunes para desarrollar inventarios de emisiones y que actualmente se utilizan en Norteamérica, Latinoamérica, Europa y Asia e incluyen criterios y lineamientos desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EU, la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) y otras instituciones de referencia internacional. Dichas técnicas para la estimación de emisiones son:

1. Muestreo en la Fuente: se trata de mediciones directas de la concentración de contaminantes con información conocida sobre el flujo másico o

volumétrico de los gases de salida en la chimenea. Esta técnica es la mejor forma de conocer la cantidad total de emisiones de una industria.

2. Modelos de Emisión: son ecuaciones desarrolladas para el cálculo de emisiones, cuando éstas dependen de multitud de parámetros. Por su complejidad, estos modelos normalmente requieren del uso de programas computacionales. Por ejemplo, el programa TANKS de la EPA es un modelo de emisiones computarizado que se usa para estimar emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) de los tanques de almacenamiento de combustibles o solventes.
3. Factores de Emisión: expresan la relación existente entre la cantidad de un contaminante emitido y una unidad de actividad (por ejemplo toneladas de producto elaborado, horas de operación, área superficial); también pueden relacionarse con información más general obtenida en censos (por ejemplo población, número de empleados, ingreso per cápita, etc.)
4. Balance de Materiales: La comparación entre las cantidades de entrada y salida de un proceso. Este método puede emplearse para estimar las emisiones contaminantes, siempre y cuando sea realizado por personal técnico capacitado y la memoria de cálculo respectiva se conserve para ser presentada al INE, si éste así lo solicita. Es utilizado con mayor frecuencia para fuentes de evaporación de solventes cuando no existe información disponible para utilizar otros métodos de estimación.
5. Encuestas: son cuestionarios diseñados para obtener información sobre emisiones. A menudo son utilizados para recopilar información sobre los establecimientos industriales y de servicios, pero también para obtener información de fuentes de área como parte de un muestreo representativo de fuentes dentro de una categoría dada.
6. Extrapolación: consiste en el cálculo de las emisiones de una fuente con base en las emisiones de otra fuente, por medio del uso de un parámetro de

extrapolación conocido para ambas fuentes, por ejemplo, cantidad de producción, área del terreno, número de empleados, etc.

# NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE Y DE EMISIONES

## 6. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE Y DE EMISIONES

La SEMARNAT tiene la responsabilidad de establecer normas de emisiones a nivel federal de acuerdo a la **LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE** (LGEEPA), Título IV, Artículo 111. Aunque los estados pueden instrumentar normas más exigentes, las normas federales representan un criterio mínimo. Las especificaciones que se incluyen en las NOMs se establecen como límites máximos permisibles -LMP- Existen LMPs para:

- Emisiones de procesos de combustión en establecimientos industriales y de servicios
  - Emisiones de fuentes fijas de industrias específicas como son: compuestos orgánicos volátiles [COVs] de la manufactura de automóviles y emisiones de partículas derivadas de procesos industriales en general y de plantas de fabricación de cemento, etc.
  - Fuentes móviles en los que se pueden mencionar la opacidad del escape de vehículos diesel, emisiones de vehículos a gas natural y que usan otros combustibles alternos, etc.

Los LMPs de emisiones de chimeneas como resultado de combustión se establecen en la NOM-085-ECOL-1994 para PST, bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), y dependen principalmente de la capacidad del equipo de combustión, el tipo de combustible usado, y la región del país. Esta norma también define la frecuencia de la medición mínima de emisiones y el método que se debe emplear para estas mediciones. Además, la Secretaría de Salud (SS) ha establecido las normas de calidad del aire (ver Tabla 5.2). Estas normas están basadas en criterios de protección a la salud humana y representan los niveles de concentración de contaminantes en la atmósfera que se considera no afectan la salud humana. Estas normas son un parámetro importante para determinar si la calidad del aire de una zona determinada es satisfactoria y para establecer programas de mejoramiento de la misma, así como medidas específicas en caso de presentarse condiciones atmosféricas críticas que pudieran afectar la salud de la población.

La redes de monitoreo atmosférico permiten conocer la concentración de contaminantes en una zona determinada y compararla contra la norma respectiva. El

mantenimiento y actualización de estas redes es responsabilidad de las autoridades estatales y locales, aunque existe un constante intercambio de la información generada en ellas con la Federación. Dentro de SEMARNAT, el INE centraliza y procesa la información de calidad del aire que proviene de las redes de monitoreo atmosférico que existen en varias regiones del país. Esta información puede consultarse a través del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) en la página del INE en internet: [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx). Este sistema permite conocer los niveles de contaminación atmosférica en las ciudades y zonas metropolitanas que cuentan con equipos de monitoreo.

**Tabla 5.2 NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE PARA CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN MÉXICO**

CONTAMINANTE	Norma Oficial Mexicana (NOM)	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EXPOSICIÓN		
		AGUDA		CRONICA
		CONCENTRACIÓN (TIEMPO PROMEDIO)	FRECUENCIA MÁXIMA ACEPTABLE	CONCENTRACIÓN (TIEMPO PROMEDIO)
Ozono	NOM-020-SSA1-1993	0.11 ppm (1 hora) 0.08 ppm	Una vez cada 3 años, 5 máximo en un año	NA
Monóxido de (CO)	NOM-021-SSA1-1993	11 ppm (8 horas prom. renovable)	Una vez al Año	NA
Bióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	NOM-022-SSA1-1993	0.13 ppm (24 horas)	Una vez al Año	0.03 ppm (PAA)
Bióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	NOM-023-SSA1-1993	0.21 ppm (1 hora)	Una vez al Año	NA
Partículas PST	NOM-024-SSA1-1993	260 µg/m <sup>3</sup> (24 horas)	Una vez al año	75 µg/m <sup>3</sup> (PAA)
Partículas PM <sub>10</sub>	NOM-025-SSA1-1993	150 µg/m <sup>3</sup> (24 horas)	Una vez al Año	50 µg/m <sup>3</sup> (PAA)
Plomo	NOM-026-SSA1-1993	NA	NA	1.5 µg/m <sup>3</sup> (PPA de 3 meses)

m<sup>3</sup> = metros cúbicos

NA = No Aplica

ppm = parte por

Millón

PAA = Promedio Aritmético Anual

µg = microgramos

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 1994.

## Conclusiones



## **Conclusiones.**

Este trabajo es el inicio de una serie de estudios más profundos en el tema de la contaminación en el aire atmosférico.

Las conclusiones son preliminares pues se continuará con este trabajo pero a largo plazo, se puede sin embargo mencionar:

La calidad del aire de la Ciudad de Morelia es aceptable, pero deben comenzar a tomarse providencias para que en el futuro cercano continúe presentando esta calidad, de lo contrario, revertir el comportamiento tomaría muchas acciones remediales que pudieran no ser satisfactoria a corto plazo.

La atmósfera de Morelia no es detonante para los problemas de corrosión en acero de refuerzo ni para los casos de carbonatación de matrices de cemento pórtland, a la fecha como se menciona, no puede predecirse que continuará siendo así, pero sí puede suponerse por razones obvias que la atmósfera tenderá a enrarecerse y contaminarse.

Los problemas llamados “corrasion” corrosión por partículas transportadas por el viento que causan desgaste, no puede considerarse tampoco en nuestra atmósfera, dado que la morfología y tamaño de las partículas susceptibles de ser transportadas por el aire, no causan daño mecánico en las obras civiles.

Los problemas de formación de pátinas, sí existen a mediana escala, pues las partículas transportadas en función de la velocidad del viento y su dirección dominante, sí provocan que haya depositación en las fachadas expuestas a los vientos dominantes. La mayoría de las partículas son de origen antropogénico.

Respecto a la salud, la calidad del aire por el momento no es culpable de todas las enfermedades respiratorias, pero nada nos garantiza que no lo sea en el futuro, otro factor a considerar es los cambios de temperatura, los cuales sí son catalizadores de muchas de estas enfermedades, pues la temperatura exterior fluctúa en más de 20 °C en un día normal.

Las temperaturas mínimas y máximas, no son controlables de manera directa por los humanos, puede crearse un microclima, que es lo que ahora tenemos. Los microclimas se ven afectados principalmente por la vegetación del lugar. Este hecho puede comprobarse con los cambios climáticos en la avenida Ventura Puente, donde fueron talados innumerables especímenes de árboles de eucalipto. Si reforestamos, pero de inmediato, quizá pudiéramos lograr que los gradientes de temperatura no fueran tan grandes, es decir que la temperatura ambiental sólo fluctuara en 15 °C en promedio, al reforestar, también se recargan los mantos freáticos y se evitan las inundaciones.

El control de calidad, no debe realizarse solamente en función de las solicitudes mecánicas a que están sujetas las obras civiles, deberán también considerarse las condiciones ambientales que provocan deterioro en ellas

## BIBLIOGRÁFIA

## BIBLIOGRAFÍA

[1] <http://www.yucatan.com.mx/especiales/dinosaurios/planadinos.pdf>

[2] Acción Ozono, Publicación Trimestral del IMA del PNUMA, Número 24, Octubre de 1997, ISSN 1020- 1602 pp 1-10

[3] Aurora Adame Romero, Daniel a. Salín pascual, “CONTAMINACION AMBIENTAL”, Segunda edición, Editorial Trillas, México, 2000, pp 11,

[4] [http://www.varelaenred.com.ar/el\\_aire.htm](http://www.varelaenred.com.ar/el_aire.htm)

[5] [http://www.lainsignia.org/2005/febrero/ecol\\_011.htm](http://www.lainsignia.org/2005/febrero/ecol_011.htm)

[6] [http://unfccc.int/portal\\_espanol/essential\\_background/feeling\\_the\\_heat/items/3377.php](http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/feeling_the_heat/items/3377.php), Schifter, Issac, Comunicación Personal, IPM, 2000

[7] <http://homepage.mac.com/uriarte/emisiones.html>

[8] Leet, D. L., y S. Judson. “Fundamentos de Geología Física”, Editorial Limusa, Decimonovena Reimpresión, 2000, pp. 55-84

[9] Alonso, E., Tesis de Doctorado en Ingeniería Química, Universidad Nacional Autónoma de México, pp 30, México, D. F., Noviembre 2002

[10] <http://www.cambiodemichoacan.com.mx/vernota.php?id=26981>, 13 Julio 2006

[11] Secretaria de Urbanismo y Medio Ambienté “PROGRAMA ESTATAL DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE 2003”, Boletín 1 2004,pp 3-5

[12] Programa Estatal de Medio Ambiente y Recursos Naturales “MICHOCAN EN TRANSITO AL DESARROLLO SUSTENTABLE”, pp 55

[13] Tavera Montiel, F. "La Antigua Valladolid, hoy Morelia", Coedición Fac. Ing. Civil y UMSNH, ISBN 970-9056-72-7, 1999, pp. 133-140; Ramírez Romero, E., "Zonas históricas de Morelia y Pátzcuaro ante el T.L.C.", Instituto Michoacano de Cultura del Gobierno del Estado y UMNSH, 1994, pp. 107-140

[14] <http://www.angelfire.com/ma4/mariana1/first/historia.html>

[20] W. Strauss/S.J. Mainwaring, "Contaminación del Aire", Primera edición, Editorial Trillas, México 1990, pp 12-19.

[21] "Los contaminantes", actualizado el día 13 de febrero del 2004, Pagina de Internet Patronato de la calidad del aire de Salamanca, AC, <http://www.prodigyweb.net.mx/redmas/contaminantes.htm>

[22] Delgado Saborit, Juana María, "Validación e implementación de técnicas de captación pasivas para el estudio de los niveles y efectos de ozono troposférico y bióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea", UJI, Departamento de Química Inorgánica e Orgánica, 21-01-2005.

[23] José E. Marcano, "Educación ambiental en la República Dominicana", Pagina de Internet <http://www.jmarcano.com/index.html>.

[24] "Action on Ozone", United Nation Environment Programme", Information and Public Affairs Branch, Nairobi, Kenya, 1993, 26 pp

[25] Luis Echarri, Libro electrónico "Ciencias de la tierra y del medio ambiente" 1998 Ed. Teide, <http://www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/00General/Principal.html>.

[26] José E. Marcano, "Educación ambiental en la República Dominicana", Pagina de Internet <http://www.jmarcano.com/index.html>.

[27] Jorge Martinez Castillejos, "Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones", Primera edición, Jimenes editores e impresores S.A. de C.V., México, DF., Mayo 2005, pp 63,67.

[28] Educación Ambiental en la República Dominicana,  
[www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf4](http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf4)

[29] Jorge Martínez Castillejos, “Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones”, Primera edición, Jimenes editores e impresores S.A. de C.V., México, DF., Mayo 2005, pp 63,67.