

ALONSO, E.; MARTÍNEZ, W.; RUBIO, J. C.; VELASCO, F.; CHÁVEZ, H. L.; ÁVALOS, M.; LARA, C.; CERVANTES, E.

Calidad del Aire en Cuatro Ciudades de Michoacán, México: Su Efecto sobre
Materiales de Construcción
Revista de la Construcción, vol. 6, núm. 2, 2007, pp. 66-74
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=127619405007>



revista de la construcción
Escuela de Construcción Civil

Revista de la Construcción
ISSN (Versión impresa): 0717-7925
mandradg@uc.cl
Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

¿Cómo citar?

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista

Air Quality in Four Cities in

Michoacán, Mexico: Their

Effect on Building Materials

Calidad del Aire en Cuatro Ciudades de Michoacán, México: Su Efecto sobre Materiales de Construcción



Autores

E. ALONSO, W. MARTÍNEZ, J. C. RUBIO,
F. VELASCO, H. L. CHÁVEZ

Cuerpo Académico CA-147 y Laboratorio de Materiales "Ing. Luis Silva Ruelas" de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, CP 58070

M. ÁVALOS

Centro de Ciencias de la Materia Condensada, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, Baja California, México

C. LARA, E. CERVANTES

Estudiantes del Programa de Maestría en Infraestructura del Transporte, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México

Fecha de recepción 18/10/07

Fecha de aceptación 08/11/07

Resumen

Este trabajo contiene la información resumida de algunos de los parámetros meteorológicos cuantificados para conocer la calidad del aire en cuatro de las ciudades más importantes del estado de Michoacán de Ocampo: Lázaro Cárdenas, Morelia, Uruapán y Zitácuaro en México. Los datos atmosféricos han sido colectados en estaciones en cada una de las ciudades desde hace aproximadamente 20 a 30 años. Con los valores estadísticos se

puede concluir clasificando la atmósfera de manera general y su efecto meteorológico en los materiales empleados en obra de tipo civil. Este trabajo presenta los resultados preliminares de una investigación para evaluar las emisiones de los vehículos automotores a la atmósfera y el efecto que tendrá sobre otros factores como la salud, sin desechar la necesidad de proponer alternativas de solución o formas de mitigación.

Palabras clave: calidad del aire, deterioro, materiales de construcción.

Abstract

This work presents the value of the meteoric quantifications to know the air quality in the most important four cities in Michoacan State: Lazaro Cardenas, Morelia, Uruapan and Zitácuaro, in Mexico. The atmospherical data have been collected in every city stations since 20 to 30 years ago. With the statistics data

it is possible to classify the atmosphere in general and its environmental effect on the construction materials in civil buildings. This research shows the first data to evaluate the vehicle's emissions to the atmosphere and its effect on health, without leaving the possibility of propose different ways to solve the problem.

Key words: air quality, decay, building materials.

Introducción

El aire no puede ser totalmente puro, sin embargo a medida que el hombre “prograsa” 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. El aire es un elemento esencial para la existencia de todo ser vivo aeróbico. 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.

Las plantas verdes, que procesan clorofila, son capaces de absorber el CO_2 de la atmósfera y convertirlo en O_2 , pero a la fecha estamos excediendo la capacidad de los árboles para realizar tal conversión, estamos produciendo una gran cantidad de 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 Ixquilub, 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 CO_2 de la atmósfera convirtiéndolo en O_2 , muriendo los vegetales [1].

Hay otros compuestos como los fluorocarburos, HCFC, que antes se usaban masivamente para atomizar sustancias en los aerosoles comerciales que se elevaron a la parte superior de la atmósfera formando nuevos compuestos y destruyendo el O_3 de la misma. 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] a cuyo través pasan los rayos ultravioleta que provocan cáncer y deterioros en los polímeros especialmente, como las tuberías. Existen otros compuestos como NO_x y SO_x que no pueden ser transformados por los vegetales y que también provocan daño.

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) a nivel europeo mueren anualmente 310.000 personas por enfermedades respiratorias y del sistema circulatorio generadas por los gases de escape de motores diésel 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 solo por sus procesos químicos de conversión, también por los combustibles fósiles que emplea en su manufactura, los cuales al quemarse emiten azufre y CO_2 [6]. Los contaminantes presentes en el aire pueden ser sólidos y gaseosos.

En nuestro país se cuantifican los siguientes contaminantes atmosféricos: bióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (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 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 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 Lázaro Cárdenas, Morelia, Uruapán y Zitácuaro. Las causas principales de este fenómeno son: uso de combustibles impuros por deficiencias en la destilación de hidrocarburos, cantidad de vehículos automotores y su modelo respectivo, deficiencia en

el mantenimiento vehicular, intensidad energética en los procesos industriales y quema de carbón vegetal para la obtención de combustible y preparación de alimentos, así como la falta de reglamentos eficientes en materia de calidad del aire. La topografía es también determinante.

Las ciudades estudiadas se eligieron por su importancia en el desarrollo del estado de Michoacán y por su discordancia entre sí. Michoacán es un estado de la República Mexicana localizado sobre la costa pacífica. Lázaro Cárdenas es una ciudad costera a nivel del mar, un puerto importante para comercio y que tiene significación siderúrgica, metalúrgica y en el área de fertilizantes agroquímicos; Morelia está en altitud media, 1.950 msnm, pero rodeada de elevaciones geológicas y es una ciudad patrimonio de la humanidad por la UNESCO-ONU desde 1990, es también la capital del estado; Uruapán se distingue por su atmósfera húmeda y Zitácuaro por su altitud y baja temperatura.

Lázaro Cárdenas es una ciudad-puerto ubicada en la Costa del Pacífico, es uno de los principales puertos comerciales por donde se efectúan la mayor parte de los intercambios comerciales con Asia.

La ciudad de Morelia, capital del estado de Michoacán de Ocampo, 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

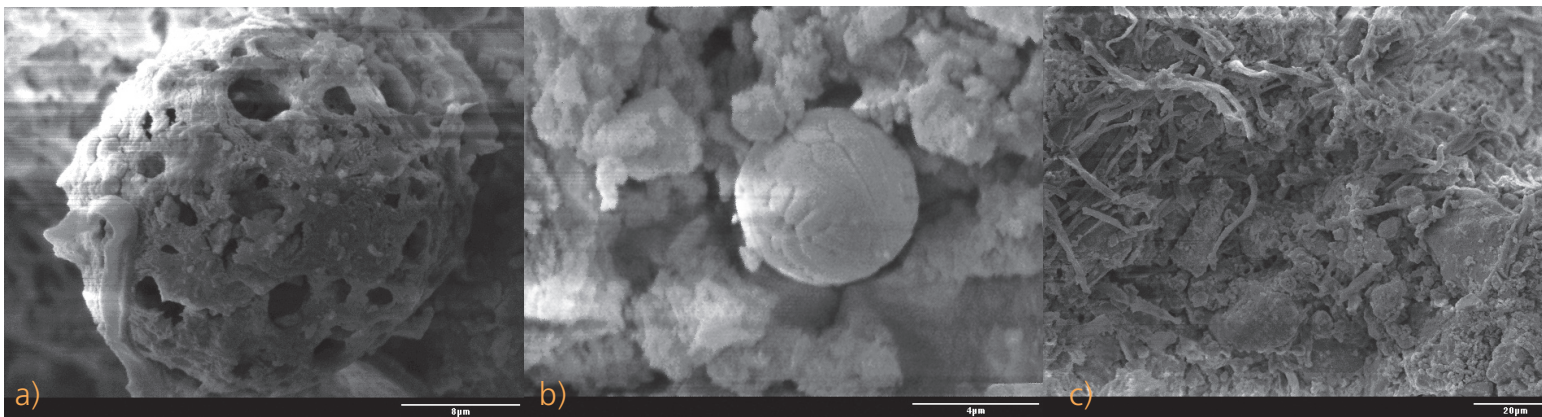
del mar. Limita al norte con Tarímbaro, Chucándiro y Huaniqueo; al este con Charo y Tzitzio; al sur con Villa Madero y Acuitzio; y al oeste con Lagunillas, Coeneo, Tzintzuntzán y Quiroga. Su distancia a la capital de la República es de 315 km.

Respecto a la ciudad de Uruapán, puede afirmarse que es el sitio donde se produce el "oro verde", el aguacate o palta, que se exporta a todo el mundo, su precipitación anual la hace idónea para tal cultivo.

Zitácuaro tiene una gran componente histórica, se le conoce como la tres veces heroica ciudad, motivo de su elección. Tiene la menor cantidad de industrias, pero es un polo comercial por su cercanía con el centro del país y tiene problemas importantes de tráfico vehicular dado que su traza urbana en calles es estrecha y con pendientes grandes.

A la fecha no han sido totalmente monitoreados los compuestos y partículas totales existentes en el aire de las ciudades mencionadas, sin embargo hay una abundancia de vehículos automotores cercano al millón de unidades, muchos con antigüedades mayores a 10 años. 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

FIGURA 1 Microfotografías de pátinas de la Cúpula de la Iglesia de San Agustín en Morelia, Michoacán, México, sustrato: ignimbrita. Recubiertas con Au, Jeol JSM 3500, de derecha a izquierda: (a) Partícula antropogénica rica en S (b) partícula antropogénica rica en Fe (c) Crecimiento biótico



contener muchos compuestos del medio ambiente y/o de los procesos de alteración [7-11]

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 [12, 13]. El deterioro antropogénico es el inducido por el hombre, en este caso por el uso de vehículos que emplean combustibles fósiles (Figura 1: a, b y c) y su uso se ha generalizado a partir de la segunda mitad del siglo XX [14]. Es ampliamente conocido 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 [15, 16].

Desde los modelos automotores de 1995, se están emitiendo 75% menos CO, 70% menos HC y 65% menos NO que los modelos anteriores [17] y desde el período 1991-1994, México ha instituido muchas nuevas iniciativas para reducir las emisiones ligeras [18]; 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 [19]. 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; esto también ocurre en otros sitios turísticos en el mundo, como lo mostró el Programa Nacional Italiano de Energía para 1989, que informó que el 50% del polvo es debido al sector transporte [20].

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

- 1) Abrasión
- 2) Depositación y remoción
- 3) Ataque químico directo
- 4) Ataque químico indirecto
- 5) Corrosión electromecánica [21-23]

Otras condiciones ambientales que fuertemente influyen la relación por la que los contaminantes dañan los materiales: humedad, temperatura, congelamiento y deshielo [24].

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. En México, 65 por ciento de los gases de efecto invernadero corresponden a los sectores energético, industrial y de transporte [25].

El objetivo de este trabajo de investigación, que se encuentra en proceso, es el de calificar las atmósferas de las ciudades mencionadas, y con esos datos hacer proyecciones para conocer su comportamiento futuro. A la fecha de manera general se puede decir que no existe un daño profundo o irreversible, pero los datos colectados a la fecha indican que es el momento de iniciar acciones de remediación.

Experimentación

Los datos fueron colectados y proporcionados por las diferentes estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua, de Michoacán, México. Los resultados del análisis estadístico simple se muestran resumidos en gráficas. En agosto de 2006 se firmó un convenio entre SUMA y el H. Ayuntamiento del Municipio de Morelia, México, para la colocación de una estación de monitoreo ambiental para estudiar las emisiones y las partículas medioambientales,

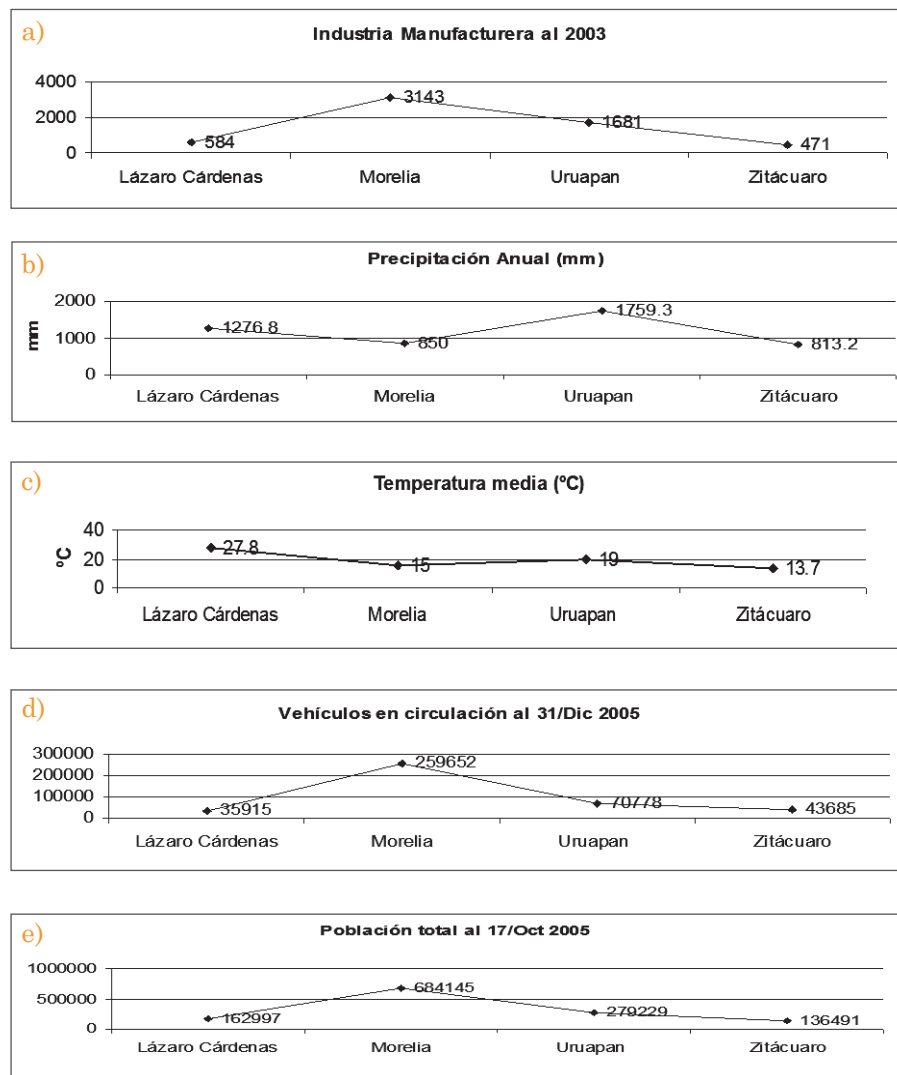
próximamente se tendrán los promedios del primer año de monitoreo, que no están incluidos en este trabajo.

Para determinar las pátinas formadas en monumentos histórico arquitectónicos construidos con bloques de ignimbritas en el centro histórico de Morelia, se tomaron esquirlas de roca en sitios de formación de pátinas, se recubrieron con metales conductores, se observó su morfología en un MEB Jeol JSM 3500 del Centro de Ciencias de la Materia Condensada de la UNAM y se realizaron microanálisis puntuales EDS para clasificar las partículas antropogénicas.

Resultados

Los parámetros cuantificados para este trabajo fueron: vehículos automotores, población, industria, precipitación anual, temperatura. Se graficaron para las cuatro ciudades. Los puntos son el promedio aritmético de los últimos 30 años.

FIGURA 2 Resumen de datos de las ciudades de Lázaro Cárdenas, Morelia, Uruapan y Zitácuaro, Michoacán, México. De arriba hacia abajo: (a) Cantidad de industrias registradas en cada ciudad (b) Precipitación promedio anual en los últimos 30 años (c) Temperatura promedio anual de los últimos 30 años, no se incluyen en la estadística los valores mínimos, máximos ni al interior de las construcciones (d) Promedio de vehículos por ciudad, contabilizados hasta el año 2005, según el patrón estatal (e) Población total por ciudad, según el Instituto Nacional de Geografía e Informática de México



Discusión

En la Figura 1, imágenes a, b y c se muestra un análisis morfológico de una pátina en la costilla de la cúpula de la Iglesia de San Agustín en el Centro Histórico de Morelia, Michoacán, México, ciudad con el mayor parque vehicular, mayor población y mayor industria, las pátinas están conformadas mayormente por partículas antropogénicas que pueden ser transportadas por el viento, ver tamaño, y su microanálisis químico muestra evidencia de composición en S (a), en Fe (b) y por la porosidad de la ignimbrita y su precipitación, crecimiento de cianobacterias, líquenes y biota (c). Estas pátinas inicialmente actúan como una película pasivante para futuras depositaciones, pero también propician crecimientos bióticos. La calidad del aire indica que las partículas totales suspendidas comienzan a ser un problema específicamente en la preservación de sitios y monumentos históricos.

En la Figura 2, la línea superior (a) muestra la cantidad de industria manufacturera registrada en cada una de las cuatro ciudades en estudio. Se observa que nuestro estado no se distingue por el número de industrias, a las cuales de manera cotidiana se les suele imputar el hecho de emisiones contaminantes a la atmósfera. No debe descartarse el control de sus emisiones pero no son el problema principal en la contaminación de ninguna de las cuatro ciudades.

La segunda línea (b) muestra los resultados de las precipitaciones medias anuales en las ciudades en estudio. Uruapán presenta el mayor valor con 1.750 mm anuales, seguida por Lázaro Cárdenas (puerto) con 1.276 mm, y tanto Morelia como Zitácuaro presentan valores promedios similares, de aproximadamente 800 mm, en ninguna se han presentado a la fecha avenidas extraordinarias productos de la precipitación que provoquen inundaciones, pero sí problemas de humedad capilar en los materiales de construcción. La tercera línea (c) de la gráfica muestra la temperatura promedio anual, ninguna ciudad puede decirse que presente climas extremos, pero los casos de temperaturas mínimas en Morelia, Uruapán y Zitácuaro sí se acercan a los 0 °C, incluso calores inferiores de hasta -5 °C. Estos valores provocan exfoliación en las rocas naturales y artificiales, como el concreto.

Respecto a la cuarta línea (d) que contiene la gráfica del número de vehículos automotores se observa

que la ciudad con mayor parque vehicular es Morelia, pero la suma de las cuatro ciudades es del orden de 400 mil vehículos, mientras que en todo el estado existen aproximadamente un millón de vehículos. Esto muestra que el parque se encuentra concentrado en estas cuatro ciudades. La emisión de contaminantes vehiculares es el problema más grave al que nos enfrentaremos a mediano plazo, pues como se observa en la quinta línea (e) de la gráfica donde se muestra resumida la población, la mayor cantidad de los habitantes del estado de Michoacán se encuentra concentrado en su capital, con más de medio millón, pero la suma de los habitantes en las cuatro ciudades es de más de 1.200.000 habitantes, casi el 85% de la población estatal. La contaminación que provocamos los hombres es susceptible de ser controlada si conocemos la situación y nos obligamos a la preservación del mundo. La contaminación producida por las emisiones volcánicas no es controlable ni susceptible de ser prevista.

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 satisfactorias 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 portland, 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 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 de los monumentos históricos expuestas a los vientos dominantes. La mayoría de las partículas son de origen antropogénico.

En la ciudad de Uruapán sí se mostraron signos de humedad relativa alta y en consecuencia las horas de humectación anuales sí pueden inducir procesos de corrosión en concreto hidráulico especialmente en los casos de concretos con matrices porosas producto de relaciones $a/c > 0,50$; lo mismo se ha observado en la ciudad de Lázaro Cárdenas, pero ahí hay corrosión acusada por falta de protección tanto en las estructuras metálicas como en los casos del espesor de recubrimiento de las estructuras de con-

creto armado. En Lázaro Cárdenas también existen problemas de carbonatación, pero no tan agudos como en el caso del Golfo de México.

En la ciudad de Zitácuaro, se observaron problemas de exfoliación en algunas estructuras de concreto hidráulico reforzado, por las bajas temperaturas cercanas a los puntos de congelación del agua a que se ven sometidos. Las ciudades de Lázaro Cárdenas, Uruapán y Zitácuaro, no son ciudades Patrimonio de la Humanidad, pero comienzan a existir en ellas monumentos emblemáticos de hormigón que tenemos el derecho a preservar y que comienzan a mostrar signos de daño.

Los problemas llamados "corrasion", corrosión y/o abrasión por partículas transportadas por el viento que causan desgaste, no puede considerarse tampoco en ninguna de las cuatro atmósferas estudiadas pues-

to que en ninguna de las cuatro ciudades se presentan vientos dominantes con velocidades que propicien tal fenómeno y aunado a que la morfología y tamaño de las partículas susceptibles de ser transportadas por el aire y producto de las actividades antropogénicas, no causan daño mecánico en las obras civiles.

Las temperaturas mínimas y máximas, no son controlables de manera directa por los humanos, pero pueden crearse microclimas, que es lo que ahora tenemos. Los microclimas se ven afectados principalmente por la vegetación del lugar. Si reforestamos, pero de inmediato, quizá pudiéramos lograr que los gradientes de temperatura no fueran tan grandes, es decir que la temperatura ambiental solo fluctuara en 15 °C en promedio entre los valores mínimo y máximo que son valores registrados históricos, al reforestar, también se recargan los mantos freáticos y se evitan las inundaciones.

Conclusiones

Los estudios y monitoreos de calidad del aire deben continuar realizándose para tener argumentos sólidos que sustenten la necesidad de monitoreos ambientales para diseñar acciones de prevención y remediación. Las acciones deben realizarse por los diferentes actores de la sociedad: los ciudadanos, los políticos, los empresarios, los industriales, los estudiantes, los legisladores, los investigadores. La gama de actividades es inmensa, desde agresivos programas de reforestación, mejores procesos

de destilación de los hidrocarburos, programas de revisión de emisiones vehiculares, programas de eliminación de procesos químicos contaminantes, obligatoriedad de pago de impuesto extras en los casos de las industrias contaminantes.

Las soluciones no serán solo para protección de los materiales de las obras de tipo civil, también serán acciones conducentes a preservar la salud de los habitantes de las ciudades con gran cantidad de emisiones atmosféricas y la conservación de especies como los líquenes que son un claro indicador de la calidad del aire ambiental.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo con los proyectos 12.4, 12.5 y 12.11, y financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, con el proyecto "Estudio de la calidad del aire en Morelia,

Zitácuaro, Uruapán y Lázaro Cárdenas del estado de Michoacán y propuestas de remediación en casos de contaminación", Conacyt Fondos Mixtos, Michoacán-2005-C01-028, también se agradece la colaboración de las autoridades de SUMA del estado de Michoacán, México y del H. Ayuntamiento de la Ciudad de Morelia, Michoacán, México. Así como al Ing. I. Gradilla del CCMC de la UNAM, por su apoyo en la microscopía electrónica de barrido.

Referencias bibliográficas

1. <http://www.yucatan.com.mx/especiales/dinosaurios/planadinos.pdf>
2. Acción Ozono, Publicación Trimestral del Instituto Mexicano del Ambiente del PNUMA, N24, 1997, ISSN 1020-1602, 1-10.
3. Adame Romero, Aurora y Daniel Salín Pascual, "CONTAMINACION AMBIENTAL", Segunda Edición, Editorial Trillas, México, 2000, 11.
4. http://www.varelaenred.com.ar/el_aire.htm
5. http://www.lainsignia.org/2005/febrero/ecol_011.htm
6. http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/feeling_the_heat/items/3377.php
7. Del Monte, M., C. Sabbioni and O. Vittori, "Urban stone sulphation and oil-fired carbonations particles", Science of the Total Environment, V36, 1984, 369-376.
8. Baedecker, P.A., M.M. Reddy, K.J. Reimmann 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, V26-B, 1992, 147-158.
9. Pérez-Rodríguez, J.L., C. Maqueda, M.C. Jiménez de Haro and P. Rodríguez-Rubio, "Effect of Pollution on Polychromed Ceramic Statues", Atmospheric Environment, V32, 1998, 993-998.
10. Saiz-Jiménez, C. "Deposition of airborne organic pollutants on historic buildings", Atmospheric Environment, V27-B, 1993, 77-85.
11. Saiz-Jiménez, C. "Deposition of anthropogenic compounds on monuments and their effect on airborne microorganisms" Aerobiología No. 11, 1995, 161-171.
12. Leysen, L., Roekens, E. and Van Grieken, R, "Air-pollution-induced chemical decay of a sandy-limestone cathedral in Belgium", Science of the Total Environment, V78, 1989, 263-287.
13. Fassima, V., "A survey of air pollution and deterioration of stonework in Venice", Atmospheric Environment, V12, 1978, 2205-2211.
14. Coursimault, A., Donati, J. and Viellard, H. "La pollution Automobile due aux hydrocarbures aromatiques monocycliques á Paris", Science of the Total Environment, N 1-3, V169, 1995, 17-23.
15. O'Brien, P.F., E. Bell, S. Pavia Santamaria, P. Boyland and T.P. Cooper, "Role of mortars in the decay of granite", Science of the Total Environment. V167, 1995-a, 103-110.
16. O'Brien, P.F., E. Bell, T.L.L. Orr and T.P. Cooper. "Stone loss rates at sites around Europe", Science of the Total Environment, V167, 1995-b, 111-121.
17. [17] 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, V 31, 1997, 3505-3510.
18. Diario Oficial de la Federación. NOM-CCAT-004-ECOL/1993. Octubre 22, 1993.
19. Schifter, Issac, Comunicación Personal, IPM, 2000.
20. 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", Science of the Total Environment, V167, 1995, 67-72.
21. <http://homepage.mac.com/uriarte/emisiones.htm>
22. Leet, D. L., y S. Judson. "Fundamentos de Geología Física", Editorial Limusa, Decimonovena Reimpresión, 2000, 55-84.
23. Alonso, E., Tesis de Doctorado en Ingeniería Química, Universidad Nacional Autónoma de México, pp 30, México, D. F., Noviembre 2002.
24. Yocom, J.E., "Air pollution damage to buildings on the Acropolis", Journal of the Air Pollution Control Association, V29, N 4, 1979, 333-338.
25. <http://www.cambiodemichoacan.com.mx/vernota.php?id=26981>, 13 Julio 2006.