

LA LLUVIA CORROSIVA SOBRE SAN JUAN DE ULÚA

María del Pilar Ponce Jiménez¹

En la cuenca del Golfo de México, sobre la costa, por vía satelital vemos destacar un punto blanco, nos acercamos y lentamente se abre a la vista una extensa población; destacan frente a la costa una serie de islotes dispersos como salpicaduras. Al acercar la vista observamos el puerto y ahí, en un intrincado escondrijo, como si fuera un cangrejo aplastado, descubrimos la figura de la Fortaleza de San Juan de Ulúa. (Fotografía 1).

Desde el aire ofrece una vista atractiva, pero de cerca, la fortaleza o castillo, como mucha gente la llama, resulta algo deprimente con sus muros desnudos expuestos a un ambiente implacable. La Casa del Gobernador es la única construcción que ofrece un “mejor aspecto”.

Sin embargo el estado de San Juan de Ulúa no se debe a su abandono, pues se han invertido muchos recursos para su conservación y restauración, a través del Proyecto Integral San Juan de Ulúa (PISJU), desafortunadamente fue suspendido a finales de 2005, cuando el ingeniero Daniel Göeritz Rodríguez dejó la dirección del Centro INAH Veracruz.



Fotografía 1. Vista satelital de Google Earth del puerto de Veracruz (mayo de 2008).

A partir de entonces y de manera inesperada me dediqué a darle continuidad a la tarea de registro de las precipitaciones pluviales y la recolección de muestras de las deposiciones secas y húmedas, por ello decidí realizar el presente ensayo sobre la lluvia ácida, donde se analizan los valores de pH como uno de los principales indicadores de la acidez que se precipita sobre Ulúa; se enfatizan las probables fuentes de contaminación.

ANTECEDENTES

De 1993 a 2005, con el PISJU, se realizaron estudios sobre el estado de la cimentación, las condiciones ambientales y sus efectos sobre San Juan de Ulúa, y sobre su construcción, deterioro y restauración (Hernández Téllez, 2003, 2005).

En 1984 Kanuga fue precursor en el estudio de la composición química de la lluvia sobre las ciudades de Xalapa y Veracruz, este proyecto fue elaborado por la Facultad de Física de la Universidad Veracruzana.

Posteriormente Peralta Peláez y Hernández Téllez (2000) realizaron un breve estudio sobre las propiedades físico-químicas de la precipitación pluvial en la ciudad y puerto de Veracruz, y evaluaron el potencial de lluvia ácida durante los meses de julio a noviembre de 1999 con la colaboración del Instituto Tecnológico de Veracruz y del Centro INAH Veracruz (Ver Tabla 1), este muestreo se realizó en la Fortaleza de San Juan de Ulúa y en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Veracruz.

La colecta de muestras de lluvia que realizó el físico José Hernández Téllez con el PISJU desde finales del 2002 hasta el 2005, forma parte de un estudio amplio sobre la costa del Golfo de Méxi-



¹ Centro INAH Veracruz, Departamento de restauración y conservación, calle Benito Juárez num. 425-431. Centro Histórico de la ciudad de Veracruz, Ver. CP. 91700. mapilamcg@hotmail.com

co que la UNAM ha realizado a través del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA). Estos trabajos son encabezados por el doctor Humberto Bravo Álvarez, quien fue pionero en el estudio de los efectos de la lluvia ácida sobre El Tajín, Tulúm y San Juan de Ulúa.

La UNAM y el INAH confluyen en el interés de evaluar el riesgo que representa la lluvia ácida para la conservación de los monumentos arqueológicos e históricos, sin embargo el proyecto de la UNAM va mucho más allá, pues tiene un compromiso como consejero del gobierno federal en turno y de la sociedad en general sobre políticas ambientales.

La historia de San Juan de Ulúa ha sido larga y azarosa, dando servicios a las fuerzas militares y navales después de la Independencia, durante la defensa de la ciudad y puerto de Veracruz contra ata-

Se le llama lluvia ácida, aunque el término deposición ácida es más apropiado para la precipitación de diversos tipos de ácidos provenientes de la atmósfera. También se pueden presentar en forma de neblina, niebla o bruma.

ques enemigos y sirviendo como cárcel, a este hecho es al que debe su mayor fama, pues un gran porcentaje de sus visitantes la sigue considerando como el símbolo de los peores horrores del presidio. Y cómo no, si Veracruz tiene uno de los ambientes más inclementes² que podemos hallar en todo el territorio mexicano.

El INAH tomó a su cargo la fortaleza de San Juan de Ulúa en 1962 cuando por decreto presidencial de fecha 7 de diciembre de 1961 fue retirada del servicio de las fuerzas armadas navales. En 1984 fue convertida en museo durante su conmemoración como uno de los monumentos históricos del siglo XVI más relevantes con que cuenta el país. Desde entonces ha recibido millones de visitantes nacionales y de visitantes provenientes de todas las regiones del mundo, muchos de ellos atraídos por su fama como cárcel de muy mala muerte, o por haber sido set de filmación de varias películas, entre ellas las hollywoodenses "Indiana Jones" y "Dos bribones tras la esmeralda perdida".

La casi generalizada desinformación sobre el papel de San Juan de Ulúa en la historia del puerto y del país, motivó la publicación de la colección "Historias de San Juan de Ulúa", volúmenes I a VI, bajo la coordinación del historiador Pablo Montero Soria, obra coeditada por el INAH y por Internacional de Contenedores Asociados de Veracruz, de 1999 a 2006, esta obra fue producto del PISJU, con la intención de abundar en la historia verdadera de Ulúa, para justificar la intervención de conservación y restauración del inmueble.

Pero el trabajo realizado hasta la fecha pone sobre la mesa una realidad desalentadora, la fortaleza está sentenciada. El avance de su deterioro ha sido muy consistente, pero vamos por ahora a discutir el aspecto de la lluvia ácida.

Se le llama lluvia ácida a la precipitación de diversos tipos de ácidos provenientes de la atmósfera. El término deposición ácida es más apropiado, las deposiciones ácidas tienen dos componentes, uno seco y otro húmedo. También se pueden presentar en forma de neblina, niebla o bruma.

El agua pura tiene un pH de 7 y normalmente la lluvia tiene un pH entre 5 y 6, es decir, es ligeramente ácida por llevar ácido carbónico que se forma cuando el dióxido de carbono del aire se disuelve en el agua que se encuentra en la atmósfera. En cambio, en zonas con aire contaminado por sustancias acidificantes, la lluvia tiene valores de pH de hasta 4 ó 3 y en algunas zonas en que la niebla es ácida, el pH puede llegar a ser de 2 ó 3, es decir, similar al del zumo del limón o al del vinagre.

Las deposiciones secas se presentan en forma de gases y de polvos. Al ser partículas de dimensiones muy pequeñas se absorben en las superficies porosas de los materiales, antiguos o modernos, y pueden quedarse ahí por tiempo indefinido o hasta que la humedad o el agua líquida lleguen a combinarse y reaccionar formando ácidos que penetran a través del material disolviéndolo y deteriorándolo poco a poco.

Cuando la precipitación ácida llega al suelo, afecta a las plantas y a los animales de forma indirecta, su efecto depende del nivel de acidez y de la capacidad *buffer* o amortiguadora de los suelos y de la resistencia o tolerancia de las plantas que crecen.

Los contaminantes como el dióxido de azufre, óxido de nitrógeno y el trióxido de azufre están entre los principales precursores de ácido. Estos contaminantes son transportados por los vientos a través de cientos de kilómetros, la luz del sol acelera la formación de compuestos ácidos.

El INAH tomó a su cargo la fortaleza de San Juan de Ulúa en 1962 cuando por decreto presidencial de fecha 7 de diciembre de 1961 fue retirada del servicio de las fuerzas armadas navales.



² "Condiciones meteorológicas en la ciudad y puerto de Veracruz, del siglo XVI al XXI", Colección Historias de San Juan de Ulúa en la historia, Volumen V, Coedición, INAH / ICAVE, del autor José Hernández Téllez.

ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN

El bióxido de carbono presente en la atmósfera se combina con las gotas de agua que se forman por condensación en las nubes, estas gotas tendrían un pH cercano a 6.5 ó 7 en estado puro, pero al contener bióxido de carbono se forma un ácido débil, el ácido carbónico cuyo valor de pH es de 5.5 aproximadamente. Son los compuestos de SO_2 y NO_2 los que producen ácidos mucho más fuertes como son el ácido sulfúrico y el ácido nítrico respectivamente, esto causa que la lluvia registre valores menores a 5 y 4.

Los compuestos SO_2 y NO_2 provienen de procesos realizados en complejos petroquímicos e industriales, estos contaminantes se elevan en el aire hasta alcanzar las capas superiores de la atmósfera, en donde pasan a formar parte de las nubes y funcionan como núcleos de condensación de las gotas de lluvia.

Con frecuencia las emisiones diarias de SO_2 y NO_2 a la atmósfera son bajas, pero tienen un efecto acumulativo.

Se distinguen dos procesos de formación de lluvia ácida en las nubes: 1) Por arrastre (*wash out*) o lavado de las partículas contaminantes, cuando las gotas de agua se desprenden de las nubes, y 2) Formación interna (*rain out*) dentro de la nube en el momento de la condensación, las partículas contaminantes que atraen a las moléculas de agua (nucleación), ocurre disolución de gases, y otros procesos fisicoquímicos de manera simultánea.

La alta concentración de iones en la lluvia recolectada, indica que el proceso de formación interna es el contribuyente más importante en la lluvia ácida (Bravo, et.al, 1996).



Fotografía 2. Formación de estalactitas en el interior de una galería en San Juan de Ulúa.

EFFECTOS DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LOS MONUMENTOS

Los ácidos fuertes como el sulfúrico actúan sobre el carbonato de calcio que conforma las piedras calizas, convirtiéndolo en sulfato de calcio soluble, lo mismo ocurre con las piedras de coral. El sulfato de calcio escurre y ocasiona la pérdida paulatina del material.

El CO_2 puede atacar al carbonato de calcio para formar calcio libre y ácido carbónico, para que esto ocurra se requiere la presencia de agua y un medio ácido. El agua de rocío o de lluvia arrastra el calcio y el ácido carbónico goteando a través de las grietas en el techo hacia el interior de las paredes de las bóvedas, donde la presión parcial del bióxido de carbono es menor, la solución se satura en CO_2 y éste se libera en forma de gas.

Al evaporarse el agua en los escurrimientos y goteos, el calcio se combina nuevamente con el CO_2 del aire, formando precipitados de calcita o nueva caliza, y entonces se desarrollan estalactitas en los techos y paredes (Fotografía 2), así como pequeñas estalagmitas en los pisos (Chang, 1992). La proporción en que ocurre esta reacción depende de la presión parcial del CO_2 .

El agua de lluvia antiguamente era guardada en los aljibes de la fortaleza de San Juan de Ulúa para consumo humano, existen ahí 7 aljibes con capacidad para 2,531 metros cúbicos de agua de lluvia, sin embargo beber lluvia ácida de manera habitual podría tener efectos en la salud, ya que pueden existir impurezas como los metales pesados; para un consumo regular sería aconsejable potabilizarla. Estudios anteriores en la fortaleza han revelado la presencia de trazas de plomo y azufre en morteros y calizas que podrían deberse a lluvias ácidas.

San Juan de Ulúa y Tajín no son los únicos monumentos afectados por este tipo de lluvia, en el estado de Veracruz existe un gran número de zonas arqueológicas. Pero la lluvia ácida es una amenaza para otros monumentos en México y el mundo.

Están también los casos de Tulúm, Tikal y Piedras Negras, donde se han realizado estudios del efecto de la lluvia ácida sobre los materiales, además de otros estudios en El Petén, Guatemala.

Al evaporarse el agua en los escurrimientos y goteos, el calcio se combina nuevamente con el CO_2 del aire, formando precipitados de calcita o nueva caliza, y entonces se desarrollan estalactitas en los techos y paredes.

Algo similar ha ocurrido en Egipto con las pirámides de Giza, y en China con monumentos como el de Buda, éste es un fenómeno global y hay muchas otras zonas arqueológicas e históricas afectadas en todo el mundo.

La preocupación por la lluvia ácida rebasa por mucho el sector cultural, en el plano ecológico el ecosistema sufre por causa de la lluvia ácida, la deposición ácida contribuye a la reducción del pH en ecosistemas terrestres y acuáticos y per-

mite la movilización de metales tóxicos, especialmente del aluminio. Esto ocasiona una variedad de efectos como los daños a bosques y suelos, peces y a la salud humana de manera indirecta por el consumo de alimentos y agua potable contaminados por lluvia ácida³.

Sin embargo se suele considerar el efecto de la lluvia ácida menor que el calentamiento global por afectar de manera local.

NIVEL DE ACIDEZ Y CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA

En nuestras observaciones del 2007 (ver Gráfica 1) vemos que el nivel de acidez tiene grandes fluctuaciones. Las variaciones pueden ser abruptas, desde neutro hasta muy ácido en plazos breves, pero también se observó durante el 2007 un periodo de julio a octubre, donde se mantuvo una tendencia a la acidez en la lluvia, será necesario en el futuro realizar más comparaciones con los datos que se siguen recopilando.

Con las muestras de deposición seca y húmeda de años anteriores, el doctor Bravo (2007) ha medido el pH, la conductividad y el contenido iónico de las muestras, por ejemplo: en la zona arqueológica de Tulúm de 1994 a 1995, se obtuvieron 56 muestras de precipitación, donde 45% de las muestras eran ácidas (entendiendo acidez dentro de un rango de pH menor de 5.6), sin embargo la acidez de la lluvia varía enormemente en años individuales.

En el Tajín se hizo el estudio de 40 muestras de precipitación ácida donde los promedios mensuales estaban entre 4.3 y 4.5 con sólo dos excepciones (octubre 2002 y abril de 2003).

En la Tabla 1 observamos algunos datos de registros de pH en la lluvia realizados en diferentes lugares de la ciudad de Veracruz en distintos periodos, observando que la tendencia de la acidez en la lluvia es muy variable.



Gráfica 1. Fluctuaciones en los valores de pH durante 2007 en San Juan de Ulúa.

Lugar	Período	No. de Muestras	Valores de pH			Tendencia
			Min.	Max.	Medio	
FIUV (1)	julio de 1984	6	5.2	6.2	5.75	medio básico
IOAM (2)	may-nov/91	46	5.16	7.34	5.22	poco ácido
ITV (3)	jul-nov/99	32	4.68	6.68	5.66	poco básico
FSJU (3)	jul-nov/99	38	5.41	7.36	6.41	muy básico
FSJU (4)	jun-dic/2007	54	3.86	7.46	5.06	poco ácido

(1) Kanuga, 1984., (2) Bravo, et al, 1996. (3) Peralta y Hernández Téllez.

(4) Ponce Jiménez, Centro INAH Veracruz (sin publicar).

IOAM: Instituto Oceanográfico de la Armada, hoy demolido en el Boulevard.

FSJU: Fortaleza de San Juan de Ulúa. Bahía artificial del puerto de Veracruz.

ITV: Instituto Tecnológico de Veracruz. Av. Circunvalación, zona urbana.

FIUV: Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana, unos 200 m de la playa.

Tabla 1. Período, valores mínimo, máximo y medio del pH en Veracruz, Ver.

³ http://www.ine.gob.mx/dgicur/calair/lluvia_acida.html

FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN EL LITORAL DEL GOLFO DE MÉXICO

Como ya se mencionó, los contaminantes como el dióxido de azufre, óxido de nitrógeno y el trióxido de azufre están entre los principales precursores de ácido, también el dióxido de carbono; muchos de estos contaminantes son transportados por los vientos a través de cientos de kilómetros.

Algunos de ellos pueden ser producto de la combustión del carbón y del petróleo. México no ha hecho una valoración detallada de las emisiones contaminantes de las actividades e industrias en nuestro territorio, cosa que ya muchos países han comenzado a hacer por la preocupación del calentamiento global y sus efectos sobre el clima. Sin embargo a partir de 2007 se dio a conocer un Plan de Estrategias⁴.

El origen de los contaminantes se puede encontrar en industrias y actividades distribuidas en varios puntos del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (ver Figura 1).

¿Cuáles son estas industrias y qué contaminantes generan?

La quema regular de combustibles fósiles genera grandes cantidades de bióxido de carbono, uno de los principales gases de efecto invernadero. El uso intenso de fertilizantes es una de las principales fuentes de óxido nitroso.

La industria petroquímica, la producción de solventes y de halocarbonos producen los hidrofluorcarbonos, que también son resultado del uso de refrigerantes en sistemas de aire acondicionado, enfriamiento y extinguidores.

La producción industrial de halocarbonos, solventes y aluminio también ocasiona perfluorocarbonos. En las industrias productoras de energía eléctrica se utilizan aislantes dieléctricos e interruptores que producen hexafluoruros de azufre.

En nuestro país los mayores generadores de gases de efecto invernadero son las industrias de extracción, refinación y producción de petróleo y gas natural, los automóviles, las industrias productoras de materias primas como el acero, el aluminio, la pulpa y papel, productos químicos, cemento, alimentos, las actividades agrícolas, la incineración de residuos y los rellenos sanitarios, y las concentraciones humanas en ciudades.

La quema regular de combustibles fósiles genera grandes cantidades de bióxido de carbono, uno de los principales gases de efecto invernadero.

En la región del Golfo de México, entre las principales industrias generadoras de contaminantes hacia la atmósfera, encontramos las siguientes: El Complejo Industrial de Pajaritos, el Complejo Industrial de Altamira en Tampico (o central de Altamira), la termoeléctrica Adolfo López Mateos en Tuxpan, la central de Tihuatlán en Poza Rica.

En México no se ha hecho una valoración detallada de las emisiones contaminantes de las actividades e industrias en nuestro territorio.



Figura 1. Ubicación en el Golfo de México de diversas fuentes contaminantes.

En Coatzacoalcos los complejos petroquímicos Pajaritos, Morelos y la Cangrejera, que están muy cerca del Nanchital, donde recientemente hubo un serio derrame que contaminó las aguas del río. En Minatitlán, muy cerca de Coatzacoalcos, también junto al río hay otra gran petroquímica, y la refinería Lázaro Cárdenas. En la Venta, Tabasco, hay una pequeña planta de Pemex. En esa misma zona están otras instalaciones de Pemex dispersas como: Cárdenas Norte en Lázaro Cárdenas, El Castaño, Cactus-Chiapas, Ciudad Pemex, Atasta, la planta de Nitrógeno, Dos bocas frente al mar, y mar adentro encontramos varias plataformas petroleras, entre ellas Cantarel y un conjunto de instalaciones denominado Abkatun (ver Figura 1).

También debemos considerar los residuos de industrias generadoras de energía eléctrica como las centrales de energía administradas por el gobierno estatal y municipal, y los generados por las fábricas que se encuentran en la Ciudad Industrial Bruno Pagliai como TAMESA, además de la nucleoeleéctrica de Laguna Verde en Alto Lucero que opera con óxido de uranio.

⁴ Estrategia Nacional de Cambio Climático. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. SEMARNAT, México.



ACARREO ATMOSFÉRICO

Por su parte, en 2007 el doctor Kahl en colaboración con el doctor Bravo y su grupo, han intentado caracterizar el transporte atmosférico en el caso de El Tajín, este estudio también puede aportar algunos datos para el caso de San Juan de Ulúa .

Utilizando estudios previos de trayectoria de vientos a altura local y general, y además considerando las fuentes precursoras de lluvia ácida como las que se observan en la Figura 1, se intenta entender los procesos que causan la precipitación ácida en los monumentos arqueológicos, como parte de los estudios sobre la calidad del aire en el sureste de México.

Los flujos de aire atmosférico importantes en el Golfo de México son los siguientes:

- En el verano, el sistema atlántico subtropical de alta presión tiene una forma de circulación en dirección de las manecillas del reloj y trae vientos hacia la costa del Golfo de México.
- En el invierno, disminuye la influencia del sistema subtropical que ahora se mueve ha-

México firmó el Protocolo de Kyoto en 1997 y lo ratificó en 2000, pero en una modalidad diferente a la de los países desarrollados, a través de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), por lo cual no asume compromisos que rebasan su capacidad de reducción de contaminantes.

cia Portugal, y hay mayor influencia fría del anticiclón norteamericano que trae vientos del norte hacia el sureste de México.

- En el verano hay vientos del este (de junio a agosto) que pasan por el Caribe, cruzan la península de Yucatán y el sur del Golfo de México, subiendo hasta El Tajín.

Siempre hay vientos del este, pero suelen ser más fuertes durante el verano.

Cuando no es verano el anticiclón norteamericano tiene una mayor influencia, trayendo vientos desde el centro sur de EUA y desde el centro de Canadá, las trayectorias bajan por Texas hacia el norte del Golfo de México y luego pasan por El Tajín y por Veracruz.

De junio a agosto los vientos del este suelen permanecer a una altura de 200 a 600 msnm, con presiones de 980 a 940 hPa.

De septiembre a mayo la altura de la trayectoria de los vientos es de 800-1600 msnm con presiones de 920 a 840 hPa.

En el caso de El Tajín ocurre transporte por los vientos desde el este y desde el norte, incluyendo en la época de lluvias (de mayo a octubre en que se precipitan aproximadamente 1200 mm de lluvia).

Tanto en el norte como en el sur encontramos precursores de acidez significativos. El área de plataformas de la bahía de Campeche, 500 km al este, o sea, a un día de El Tajín, emite un estimado de 660,000 toneladas de contaminantes al aire anualmente, entre ellas 181,000 toneladas de SO_x y 287,000 toneladas de hidrocarburos no metanos, las emisiones más abundantes son las de hidrocarburos y sulfuros, así como significativas cantidades de NO_x, CO₂, y H₂S, así como otras partículas.

Además la planta eléctrica de Tuxpan es una fuente potencial de emisiones ácidas. También están las ciudades industriales en Tampico, Monterrey y Brownsville-Matamoros, las refinerías de Poza Rica como la Francisco I. Madero.

No se han encontrado claras relaciones entre el transporte y la precipitación de acidez en 21 de los eventos de lluvia que se registraron en Tajín (Kahl y colaboradores, 2007), esta observación fue hecha por la abundancia de vientos ascendentes con emisiones precursoras de acidez a lo largo de las principales direcciones del viento:

- Los persistentes vientos del este desde los vecinos centros productores de petróleo.
- Los vientos del norte comunes en la mañana acarreado contaminantes desde la planta de energía de Tuxpan y desde las ciudades industriales.
- Se prometen futuros análisis con mayores muestras cuantificando la relación entre transporte y química de las precipitaciones.

⁵ Kahl, J.D.W., Bravo Álvarez, H, Sosa-Echeverría, R, Sánchez-Álvarez, P, Alarcón-Jiménez, A.L. Characterization of atmospheric transport to the El Tajín archaeological zone in Veracruz, México. *Atmósfera* 20(4), 359-371 (2007).



TRATADOS AMBIENTALES

México firmó el Protocolo de Kyoto en 1997 y lo ratificó en 2000, pero en una modalidad diferente a la de los países desarrollados, a través de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), por lo cual no asume compromisos que rebasan su capacidad de reducción de contaminantes, sin embargo, ha iniciado programas de reforestación y programas voluntarios para la reducción de contaminantes.

Los MDL se materializan a través de proyectos de mitigación coordinados por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC) que fue creada en abril de 2005⁶.

En Oaxaca y Chiapas la iniciativa ProÁrbol realizó plantaciones masivas de árboles con la ayuda de agricultores locales, y aunque a nivel particular se han tratado de limitar las emisiones producidas por automóviles, camiones y transportes, todavía ninguna propuesta ha alcanzado al sector productor de energía, ésta se consideraría una estrategia obligatoria si en verdad se quiere mitigar el calentamiento global.

Es de gran importancia reducir las emisiones de trióxido de azufre que son venenosas, las centrales de energía que operan a base de combustible generan este tipo de residuos en gran cantidad, dependiendo de su contenido de metales.

Tampoco se le han exigido controles al sector petrolero, aunque existen iniciativas para el uso de energía renovable, pero que todavía no se han hecho oficiales. A finales de 2007 se emitió una convocatoria para el Premio

Nacional de Energía Renovable 2008, que contempla la energía solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica, la bioenergía (recordemos que este año la sección de gasolinas recibió un gran subsidio por parte del gobierno por considerar que su impacto es mayor que el del encarecimiento de los alimentos) en la bioenergía se incluye al biogas, y contempla otros tipos de energías alternas.

Recientemente se discutió sobre la reforma energética aunque en principio ésta sólo hacía alusión al petróleo. El 27 de mayo de 2008 durante una mesa de trabajo sobre "Transición energética" del debate sobre la iniciativa presentada por el ejecutivo federal, se indicó que sería importante incorporar criterios ambientales pues no estaban

contemplados ni se presentaba una visión integral y de largo plazo.

En opinión del investigador mexicano Premio Nobel Mario Molina, "La atmósfera se nos agotará antes que el petróleo" y la única manera prudente y sensata para actuar sería "disminuir en lo posible el consumo de combustibles fósiles", y el eventual uso de "tecnología de captura de bióxido de carbono para evitar que se siga acumulando en la atmósfera"⁷.

También se insiste en que deben integrarse alternativas como el gas natural, el viento y la geotermia para sustituir el empleo del hidrocarburo, que causa severos daños al medio ambiente.

CONCLUSIONES

Aún existe mucha gente que tiene interés en visitar San Juan de Ulúa, aunque cada vez se ha restringido más el acceso a algunas áreas debido a las condiciones de deterioro que actualmente guarda la fortaleza.

No parece posible que en corto plazo se logren disminuir los contaminantes que provocan la lluvia ácida porque esto requeriría cambios radicales en la infraestructura nacional, por otro lado, el deterioro que hoy observamos es considerable; en el caso de San Juan de Ulúa es necesaria y urgente la intervención para reparar los daños presentes e implementar un programa de mantenimiento y protección.

El INAH tiene contempladas diversas acciones para restaurar la fortaleza de Ulúa, hay esperanzas si se utilizan todos los recursos de información disponibles para diseñar una estrategia de intervención acertada: información sobre técnicas antiguas de construcción, sobre tipos de aplanados y enlucidos, sobre materiales afines para consolidar los muros construidos con calizas y piedras de coral, sobre materiales con la capacidad de neutralizar la acidez presente en la lluvia y sobre la periodicidad con que estos recubrimientos deben ser renovados.

La lluvia ácida es un problema que estará presente hasta que sean posibles nuevas alternativas en la generación de energía y en el tratamiento de los residuos que son liberados a la atmósfera.

⁶ CICC. 2007. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. SEMARNAT, México.

⁷ La Jornada On Line Publicado: 27/05/2008 14:40. <http://www.jornada.unam.mx/2008/05/27/index>.

BIBLIOGRAFÍA

CICC, 2007, *Estrategia Nacional de Cambio Climático*, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, SEMARNAT, México.

Goeritz, R. D., Virginia D. Murrieta Martínez, Juan Acosta Jimeno, Gaspar Noriega Rocha, Maritza Ramírez Caballero, Víctor Sánchez Licea, Jorge Alfredo Simonín Díaz, 1993, *Estudio del estado actual de la cimentación de la Fortaleza de San Juan de Ulúa. Primera etapa*. Marzo-diciembre de 1993, Centro INAH, Veracruz, Ver. 300 páginas más planos y fotos.

Hernández-Téllez, J. y Pablo Montero Soria, (coordinador). *Condiciones meteorológicas en la ciudad y puerto de Veracruz, del siglo XVI al XXI*, Colección Histórica de San Juan de Ulúa, Volumen V, Coedición: Instituto Nacional de Antropología e Historia/Internacional de Contenedores Asociados de Veracruz, S. A. de C. V. México, 2004, 159 pp.

Hernández Téllez, J., 2003, *Condiciones ambientales y sus efectos sobre la fortaleza de San Juan de Ulúa, Veracruz*, X Congreso de la Asociación Mexicana de Estudios del Caribe, A. C. del 9 al 11 de abril del 2003, Veracruz, Ver. (Ponencia y memoria de resúmenes).

_____, 2005. *Construcción, deterioro y restauración de la fortaleza de San Juan de Ulúa, Veracruz, México*. Taller internacional sobre la influencia de la calidad del aire en las zonas arqueológicas mayas en Mesoamérica, del 16 al 21 de octubre del 2005. Cancún Quintana Roo, México (Ponencia, <http://www.wnwg.uc.edu/mayan/presentations/>)

Kahl, J.D.W., Bravo Álvarez, H. Sosa-Echeverría, R. Sánchez Álvarez, P. Alarcón Jiménez, A.L. *Characterization of atmospheric transport to the El Tajín archaeological zone in Veracruz, México*. *Atmósfera* 20(4), 359-371 (2007).

Peralta Peláez, Luis A. y Hernández Téllez, José, 1999, *Caracterización físico-química de la precipitación pluvial en la ciudad y puerto de Veracruz, Ver., y su evaluación como potencial de la lluvia ácida, julio-noviembre 1999*, Convenio: Instituto Tecnológico de Veracruz y el Centro INAH Veracruz, Veracruz, 2000, 50 pp. No publicado.

Kanuga, K. K., 1984. *Atmospheric Pollution Potential in the Republic of Mexico. Acid rain and its chemical composition at Xalapa, Ver.* Fac. de Física, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. 2-14.

