



CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR LLUVIA ÁCIDA Y SU INCIDENCIA  
SOBRE LAS OBRAS CIVILES Y ARQUITECTÓNICAS

JOHAN ENRIQUE OVIEDO TORRES



CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR LLUVIA ÁCIDA Y SU INCIDENCIA  
SOBRE LAS OBRAS CIVILES Y ARQUITECTÓNICAS

JOHAN ENRIQUE OVIEDO TORRES

Trabajo de grado —modalidad monografía—  
presentado como requisito para optar al título de:  
INGENIERO CIVIL

Director:  
GUILLERMO GUTIÉRREZ RIBÓN  
Ing. Civil – MSc. Ingeniería Ambiental

UNIVERSIDAD DE SUCRE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
SINCELEJO – COLOMBIA  
2008

The logo of the Universidad de Sucre is a shield-shaped emblem. It features a green border and a central design with a stylized 'U' and 'S' intertwined. The text 'UNIVERSIDAD DE SUCRE' is written vertically on the left side of the shield, and 'FACULTAD DE INGENIERÍA' is written vertically on the right side. At the bottom of the shield, the year '2008' is inscribed.

Únicamente el autor de este trabajo, es responsable de las ideas expuestas.

Art. 12, Resolución 023 de 2000

Nota de aceptación

---

---

---

---

Ing. GUILLERMO GUTIÉRREZ RIBÓN  
Director Trabajo de Grado

---

Ing. MARGARETH VIECO  
Jurado

---

Ing. EMELL MULETH  
Jurado

---

Arq. ARMANDO GUTIÉRREZ  
Jurado

Sincelejo, Sucre \_\_\_\_\_

*A Dios, por ser la luz que guía mi camino y la fuerza que me impulsó a levantarme en cada tropiezo.*

*A mis padres y hermanos, por darme la vida, por darme amor, apoyo y comprensión durante todo el transcurso de mi carrera y mi vida.*

*A mi abuelito Juan Torres y mi tío Camilo Torres, que aunque hoy no me acompañan; desde mejor vida sé que están muy alegres por este triunfo.*

*A mi familia en general, por toda la colaboración brindada.*

*A todos mis amigos, por hacerme vivir día a día con la esperanza de seguir cultivando amistades.*

*Johan Enrique*

## AGRADECIMIENTOS

JOHAN ENRIQUE OVIEDO TORRES, autor de este trabajo, expresa sus sinceros agradecimientos a...

- ↳ GUILLERMO GUTIÉRREZ RIBÓN, Ingeniero Civil, Decano de la Facultad de Ingeniería, compañero y amigo, por sus valiosos aportes y orientación.
- ↳ A los tres jurados que fueron asignados: Ing. MARGARETH VIECO, Ing. EMELL MULETH, y Arq. ARMANDO GUTIÉRREZ, por toda la colaboración y rapidez con la que desarrollaron el trabajo que les fue asignado.
- ↳ Al Equipo de colaboradores de la Facultad de Ingeniería, por la colaboración en el proceso ante el Consejo de Facultad.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	13
1.1. OBJETIVO GENERAL	13
1.2. ESPECÍFICOS	13
2. NORMATIVIDAD	14
3. CONTAMINACIÓN GENERADA POR ÓXIDOS DE AZUFRE	17
3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ÓXIDOS DE AZUFRE	17
3.1.1. Contaminantes primarios	18
3.1.2. Contaminantes secundarios	19
3.1.2.1. Contaminación fotoquímica	22
3.1.2.2. Acidificación del medio ambiental (lluvias ácidas)	22
3.1.2.3. Rotura de la capa de ozono	24
3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ÓXIDOS DE AZUFRE	26
3.2.1. Los óxidos de azufre (SO <sub>x</sub> )	26
3.2.1.1. Óxidos de azufre	27
3.2.1.2. Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	27
3.2.1.3. Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	28
3.3. ORIGEN DE LOS ÓXIDOS DE AZUFRE	28
3.4. EFECTOS NOCIVOS GENERADOS POR LOS ÓXIDOS DE AZUFRE	29
3.4.1. Efectos sobre la salud humana	29
3.4.2. Efectos sobre el medio ambiente	30
3.4.3. Efectos sobre obras civiles y arquitectónicas	30
4. CALENTAMIENTO GLOBAL Y OBRAS CIVILES	33
4.1. LOS ÓXIDOS DE AZUFRE Y EL CALENTAMIENTO GLOBAL	33
4.2. CAUSAS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL	34
4.2.1. Contaminación diaria	34



4.2.2. Contaminación industrial	35
4.2.3. Contaminación hogareña	35
4.2.4. Derroche (falta de conciencia y apersonamiento del problema)	36
4.2.5. Deforestación y quema de bosques	36
4.2.6. Producción de electricidad	37
4.2.7. Calefacción	38
4.3. EFECTOS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL	38
5. COMENTARIOS	40
5.1. POSIBLES SOLUCIONES PARA EL CALENTAMIENTO GLOBAL	40
5.1.1. Fuentes de energía renovables	40
5.1.1.1. Usar energía eólica	40
5.1.1.2. Usar energía solar	41
5.1.1.3. Usar energía hidráulica	41
5.1.2. Energías alternativas para autos	42
3. CREANDO MECANISMOS DE DEFENSA PARA LAS OBRAS EXISTENTES	44
BIBLIOGRAFÍA	46

## GLOSARIO

**AZUFRE:** elemento químico, S, de número atómico 16. Los isótopos estables conocidos y sus porcentajes aproximados de abundancia en el azufre natural son estos:  $^{32}\text{S}$  (95.1%);  $^{33}\text{S}$  (0.74%);  $^{34}\text{S}$  (4.2%) y  $^{36}\text{S}$  (0.016%). La proporción del azufre en la corteza terrestre es de 0.03–0.1%. Con frecuencia se encuentra como elemento libre cerca de las regiones volcánicas (depósitos impuros).

**CONTAMINANTE:** elemento o compuesto que altera negativamente el estado natural de la naturaleza, estando ésta en condiciones óptimas.

**ÓXIDO:** combinación de una molécula de oxígeno con un metal o un metaloide.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente nuestro planeta Tierra está presentando cambios, los cuales han perjudicado directamente a todos los seres que en él habitamos. La contaminación a nivel mundial es el flagelo de mayor estudio y preocupación, ya que los resultados demuestran que son la causa directa de los cambios presentados en la última década, los contaminantes gaseosos son sin duda los que han generado mayor estudio en profundidad debido a que existe infinidad de gases que se liberan a la atmósfera y que pueden ser calificados como contaminantes.

Los contaminantes gaseosos pueden reaccionar con la humedad presente en la atmósfera para formar ácidos que pueden causar corrosión en las estructuras metálicas, generar lluvia ácida y agredir a las obras civiles. Sin dejar a un lado la parte humana que se ve directamente afectada por el contacto directo e indirecto con algunos de estos contaminantes.

Cuando los óxidos reaccionan con el medio ambiente también traen consecuencias fatales a éste, como creación de smog, lluvias ácidas, entre otros, poniendo en riesgo la estabilidad de los ecosistemas al alterar sus condiciones de equilibrio.

Los contaminantes gaseosos (óxido de azufre, nitrógeno, otros) son liberados al aire desde el escape de vehículos motorizados, de la combustión de carbón, petróleo o gas natural, en la combustión incompleta de motores y durante procesos tales como la soldadura al arco, galvanoplastia, grabado de metal y detonación de dinamita, entre otras.

Por tales razones es concerniente que con este trabajo se pretenda consolidar información científica del manejo sostenible de los contaminantes gaseosos en general y del óxido de azufre particularmente como residuo de actividades antrópicas, la cual promulgándose genere conducta ciudadana que motive el cumplimiento de la normatividad que restringe estas emisiones.

De otra manera los niveles de contaminación atmosférica crecientes entre otros casos, seguirá aumentando sus efectos adversos sobre la salud humana, el medio y sus consecuencias en la cadena de incidencia económica.

En resumen, el objeto de esta monografía es dar a conocer a la comunidad en general las causas y efectos sobre la salud humana que se producen por la contaminación de la atmósfera local y el impacto ambiental que generan estos gases al medio circundante con énfasis en los elementos de la infraestructura civil urbana.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1. OBJETIVO GENERAL

📖 Describir las principales fuentes y características de las emisiones relacionadas con la formación de lluvia ácida, originada en las actividades industriales y de tránsito vehicular; y su efecto sobre las estructuras civiles y arquitectónicas.

### 1.2. ESPECÍFICOS

- ✎ Identificar las principales fuentes de contaminación que generan los gases de óxidos de azufre.
- ✎ Determinar las causas, estado actual y consecuencias principales que produce la contaminación por óxidos de azufre en la degradación de las obras civiles y sobre la salud humana.
- ✎ Describir las características de los óxidos de azufre y su transformación en la atmósfera.
- ✎ Identificar las causas e incidencia del calentamiento global sobre la generación de lluvia ácida.

## 2. NORMATIVIDAD

**LEY 99 DEL 22 DE DICIEMBRE DE 1993:**

Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental.

☒ TÍTULO IV: Corporaciones Autónomas Regionales

☒ TÍTULO VIII: Licencias Ambientales

**RESOLUCIÓN N° 909 DEL 20 DE AGOSTO DE 1996:**

Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 005 de 1996, que reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diesel, y se definen los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones y se adoptan otras disposiciones SINA, y se dictan otras disposiciones.

**RESOLUCIÓN N° 1225 DE 1999:**

Por la cual se adiciona la Resolución N° 1103 del 4 de octubre de 1999, sobre los requisitos para ser Centro de Diagnóstico reconocido para realizar la revisión de emisiones de fuentes móviles con motor a gasolina y diesel.

**RESOLUCIÓN N° 1315 DE 1995:**

Por medio de la cual se adopta la declaración denominada Informe de Estado de Emisiones (IE-1)

RESOLUCIÓN N° 1103 DE 1999:

Por la cual se reglamentan los requisitos para ser Centro de Diagnóstico Reconocido para realizar la revisión de emisiones de fuentes móviles con motor a gasolina y diesel.

DECRETO N° 2206 DEL 2 DE AGOSTO DE 1983:

Por el cual se sustituye el Capítulo XVI de la vigilancia, el control y las sanciones, del Decreto N° 02 de 1982 sobre emisiones atmosféricas.

DECRETO N° 0002 DEL 11 DE ENERO DE 1982:

Por el cual se reglamentan parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas.

RESOLUCIÓN N° 909 DE 1996:

Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 005 de 1996, que reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diesel, y se definen los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones, y se adoptan otras disposiciones.

RESOLUCIÓN N° 378 DE 1997:

"Por medio de la cual se fijan las condiciones de expedición del Certificado de Emisiones por Prueba Dinámica".

RESOLUCIÓN N° 1351 DEL 14 DE NOVIEMBRE DE 1995:

Por medio de la cual se adopta la declaración denominada Informe de Estado de Emisiones (IE-1).

RESOLUCIÓN N° 378 DEL 13 DE MAYO DE 1997:

Por medio de la cual se fijan las condiciones de expedición del Certificado de Emisiones por Prueba Dinámica.

RESOLUCIÓN N° 5 DEL 9 DE ENERO DE 1996:

Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diesel, y se definen los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones y se adoptan otras disposiciones. Emisiones (IE-1).



### 3. CONTAMINACIÓN GENERADA POR ÓXIDOS DE AZUFRE

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ÓXIDOS DE AZUFRE

Para hablar de contaminación generada por los óxidos de azufre en específicos, empecemos por definir qué es la contaminación atmosférica.

Se entiende por *contaminación atmosférica* la presencia en el aire de sustancias y formas de energía que alteran la calidad del mismo, de modo que implique riesgos, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza.

Todas las actividades humanas, el metabolismo de la materia humana y los fenómenos naturales que se producen en la superficie o en el interior de la tierra van acompañados de emisiones de gases, vapores, polvos y aerosoles. Estos, al difundirse a la atmósfera, se integran en los distintos ciclos biogeoquímicos que se desarrollan en la Tierra.

Del concepto de contaminación atmosférica, se desprende que una sustancia sea considerada contaminante o no, esto dependerá de los efectos que produzca sobre sus receptores. Se consideran contaminantes aquellas sustancias que pueden dar lugar a riesgo o daño, para las personas o bienes en determinadas circunstancias.

Con frecuencia, los contaminantes naturales ocurren en cantidades mayores que los productos de las actividades humanas, los llamados contaminantes antropogénicos. Sin embargo, los contaminantes antropogénicos presentan la amenaza más significativa a largo plazo para la biosfera.

Una primera clasificación de estas sustancias, atendiendo a cómo se forman, es la que distingue entre contaminantes primarios y contaminantes secundarios.

3.1.1. **Contaminantes primarios.** Entendemos por contaminantes primarios aquellas sustancias contaminantes que son vertidas directamente a la atmósfera. Los contaminantes primarios provienen de muy diversas fuentes dando lugar a la llamada contaminación convencional. Su naturaleza física y su composición química son muy variadas, si bien podemos agruparlos atendiendo a su peculiaridad más característica tal como su estado físico (caso de partículas y metales), o elemento químico común (caso de los contaminantes gaseosos).

Tabla 1. Contaminantes naturales del aire.

<b>Contaminantes Naturales del Aire</b>	
<b>Fuente</b>	<b>Contaminantes</b>
Volcanes	Óxidos de azufre, partículas
Fuegos forestales	Monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas
Vendavales	Polvo
Plantas (vivas)	Hidrocarburos, polen
Plantas (en descomposición)	Metano, sulfuro de hidrógeno
Suelo	Virus, polvo
Mar	Partículas de sal

Fuente: [www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf2b.html#metales](http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf2b.html#metales)

Entre los contaminantes atmosféricos más frecuentes que causan alteraciones en la atmósfera se encuentran:

Aerosoles (en los que se incluyen las partículas sedimentables y en suspensión, y los humos).

✚ Óxidos de azufre, SO<sub>x</sub>.

✚ Monóxido de carbono, CO.

- + Óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>.
- + Hidrocarburos, Hn Cm.
- + Ozono, O<sub>3</sub>.
- + Anhídrido carbónico, CO<sub>2</sub>.

Además de estas sustancias, en la atmósfera se encuentran una serie de contaminantes que se presentan más raramente, pero que pueden producir efectos negativos sobre determinadas zonas por ser su emisión a la atmósfera muy localizada. Entre otros, se encuentran como más significativos los siguientes:

- + Otros derivados del azufre.
- + Halógenos y sus derivados.
- + Arsénico y sus derivados.
- + Componentes orgánicos.
- + Partículas de metales pesados y ligeros, como el plomo, mercurio, cobre, zinc.
- + Partículas de sustancias minerales, como el amianto y los asbestos.
- + Sustancias radiactivas.

**3.1.2. Contaminantes secundarios.** Los contaminantes atmosféricos secundarios no se vierten directamente a la atmósfera desde los focos emisores, sino que se producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la misma.

Las principales alteraciones atmosféricas producidas por los contaminantes secundarios son:

- La contaminación fotoquímica;
- La acidificación del medio; y

- La disminución del espesor de la capa de ozono.

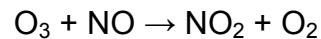
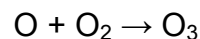


**3.1.2.1. Contaminación fotoquímica.** La contaminación fotoquímica se produce como consecuencia de la aparición en la atmósfera de oxidantes, originados al reaccionar entre sí los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el oxígeno en presencia de la radiación ultravioleta de los rayos del Sol. La formación de los oxidantes se ve

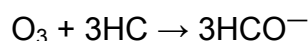
favorecida en situaciones estacionarias de altas presiones (anticiclones) asociados a una fuerte insolación y vientos débiles que dificultan la dispersión de los contaminantes primarios.

El mecanismo de formación de los oxidantes fotoquímicos es complejo, realizándose por etapas a través de una serie de reacciones químicas. El proceso completo puede ser simplificado en las tres etapas siguientes:

- Formación de oxidantes a través del ciclo fotolítico del  $\text{NO}_2$



- *Formación de radicales libres activos.* La presencia en el aire de hidrocarburos hace que el ciclo fotolítico se desequilibre al reaccionar estos con el oxígeno atómico y el ozono generado, produciendo radicales libres muy reactivos.



- *Formación de productos finales.* Los radicales libres formados reaccionan con otros radicales, con los contaminantes primarios y con los constituyentes normales del aire, dando lugar a los contaminantes fotoquímicos según las reacciones:



La mezcla resultante de todas estas sustancias da lugar a la denominada contaminación fotoquímica o “**smog fotoquímico**”, tipo Los Ángeles, como normalmente se le conoce, debido a que fue en esta ciudad californiana donde se observó por primera vez. Este tipo de contaminación se presenta cada vez con más frecuencia en las grandes ciudades de los países industrializados, siendo muy interesante el estudio de la variación durante el día de la concentración de los contaminantes que intervienen en el mecanismo de formación de los oxidantes fotoquímicos.

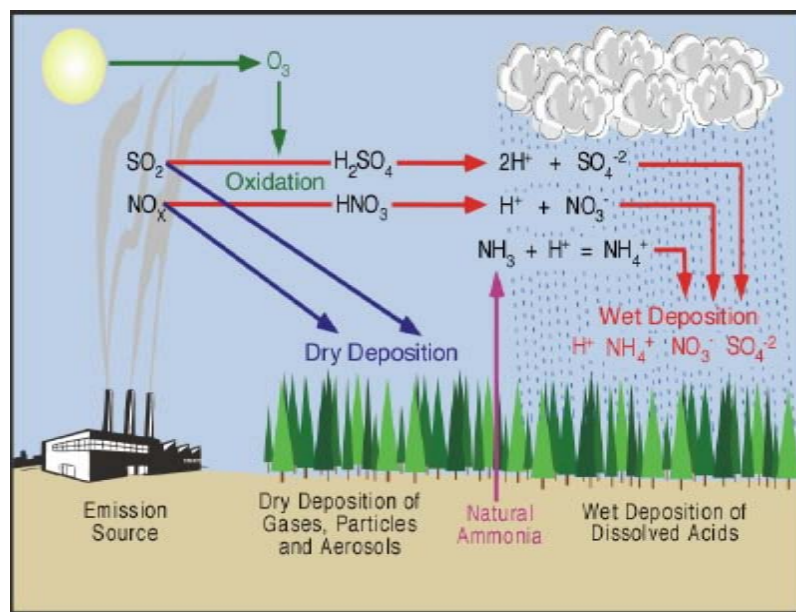


En las primeras horas de la mañana se produce una intensa emisión de hidrocarburos (HC) y óxido nítrico (NO) al comenzar la actividad humana en las grandes ciudades (encendido de las calefacciones y tráfico intenso). El óxido nítrico (NO) se oxida a óxido nítrico (NO<sub>2</sub>)

aumentando la concentración de este último en la atmósfera. Las concentraciones superiores de NO<sub>2</sub> unido a que la radiación solar se va haciendo más intensa, ponen en marcha el ciclo fotolítico del NO<sub>2</sub>, generando oxígeno atómico que al transformarse en ozono conduce a un aumento de la concentración de este elemento y de radicales libres de hidrocarburos. Estos, al combinarse con cantidades apreciables de NO, producen una disminución de este compuesto en la atmósfera. Este descenso en la concentración de NO impide que se complete el ciclo fotolítico aumentando rápidamente la concentración de ozono (O<sub>3</sub>).

A medida que avanza la mañana la radiación solar favorece la formación de oxidantes fotoquímicos, aumentando su concentración en la atmósfera. Cuando disminuyen las concentraciones de los precursores (NOx y HC) en la atmósfera, cesa la formación de oxidantes y sus concentraciones disminuyen al avanzar el día. De aquí que la contaminación fotoquímica se manifieste principalmente por la mañana en las ciudades

3.1.2.2. **Acidificación del medio ambiental (lluvias ácidas).** Entendemos por acidificación del medio ambiente la pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra en forma de ácidos de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera.



Esquema de formación de lluvia ácida (OLIVERO & GUTIÉRREZ. Asignatura contaminación ambiental, Maestría en Ciencias Ambientales. SUE CARIBE. Conferencia sobre lluvia ácida. 2008.)

La acidificación es un ejemplo claro de las interrelaciones entre los distintos factores ambientales, atmósfera, suelo, agua y organismos vivos. Así la contaminación atmosférica producida por los SOx y NOx afecta directa o indirectamente al agua, al suelo y a los ecosistemas.

La amplitud e importancia de la acidificación del medio es debida, principalmente, a las grandes cantidades de óxidos de azufre y de nitrógeno lanzados a la atmósfera, siendo de destacar que del total de las emisiones de  $\text{SO}_2$  en el globo terrestre, aproximadamente la mitad son emitidas por las actividades humanas (antropogénicas) y que la mayor parte de éstas se producen en las regiones industrializadas del Hemisferio Norte que ocupan menos del 5% de la superficie terrestre.

El proceso de acidificación se origina de la siguiente forma:

- El azufre se encuentra en un principio en estado elemental, fijado en los combustibles fósiles.
- El nitrógeno en forma elemental se encuentra en el aire y también en los combustibles.
- Durante el proceso de la combustión de los combustibles fósiles se liberan el azufre y el nitrógeno, emitiéndose, en su mayor parte por las chimeneas, a la atmósfera como dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), respectivamente.
- Los óxidos de azufre y nitrógeno sufren una serie de fenómenos tales como transporte a gran distancia, reacciones químicas, precipitación y deposición. Con el tiempo estos óxidos y los distintos compuestos a que dan lugar retornan a la superficie de la tierra donde son absorbidos por los suelos, el agua o la vegetación.

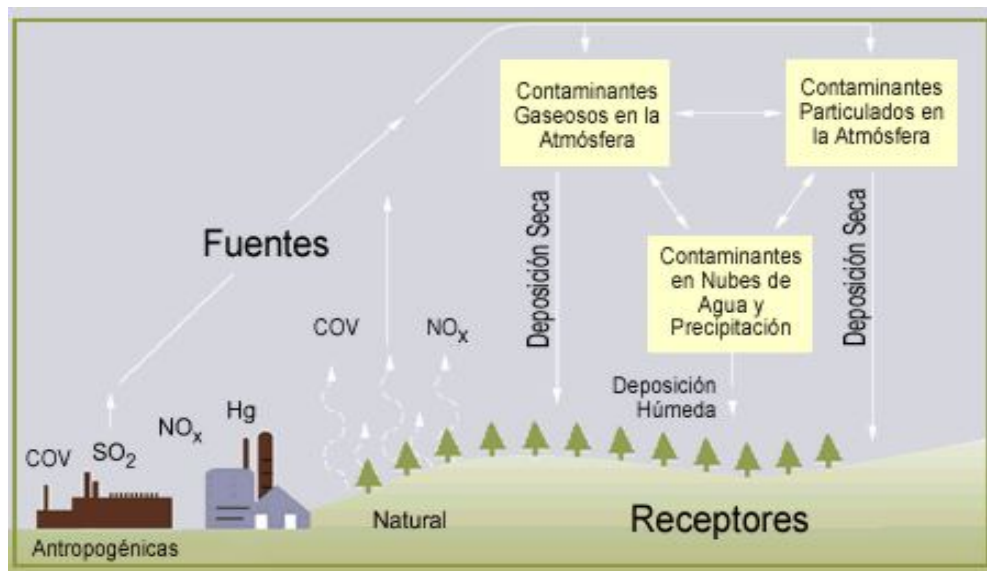
El proceso de retorno a la tierra puede realizarse de dos maneras:

- a. Deposición seca. Una fracción de los óxidos vertidos a la atmósfera retornan a la superficie de la tierra en forma gaseosa o de aerosoles. Esto puede ocurrir cerca de las fuentes de emisión de los contaminantes o a distancia de hasta

algunos cientos de kilómetros de la misma, en función de las condiciones de dispersión. No obstante, la deposición en seco es predominante en zonas próximas al foco emisor.

- b. Deposición húmeda. La mayor parte de los  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  que permanecen en el aire sufren un proceso de oxidación que da lugar a la formación de ácido sulfúrico ( $\text{SO}_4\text{H}_2$ ) y ácido nítrico ( $\text{NO}_3\text{H}$ ). Estos ácidos se disuelven en las gotas de agua que forman las nubes y en las gotas de lluvia, retornando al suelo con las precipitaciones. Una parte de estos ácidos queda neutralizada por sustancias presentes en el aire tales como el amoníaco, formando iones de amonio ( $\text{NH}_4^-$ ).

Los ácidos disueltos consisten en iones de sulfato, iones nitrato e iones de hidrógeno. Todos estos iones están presentes en las gotas de lluvia, lo que da lugar a la acidificación de la misma.



Esquema de formación de lluvia ácida  
([www.portalplanetasedna.com.ar/menu\\_futuro.html](http://www.portalplanetasedna.com.ar/menu_futuro.html))

3.1.2.3. **Rotura de la capa de ozono.** Uno de los grandes problemas causados por las reacciones que tienen lugar entre los contaminantes de la atmósfera es el



de la disminución de la capa de ozono de la estratosfera como consecuencia de la descarga de determinadas sustancias a la atmósfera.

El ozono contenido en la estratosfera se puede descomponer a través de una serie de reacciones cíclicas en las que intervienen radicales que contienen hidrógeno y nitrógeno. El ozono se puede descomponer también por absorción de radiación ultravioleta, produciendo oxígeno atómico y molecular.

Como consecuencia de estas reacciones de producción y destrucción se forma una capa de ozono cuyo espesor varía cíclicamente, tanto diaria como estacionalmente. Se han detectado como potencialmente peligrosas para la capa de ozono, tres tipos de actividades humanas:

- Generación de gran cantidad de óxidos de nitrógeno emitidos por los aviones supersónicos como el Concorde y los cohetes espaciales.
- Producción de óxidos nitrosos como resultado de la acción desnitrificadora de las bacterias en el suelo. Los óxidos nitrosos son productos relativamente estables que pueden persistir en la troposfera, llegando a alcanzar la estratosfera donde se pueden descomponer en óxido nítrico que es activo en la destrucción del ozono. Ésta es probablemente la principal fuente del óxido de nitrógeno presente en la estratosfera y el principal agente de destrucción del ozono en el ciclo natural.
- Finalmente, los átomos libres de cloro pueden producir la destrucción del ozono a través de una serie de reacciones. La presencia de estos átomos de cloro en la estratosfera se debe a las reacciones que sufren los clorofluocarbonos cuando se dispersan en la atmósfera. En las últimas décadas dos de estos productos, el  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  y el  $\text{CFCl}_3$  se han utilizado con gran profusión como refrigerantes en la industria y especialmente como propelentes de las aspersiones ("spray"), debido a su alta estabilidad química, baja toxicidad y no

ser inflamables. Su estabilidad química es la que permite la migración de estos productos hasta la estratosfera, en la que se descomponen como consecuencia de la radiación ultravioleta produciendo átomos de cloro.

Por todas las características descritas anteriormente, podemos definir al óxido de azufre como:

Contaminante primario que está presente en la atmósfera como consecuencia de emisiones naturales y antrópicas, pero que al combinarse con otros compuestos puede alcanzar el grado de contaminante secundario y tener efectos directos sobre las personas y las estructuras civiles.

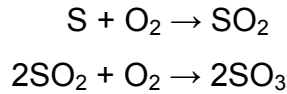
### 3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ÓXIDOS DE AZUFRE

**3.2.1. Los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>).** El óxido de azufre que se emite a la atmósfera en mayores cantidades es el anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>), y en menor proporción, que no rebasa el 1 ó el 2 por ciento del anterior, el anhídrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>).

El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro, de olor picante e irritante en concentraciones superiores a 3 ppm. Es 2.2 veces más pesado que el aire, a pesar de lo cual se desplaza rápidamente en la atmósfera, siendo un gas bastante estable. El SO<sub>3</sub> es un gas incoloro y muy reactivo que condensa fácilmente; en condiciones normales, no se encuentra en la atmósfera, ya que reacciona rápidamente con el agua atmosférica, formando ácido sulfúrico.

La combustión de cualquier sustancia que contenga azufre produce emisiones de SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>; la cantidad de SO<sub>3</sub> producida depende de las condiciones de la reacción, especialmente de la temperatura, oscilando entre 1 y 10 por ciento de los SO<sub>x</sub> producidos.

Un mecanismo de formación de SO<sub>x</sub> podría ser:



La segunda reacción se produce en pequeña escala y tiene lugar muy lentamente, a la temperatura de la atmósfera, siendo favorecida por la acción de catalizadores. El efecto neto es que la emisión de los SO<sub>x</sub> se realiza fundamentalmente en forma de SO<sub>2</sub>.

**3.2.1.1. Óxidos de azufre.** Incluyen el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>).

**3.2.1.2. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).** Importante contaminante primario. Es un gas incoloro y no inflamable, de olor fuerte e irritante.

Su vida media en la atmósfera es corta, de unos 2 a 4 días. Casi la mitad vuelve a depositarse en la superficie, húmedo o seco, y el resto se convierte en iones sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Por este motivo, como se ve con detalle en la sección correspondiente, es un importante factor en la lluvia ácida.

En conjunto, más de la mitad del que llega a la atmósfera es emitido por actividades humanas, sobre todo por la combustión de carbón y petróleo y por la metalurgia. Otra fuente muy importante es la oxidación del H<sub>2</sub>S. Y, en la naturaleza, es emitido en la actividad volcánica. En algunas áreas industrializadas hasta el 90% del emitido a la atmósfera procede de las actividades humanas, aunque en los últimos años está disminuyendo su emisión en muchos lugares gracias a las medidas adoptadas.

En España sus emisiones se concentran en Galicia y Aragón, al estar situadas en estas comunidades importantes instalaciones productoras de electricidad que usan combustibles de baja calidad. En los últimos años se están produciendo

importantes disminuciones en la emisión de este contaminante (de 1980 a 1990 su producción ha disminuido en un 33%) como consecuencia de estar sustituyéndose los carbones españoles (de baja calidad) por combustibles de importación, más limpios. De todas formas las cantidades producidas siguen siendo bastante grandes y, de hecho, es el contaminante primario emitido en mayor cantidad después del CO.

**3.2.1.3. Trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>).** Contaminante secundario que se forma cuando el SO<sub>2</sub> reacciona con el oxígeno en la atmósfera. Posteriormente este gas reacciona con el agua formando ácido sulfúrico con lo que contribuye de forma muy importante a la lluvia ácida y produce daños importantes en la salud, la reproducción de peces y anfibios, la corrosión de metales y la destrucción de monumentos y construcciones de piedra, como veremos más adelante.

### 3.3. ORIGEN DE LOS ÓXIDOS DE AZUFRE

Se forman por la combustión del S presente en el carbón y el petróleo, en porcentajes que varían entre un 0,1 y un 5%, obteniéndose SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub> en una proporción que va de 40:1 a 80:1, respectivamente. El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro que resulta irritante si su concentración es superior a 3 ppm. El SO<sub>2</sub> puede formar SO<sub>3</sub> en la atmósfera por la acción fotoquímica, así como por catálisis de las partículas en suspensión. Los SO<sub>x</sub> forman con la humedad ambiente entre el 5 y el 20% de los aerosoles urbanos, incrementando el poder corrosivo de la atmósfera, disminuyendo la visibilidad y provocando la lluvia ácida; si, además, la presencia de partículas es significativa, la salud de los seres vivos se ve seriamente amenazada. Se supone que más del 90% de la producción de óxidos de azufre en el hemisferio norte es de origen antropogénico, siendo el total mundial de emisiones anuales 100–1000GKg, de las cuales entre 120 y 160 lo son por acción del hombre (Kirkwood).

El dióxido de azufre y los óxidos nítrico y nitroso son originados principalmente por las termoeléctricas, los motores de combustión interna de coches y aviones y algunas otras industrias.

### 3.4. EFECTOS NOCIVOS GENERADOS POR LOS ÓXIDOS DE AZUFRE

Los óxidos de azufre afectan a todo el ecosistema y planeta en general, directa e indirectamente. Entre los cuales destacaremos:

3.4.1. **Efectos sobre la salud humana.** El azufre se puede encontrar frecuentemente en la naturaleza en forma de sulfuros. Durante diversos procesos se añaden al medio ambiente enlaces de azufre dañinos para los animales y los hombres. Estos enlaces de azufre dañinos también se forman en la naturaleza durante diversas reacciones, sobre todo cuando se han añadido sustancias que no están presentes de forma natural. Los compuestos del azufre presentan un olor desagradable y a menudo son altamente tóxicos. En general las sustancias sulfurosas pueden tener los siguientes efectos en la salud humana:

- Efectos neurológicos y cambios comportamentales
- Alteración de la circulación sanguínea
- Daños cardiacos
- Efectos en los ojos y en la vista
- Fallos reproductores
- Daños al sistema inmunitario
- Desórdenes estomacales y gastrointestinales
- Daños en las funciones del hígado y los riñones
- Defectos en la audición
- Alteraciones del metabolismo hormonal

- Efectos dermatológicos
- Asfixia y embolia pulmonar

**3.4.2. Efectos sobre el medio ambiente.** El azufre puede encontrarse en el aire en varias formas diferentes. Puede provocar irritaciones en los ojos y garganta de los animales, cuando la toma tiene lugar a través de la inhalación del azufre en su fase gaseosa. El azufre se aplica extensivamente en las industrias y es emitido al aire, debido a las limitadas posibilidades de destrucción de los enlaces de azufre que se aplican.

Los efectos dañinos del azufre en los animales son principalmente daños cerebrales, a través de un malfuncionamiento del hipotálamo, y perjudicar el sistema nervioso.

Pruebas de laboratorio con animales de prueba han indicado que el azufre puede causar graves daños vasculares en las venas del cerebro, corazón y riñones. Estos test también han indicado que ciertas formas del azufre pueden causar daños fetales y efectos congénitos. Las madres pueden incluso transmitirles envenenamiento por azufre a sus hijos a través de la leche materna.

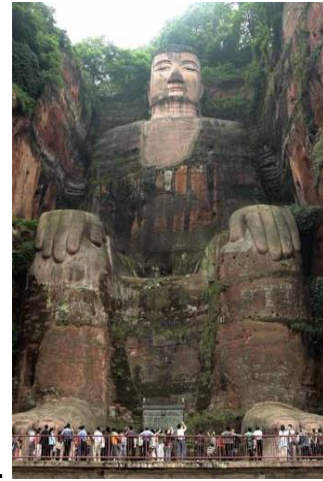
El incremento de ácidos en el suelo acelera la velocidad de lixiviación de los nutrientes vitales como el calcio, para las plantas y la vida acuática (afecta el desarrollo de los huevos de los peces).

Por último, el azufre puede dañar los sistemas enzimáticos internos de los animales.

**3.4.3. Efectos sobre obras civiles y arquitectónicas.** Casi todas las construcciones que hace el hombre como edificios, monumentos y maquinaria, son corroídas por exposición prolongada a ácidos diluidos, sin embargo, sus efectos a largo plazo sobre la naturaleza son más importantes.



1.



2.

Degradación estructural por efecto de lluvia ácida: 1) Escultura del portal del castillo de Westphalia – Alemania (OLIVERO & GUTIÉRREZ. Asignatura contaminación ambiental, Maestría en Ciencias Ambientales. SUE CARIBE. Conferencia sobre lluvia ácida. 2008.). 2) Buda más alto del mundo en Pekín ([www.elpais.com/archivo/buscando.html?query=lalluviaacidaamenazaalbudamasaltodelmundo&donde=entos&idiomas=es](http://www.elpais.com/archivo/buscando.html?query=lalluviaacidaamenazaalbudamasaltodelmundo&donde=entos&idiomas=es))

Las construcciones, las estatuas y los monumentos de piedra sufren erosión por efecto de diversos contaminantes que arrastra el aire, entre ellos la lluvia ácida. Los materiales de construcción como acero, pintura, plásticos, cemento, mampostería, acero galvanizado, piedra caliza, piedra arenisca y mármol también están expuestos a sufrir daños. La frecuencia con la que es necesario aplicar nuevos recubrimientos protectores a las estructuras va en aumento, con los consecuentes costos adicionales, los cuales se estiman en miles de millones de dólares anuales.

Los efectos de los diversos contaminantes todavía no se pueden separar unos de otros de manera confiable. Sin embargo, se acepta que el principal agente corrosivo individual de los materiales de construcción es el dióxido de azufre y sus productos secundarios.

Las piedras arenisca y caliza se han utilizado con frecuencia como materiales para monumentos y estatuas. Ambas se corroen con más rapidez en el aire citadino

cargado de azufre que en el aire campestre libre de azufre. Cuando los contaminantes azufrados se depositan en una superficie de piedra arenisca o caliza, reaccionan con el carbonato de calcio del material y lo convierten en sulfato de calcio (yeso), fácilmente soluble, que se deslava con la lluvia.

En el Informe sobre lluvia ácida, encargado por el gobernador de Ohio en 1980 (Scientific Advisory Task Force, 1980), el comité afirma que “la lluvia ácida es motivo de preocupación especial a causa de sus efectos en estructuras de importancia arqueológica o histórica”. La desfiguración y disolución de famosas estatuas y monumentos, como la Acrópolis de Atenas y tesoros artísticos de Italia se ha acelerado considerablemente en los últimos 30 años, en muchos casos en obras que han estado en pie por siglos. Esto es una tragedia de la cual no es posible hacer un análisis económico.



## 4. CALENTAMIENTO GLOBAL Y OBRAS CIVILES

### 4.1. LOS ÓXIDOS DE AZUFRE Y EL CALENTAMIENTO GLOBAL

El calentamiento global es el fenómeno mediante el cual la temperatura normal del Planeta ha sufrido un incremento considerable, principalmente por actividades antrópicas.

El calentamiento global —que se produce por la acumulación de dióxido de carbono y de otros gases llamados *de efecto invernadero* que impiden que los rayos solares que atraviesan la atmósfera puedan salir, y de ese modo elevan la temperatura del planeta— altera las condiciones del equilibrio natural y afecta la salud de las personas.

Son los combustibles fósiles (el carbón y todos los derivados del petróleo) los que al ser empleados para obtener energía liberan a la atmósfera varias sustancias químicas (la mayor parte en forma de gases), conocidas como *gases de efecto invernadero*, que inciden negativamente sobre la salud de la población. Por combustión completa, los combustibles fósiles liberan dióxido de carbono, agua y óxidos de nitrógeno; por combustión incompleta liberan monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y partículas en suspensión.

Mientras están en el aire, estos contaminantes son transformados por las radiaciones solares, dando lugar a reacciones fotoquímicas que producen más contaminantes secundarios (ozono, cuerpos volátiles, entre otros), que dan lugar al llamado *smog fotoquímico*.

Para el doctor Frank Murray, de la Universidad Murdoch en Perth (Australia), agrega que “Gran parte de la población mundial vive en áreas donde los niveles

de contaminación atmosférica exceden los lineamientos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS)". Los datos que respaldan dicha afirmación son ilustrativos:

- Se calcula que en el mundo más de 1.200 millones de personas están expuestas a niveles excesivos de dióxido de azufre.
- Más de 1.400 millones de personas estarían expuestas a excesivos niveles de materia particulada en suspensión.
- Entre el 15 y el 20% de la población de Europa y América del Norte está expuesta a niveles que exceden los límites permisibles de dióxido de nitrógeno.

## 4.2. CAUSAS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL

### 4.2.1. Contaminación

**diaria.** Un ejemplo de contaminación diaria es el transporte, esto se debe a que los autos, motos, camiones, y colectivos queman combustibles derivados del petróleo, como la nafta, el gas-oil, y el fuel-oil (usado solamente en trenes, centrales eléctricas, etc.) que son altamente contaminantes, que aunque



Experimento para calcular la cantidad de gas emitida por un vehículo, sin acelerar el motor, en media hora  
(<http://detengamosesto juntos.blogspot.com>)

no los vemos, existen. En la figura a la derecha se observa un experimento chino para demostrar lo contaminantes que son los autos. Y pensar que lo que se ve ocurrió en sólo media hora sin acelerar el motor.

**4.2.2. Contaminación industrial.** Esta causa implica a industrias de cualquier tamaño, estas industrias que todos los países quieren tener, el que tiene más es el mejor, el ejemplo de EEUU, al que todos quieren copiar produce un 25% de los contaminantes del mundo, ellos solos. Pensando que la Argentina produce sólo un 0.3% y viendo como queman gomas los piqueteros, las 70 papeleras que existen distribuidas a lo largo y ancho del país, la cantidad de autos que hay, el humo que producen los colectivos y camiones en mal estado, y demás y sólo producimos un 0.3%, imagínense los países industrializados. Otro tema son las chimeneas que tienen las industrias, algunos piensan que están porque así contaminan menos, éstas no reducen la cantidad de contaminantes, simplemente los emiten a mayor altura, reduciendo así su concentración en el lugar de producción. Estos contaminantes pueden ser transportados a gran distancia y producir sus efectos adversos en áreas muy alejadas del lugar donde tuvo lugar la emisión.



Contaminación industrial (<http://detengamosestoconjuntos.blogspot.com>)

**4.2.3. Contaminación hogareña.** La contaminación hogareña no parece tener importancia, pero la tiene, la electricidad que consumimos diariamente, que nos

facilita la vida, los automóviles que tanto nos gustan y que también nos facilitan tanto la vida, tienen mucho peso a la hora de considerar los contaminantes. Si toda la gente usara la energía eléctrica racionalmente y si todos usáramos nuestros autos moderadamente, si evitáramos los embotellamientos y si todos los autos tuvieran catalizador (un sistema que convierte algunos contaminantes en agua), este calentamiento global que ya lleva unos 2,5 grados centígrados no hubiera llegado a los 2 grados.

**4.2.4. Derroche (falta de conciencia y apersonamiento del problema).** Esta causa es netamente de conciencia de apersonarse cada uno de los seres humanos que vivimos en el planeta que debemos hacer buen uso de la electricidad, el agua potable, los combustibles fósiles, petróleo y sus derivados, gas natural, y lo más importante, asumir comportamientos que nos ayuden a seguir acabando nuestro planeta.

El derroche de todos los tipos de energías, se da por varias razones, entre las cuales: es barato, hay más, y no le importa. Un ejemplo es el derroche de energía eléctrica, muchos no lo notan, pero cada uno aunque no quiera lo hace, ejemplo: “ya vengo, voy a la casa de fulanito”, y ¿qué hace esta persona?, deja todas las luces prendidas a su paso, y después quien la apaga, nadie total, son 2 lamparitas locas. Ésta es una, otra es el derroche de agua, tan importante como el de la electricidad, ya que el agua, aunque nosotros no lo notemos, es escasa, para algunos países es menor a la necesaria, por ejemplo: Francia, este país sufre de una falta de agua grande por eso ya aprendieron a ahorrarla, por esto sólo se bañan 1 vez a la semana. También existe derroche de gas y combustibles.

**4.2.5. Deforestación y quema de bosques.** Los árboles y plantas son muy importantes para el Planeta y para frenar la contaminación, ya que absorben contaminantes que luego irían a la atmósfera. Si deforestamos los bosques y los quemamos, esos árboles no absorben más contaminantes y si no absorben más

contaminantes, estos van directo a la atmósfera, si van directo a la atmósfera producen más calentamiento global, por eso no se debe terminar con los bosques, además miles de indígenas y animales viven ahí, con lo cual tendrían que abandonar sus hogares.

Cabe preguntarse ¿Cuántos árboles deforestan para hacer papeles y muebles?, ¿no?, ¿y los que se queman para tener más terrenos para cultivo?, entre estos dos suman más de 40 canchas de futbol por hora. Es impresionante ¿no?



Deforestación y quema de bosques (<http://detengamosestoconjuntos.blogspot.com>)

**4.2.6. Producción de electricidad.** La producción de electricidad es una causa que pesa mucho, porque los humanos consumimos mucha energía eléctrica y la producción en sí contamina más de un 80% del dióxido de azufre, un 50% de los óxidos de nitrógeno, y de un 30 a un 40% de las partículas en suspensión emitidos a la atmósfera. Esta producción se hace generalmente calentando agua por medio de combustibles fósiles como el fuel-oil (derivado del petróleo) y el carbón mineral, al

hacer esto se genera vapor, y éste se evapora por una chimenea y hace mover una especie de turbina, que hace mover un eje que mueve a un generador, (que genera la energía). También existe la energía nuclear, que tiene el mismo principio, pero el vapor lo genera por reacciones químicas. Esta energía no produce contaminantes atmosféricos, pero sí produce residuos radioactivos que no se pueden guardar en cualquier lado. Además, genera un gran riesgo para la salud si algo llegara a salir mal.

En la figura siguiente el ejemplo de una planta productora de electricidad.



Termoeléctrica (<http://detengamosestoconjuntos.blogspot.com>)

4.2.7. **Calefacción.** Como ya habíamos visto, toda combustión produce gases de efecto invernadero, por lo tanto, la calefacción también la produce y en mucha cantidad, imaginen que en una casa común se tiene 1 ó 2 estufas, sumándole que no tengan termostato (un sistema que apaga automáticamente la estufa cuando el ambiente llega a cierta temperatura), esto produce una gran cantidad de gases.

#### 4.3. EFECTOS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL

Entre los efectos del calentamiento global se pueden destacar como los principales el de efecto invernadero y el del smog fotoquímico. Los cuales son

directos responsables del aumento en los niveles de temperatura de nuestro Planeta.

Estos efectos fueron descritos anteriormente en:

- *Efecto invernadero*: 4. calentamiento global y obras civiles
- *Smog fotoquímico*: 3.1 contaminantes secundarios, características de los óxidos de azufre.

## 5. COMENTARIOS

El efecto de los óxidos de azufre, nitrógeno entre otros, puede resultar de alta peligrosidad para la salud humana y de un alto índice de destructibilidad para estructuras y obras civiles; por tal razón, debemos tratar de mitigar sus efectos, pero haciendo claridad que la mejor solución sería disminuir las cantidades de emisiones de compuestos químicos a la atmósfera.

Es un problema global y social, porque además de los controles que se puedan ejercer por parte de las autoridades, se debe crear conciencia en cada uno de los habitantes de este planeta que entre todos lo hemos llevado a esta situación, y es tarea de todos disminuir el efecto que en ella generamos con nuestras actividades diarias.

Entre algunas de las formas para mitigar estos efectos tenemos:

### 5.1. POSIBLES SOLUCIONES PARA EL CALENTAMIENTO GLOBAL

5.1.1. **Fuentes de energía renovables.** Una gran solución para este problema sería cambiar la manera en que producimos electricidad.

5.1.1.1. **Usar energía eólica.** Ésta utiliza la fuerza del viento para generar electricidad, usando enormes molinos de unos 200 metros de alto por unos 80 de ancho (por las paletas).

**Ventajas:** No produce contaminación, el viento es muy fuerte y bueno en nuestro país, su valor no es el más barato, pero hay que pensar que una vez que se instalan no necesitan casi mantenimiento ni combustible, su bajo tiempo de producción y puesta en marcha (seis meses).



☒ *Desventajas:* Son muy grandes, afectan el paisaje, las casas se tienen que ubicar a por lo menos 300 metros de estos por el ruido que hacen y no generan una cantidad significativa de energía, pero se pueden poner en el mar y evitar algunas desventajas.

5.1.1.2. **Usar energía solar.** Ésta utiliza los rayos solares y los transforma en energía eléctrica. Son paneles rectangulares o cuadrados, pueden variar de tamaño.

☑ *Ventajas:* No son muy grandes, están totalmente aprobados científicamente, se pueden hacer plantas en el desierto, donde los rayos del sol son más fuertes, y ser transportada a las ciudades.

☒ *Desventaja:* Es que son muy caros, pero cuando sean más usados el precio seguramente bajará.

5.1.1.3. **Usar energía hidráulica.** Se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente de ríos, saltos de agua o mareas. Es un tipo de energía verde cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla, caso contrario es considerada sólo una forma de energía renovable.

Se puede transformar a muy diferentes escalas, existiendo desde hace siglos pequeñas explotaciones en las que la corriente de un río mueve un rotor de palas y genera un movimiento aplicado, por ejemplo, en molinos rurales.

☑ *Ventaja:* Es que se necesitan muy pocos materiales para armarla.

☒ *Desventaja:* es que se necesita estar cerca de un río que tenga un fluido de agua constante y con volumen considerable.

Pero no hay que confundir las cosas, las represas hidroeléctricas no son la solución, porque al estancar el agua ésta se pudre, matando a los peces.

**5.1.2. Energías alternativas para autos.** Los vehículos eléctricos podrían reducir notablemente la contaminación urbana y el efecto de invernadero en los próximos 10 años, y sentar las bases para un futuro sistema de transporte que apenas contamine. Es cierto que los automóviles de propulsión eléctrica son tan antiguos como los de motor de combustión, pero es ahora cuando una serie de desarrollos técnicos prometen conseguir que este medio de propulsión sea suficientemente eficaz y económico como para competir con la nafta y el gas-oil. En los vehículos eléctricos se incluyen no sólo los que se alimentan de baterías cargadas por la red eléctrica, sino también los que generan su propia electricidad o la almacenan en dispositivos distintos de las baterías. Su denominador común es un eficaz motor eléctrico que acciona las ruedas y extrae energía del movimiento del coche cuando la velocidad de éste disminuye. Por contra, los vehículos de motor de explosión utilizan un motor que funciona constantemente, cuya potencia se aprovecha a través de embragues y engranajes para mover las ruedas y excitar un generador que suministra energía eléctrica a los diversos accesorios del coche.

Por varias razones los vehículos eléctricos tienen mejor rendimiento (y por lo tanto contaminan menos) que los de combustible. Primero, porque el motor eléctrico gobierna directamente las ruedas y no consume energía cuando el coche está parado o se desplaza por inercia, con lo que su rendimiento eficaz aumenta en un quinto aproximadamente. Los sistemas de frenado regenerativo, que tornan en generador el motor cuando el coche aminora la marcha, pueden entregar hasta la mitad de la energía cinética del vehículo a células acumuladoras, lo cual es muy ventajoso en las arrancadas y paradas del tráfico de todos los días. Además, el motor eléctrico convierte en fuerza motriz más del 90% de la energía de sus células acumuladoras, mientras que las transmisiones de los motores de combustión interna aprovechan menos del 25% de la energía aportada por la

gasolina. Aunque dichas células suelen cargarse por generadores eléctricos cuyo rendimiento medio sólo llega al 33%, la propulsión eléctrica todavía aventaja en un 5% neto a la mecánica. Ciertas innovaciones como la generación con reciclaje (que extrae energía suplementaria del calor de los gases de escape de una planta de energía corriente) pronto permitirán elevar hasta un 50% el rendimiento de las centrales eléctricas que recargan las células acumuladoras. Este gran incremento aumentará proporcionalmente la parte de energía que, en última instancia, se entrega a las ruedas del vehículo eléctrico. La propulsión eléctrica aporta otras ventajas en cuanto a calidad del aire, puesto que desplaza los focos desde los que se dispersan los contaminantes. Los coches tradicionales despiden por el tubo de escape monóxido de carbono y otros agentes nocivos a lo largo de todo su recorrido. En cambio, la contaminación derivada de la generación de energía eléctrica suele concentrarse en unas pocas plantas alejadas de los núcleos urbanos. No obstante, la contaminación creada por la fabricación moderna de baterías y motores eléctricos es despreciable. Los vehículos híbridos recortan las emisiones casi tanto como los puramente eléctricos alimentados por baterías. Estos vehículos híbridos pueden llegar a ser preferibles en regiones donde la energía eléctrica se genera en plantas de carbón. Por supuesto, el impacto de los coches eléctricos sobre la limpieza del aire será máxima cuando la energía eléctrica se obtenga de fuentes no contaminantes: solares, eólicas, hidroeléctricas.

### 3. CREANDO MECANISMOS DE DEFENSA PARA LAS OBRAS EXISTENTES<sup>1</sup>



Protección natural de monumentos a los efectos de la lluvia ácida

Las bacterias del suelo podían blindar las esculturas de la piedra caliza de la lluvia ácida.

Noticia Nature del 28 de abril de 2003

Ciertas bacterias pueden ser obreros gratuitos protectores de los grandes monumentos

Las bacterias comunes del suelo podrían pronto proteger los monumentos de piedra contra los desmanes de la contaminación urbana.

El sulfuro en la lluvia ácida está disolviendo la superficie de las tallas de la piedra caliza y del mármol que adornan ciudades europeas.

“Se pierde el grano por grano de piedra – deseamos ensamblar y unir esos granos para que permanezcan juntos”, explica el minerólogo Carlos Rodríguez-Navarro de la Universidad de Granada en España.

Rodríguez-Navarro y sus colegas encontraron una bacteria llamada *Myxococcus xanthus*, que se encuentra en la mayoría de los jardines y parques. Esta bacteria exuda un mineral que sea casi idéntico a los gránulos de la piedra caliza y del mármol.

En pruebas de laboratorio agregaron los pedazos de edificios históricos españoles, incluyendo la catedral de Granada, a un caldo nutritivo que contenía

---

<sup>1</sup> <http://www.nature.com/nsu/030421/030421-13>

bacterias. Después de 30 días el microbio del suelo había penetrado la piedra caliza a una profundidad de la mitad del milímetro sin alterar sus poros. Las bacterias formaron una capa del carbonato —o “biomortar”— más fuerte que la misma piedra y más resistente al ataque ácido.

Rodríguez-Navarro prevé el uso de dos métodos para aplicar las bacterias a la piedra caliza. Uno sería rociando la escultura con una solución bacteriana. Alternativamente, una tela se podría impregnar con las bacterias y envolver alrededor de una estatua.

La piedra ornamental está cubierta comúnmente con resinas y sellantes para evitar que la lluvia ácida debilite y desuna sus granos. Pero estos repulsivos no se pueden utilizar en piedra porosa tal como la caliza.

“Se consigue que las gotas entren en los granos y tapen los poros”, explica la escultora-conservacionista Michele Marincola, del Centro de Conservación en el Instituto de Arte de Universidad de Nueva York. Tales obstrucciones evitan que la humedad atrapada se escape y puede hacer que la estatua se agriete cuando la temperatura cae bajo cero. El uso bacteriano “es una técnica experimental interesante”, dice Marincola, “tenemos mucha esperanza en que funcione”.

“Biomortars está comenzando a sustituir a más viejas soluciones”, dice Roberto Koestler, biólogo que trabaja en el Museo Metropolitano del Arte de la ciudad de Nueva York.

El equipo español ahora planea probar su cirugía estética microbiana en algunas estatuas de verdad, “queremos ser cautelosos”, dice Rodríguez-Navarro.

Tentativas anteriores en usar bacterias para reparar la piedra caliza han tapado los poros con limo o han dejado descolorida a la piedra original.

## BIBLIOGRAFÍA

GOEZ LABRADOR, Chrys Leidy. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LAS CIUDADES DE BUENOS AIRES, BOGOTÁ Y BILBAO (monografía) Universidad de Sucre. Trabajo de grado. 2004. 97p. Sin edit.

OLIVERO & GUTIÉRREZ. ASIGNATURA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL, MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES. SUE CARIBE. Conferencia sobre lluvia ácida. 2008.

RODRÍGUEZ-NAVARRO, C., *et al.* CONSERVATION OF ORNAMENTAL STONE BY MYXOCOCCUS XANTHUS-INDUCED CARBONATE BIOMINERALIZATION. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, 69, 2182 - 2193, (2003) Toda la información proviene de Nature:<http://www.nature.com/nsu/030421/030421-13>.

WARK, Kenneth y WARNER, Cecil F. CONTAMINACIÓN DEL AIRE, ORIGEN Y CONTROL. Limusa Editores, 1996.

---

Web site:

<http://detengamosestojuntos.blogspot.com>

[http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n\\_atmosf%C3%A9rica](http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica)

<http://www.nature.com/nsu/030421/030421-13>

[http://www.pvem.org.mx/web/index.php?option=com\\_content&task=view&id=239&Itemid=1](http://www.pvem.org.mx/web/index.php?option=com_content&task=view&id=239&Itemid=1)

[www.elpais.com/archivo/buscando.html?query=lalluviaacidaamenazaalbudamasaltodelmundo&donde=entos&idiomas=es](http://www.elpais.com/archivo/buscando.html?query=lalluviaacidaamenazaalbudamasaltodelmundo&donde=entos&idiomas=es)

[www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf2b.html#metales](http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf2b.html#metales)

[www.minambiente.gov.co](http://www.minambiente.gov.co)

[www.portalplanetasedna.com.ar/menu\\_futuro.html](http://www.portalplanetasedna.com.ar/menu_futuro.html)