

119
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Modelo experimental en ratón para determinar las diferencias por sexo, en la respuesta tisular pulmonar por inhalación aguda de acetato de plomo.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

PRE S E N T A :

SANDRA GUILBERMINA MONCADA HERNÁNDEZ



FACULTAD DE CIENCIAS UNAM

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

MÉXICO, D.F.

1994



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
División de Estudios
Profesionales
Exp. Núm. 55



M. EN C. VIRGINIA ABRIN BATULE
Jefe de la División de Estudios Profesionales
P r e s e n t e .

Me permito solicitar a Usted que los profesores que a continuación se mencionan, integren el Jurado que revise el trabajo de tesis intitulado: MODELO EXPERIMENTAL EN RATON PARA DETERMINAR LAS DIFERENCIAS, POR SEXO, EN LA RESPUESTA TISULAR PULMONAR, POR INHALACION AGUDA DE ACETATO DE PLOMO.

Elaborado por el (la) pasante SANDRA GUILLERMINA MONCADA HERNANDEZ con número de cuenta 8325399-5 de la carrera de Biología.

1.- Como norma interna de la Facultad, se autoriza que de los cinco - sinodales que integrarán el Examen Profesional, de menos cuatro - deberán ser profesores que estén impartiendo clases en la Facultad.

GRADO	NOMBRE(S)	APELLIDOS COMPLETOS	FIRMA
M. en C.	Teresa Imelda	Fortoul van der Goes	<i>[Firma]</i>
Director de Tesis	M. C.	Silvia Antuna Bizarro	<i>[Firma]</i>
M. en C.	Patricia Rivas	Manzano	<i>[Firma]</i>
(Esp) Biol.	María del Rocío	Salgado Cuevas	<i>[Firma]</i>
Suplente	Dra.	Maricela Villagran Santa Cruz	<i>[Firma]</i>
Suplente			

FACULTAD DE CIENCIAS
El aceptar integrar el Jurado implica por parte de los profesores el compromiso de revisar dicho trabajo y emitir su opinión sobre la tesis.

[Firma]
COORDINADOR GENERAL MARTINEZ MENA
COORDINADOR DEPTO. DE BIOLOGIA

[Firma]
FIRMA DEL INTERESADO
Sandra Guillermina Moncada Hernandez

AGRADECIMIENTOS

**CON RESPETO Y ADMIRACION A LA
DRA. TERESA I. FORTOUL VAN DER GOES
POR SU EXCELENTE ASESORÍA.**

**A LA
LIC. LAURA ORTEGA CARRASCO
POR SU VALIOSA COOPERACIÓN Y APOYO EN LA REALIZACION DE
ESTE TRABAJO.**

**A LOS DRES. SILVIA ANTUNA Y ADRIÁN RONDÁN POR SU
COLABORACIÓN EN LA REALIZACIÓN DEL PROCESO TÉCNICO.**

A LOS SINODALES:

BIOL. ROCÍO SALGADO CUEVAS .

M. EN C. PATRICIA RIVAS MANZANO

DRA. MARISELA VILLAGRÁN SANTA CRUZ

**AL DR. ALFONSO CARABEZ TREJO
JEFE DEL DPTO. DE BIOLOGIA CELULAR Y TISULAR
FACULTAD DE MEDICINA, UNAM**

**EN GENERAL A TODO EL PERSONAL DE LA HEMEROBIBLIOTECA
"J. J. IZQUIERDO" DE LA FACULTAD DE MEDICINA.**

**ESPECIALMENTE
AL LIC. EGBERT SANCHEZ VAN DER KAST
A LA M.C. LUCIA AVILÉS JAIMÉS**

**A LOS TÉCNICOS DE FOTOGRAFÍA.
TOMÁS CRUZ MÉNDEZ Y FRANCISCO GERARDO PASOS NÁJERA.**

**AL PERSONAL DEL BIOTERIO DE LA FAC. DE MEDICINA
M.V.Z. ENRIQUE PINZÓN ESTRADA
M.V.Z. ESMANUEL TORRES SALDAÑA
M.V.Z. VICTOR MANUEL SALGADO ALFARO**

**A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
QUE DESDE EL NIVEL MEDIO SUPERIOR
ME ACOGIÓ EN EL SENO DEL SABER CON
LIBERTAD DECIDIDA.**

DEDICATORIAS

**CON TODO MI AMOR A MI HIJA
ITZEL ARIANA POR SERLO**

Y

**A HUMBERTO
POR TU APOYO, TU COMPRESIÓN,
TU AYUDA EN LA ELABORACIÓN DEL TRABAJO,
POR TU COMPAÑÍA EN TODOS LOS MOMENTOS
MÁS TRASCENDENTALES DE MI VIDA,
PERO SOBRE TODO POR TU AMOR**

A TERE FORTOUL

**POR TU APOYO,
TUS VALIOSOS CONSEJOS
TU GRAN AMISTAD
Y TU AYUDA INCONDICIONAL
QUE LOGRARON EN MÍ
LA SUPERACION ACADÉMICA,
DESARROLLO PERSONAL,
PERO SOBRE TODO LOS ÉXITOS
QUE JUNTO A TÍ HE LOGRADO**

CON CARIÑO Y RESPETO A MIS PAPÁS

MARÍA ROSA Y LEÓN

**POR SU AMOR, POR SUS ENSEÑANZAS,
POR EL ESFUERZO DE TANTOS AÑOS DE LUCHA
Y
POR SU INFINITA COMPRENSIÓN.**

A MIS HERMANOS:

**ROSA, JUAN (q. d. en p.), GEMMA, LEÓN, GUSTAVO,
ALEJANDRO, BERENICE Y BRENDA.
POR SU APOYO, SU CARIÑO Y SU ALEGRÍA**

A MIS SOBRINOS

Gemma Sigrid, Paloma, León, Andrea y Astrid.

A MIS CUÑADOS

Gabriel y Patricia

A LA FAMILIA HERNÁNDEZ CORREA

Y MUY ESPECIALMENTE A MIS AMIGOS:

**Verónica Custodio, Nohemí Ávila, Sonia Sayavedra,
Gloria Mercado, Manuel Miranda, Andrés Nani,
Irma López, Ivonne Sánchez, Rosa Luz,
Mariana Rosas, Amado, Alejandro,
y a todos los demás.**

ÍNDICE

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN

I.1 CONTAMINACIÓN (GENERALIDADES)	1
I.2 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	2
I.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ATMÓSFERA	2
I.2.2 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	4
I.2.3 FUENTES PRINCIPALES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y DAÑOS A LA SALUD	8
I.3 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN MÉXICO	11
I.3.1 CONDICIONES AMBIENTALES DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO (ZMCM)	11
I.3.2 REGISTROS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DE LA ZMCM	13
I.3.2.1 PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES	16
I.3.3 METALES PESADOS	18
I.4 PLOMO (GENERALIDADES)	18
I.4.1 FUENTES DE EXPOSICIÓN AL PLOMO	19
I.4.1.1 FUENTES DE PLOMO MÓVILES Y FIJAS	20
I.4.2 MONITOREO ATMOSFÉRICO DE PLOMO	22
I.4.3 EFECTOS EN LA SALUD	24
I.4.3.1 EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN AL PLOMO	26
I.4.3.2 TOXICOCINÉTICA Y TOXICODINAMIA DEL PLOMO	27
I.4.3.3 GASTROINTESTINAL	28
I.4.3.4 SISTEMA HEMATOPOYÉTICO	30
I.4.3.5 SISTEMA NERVIOSO	31
I.4.3.6 SISTEMA ÓSEO	32
I.4.3.7 APARATO URINARIO (RENAL)	32
I.4.3.8 APARATO REPRODUCTOR	32
I.4.3.9 APARATO RESPIRATORIO	33
I.5 APARATO RESPIRATORIO (GENERALIDADES)	35
I.5.1 POBLACIÓN CELULAR	37
I.5.1.1 BRONQUIOLO	37
I.5.1.2 ALVÉOLOS	39
I.5.2 MECANISMOS DE DEFENSA DEL PULMÓN	39

JUSTIFICACIÓN	40
OBJETIVO GENERAL	40
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	40
II. MÉTODO	41
II.1 TRATAMIENTO	41
II.2 PREPARACIÓN DE TEJIDOS	44
II.2.1 MICROSCOPIO ÓPTICO (LUZ)	44
II.2.2 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	44
II.3 TÉCNICA DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	44
III. RESULTADOS	46
III.1 GENERALIDADES	46
III.2 MICROSCOPIA DE LUZ (OBSERVACIONES)	46
III.3 OBSERVACIÓN DE TEJIDO PULMONAR (ALVÉOLO Y BRONQUIOLO) EN MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	46
III.3.1 ALVÉOLO	46
III.3.2 BRONQUIOLO	47
III.4 CUANTIFICACIÓN DE PLOMO EN TEJIDO PULMONAR	58
IV. DISCUSIÓN	61
V. CONCLUSIONES	66
VI. BIBLIOGRAFÍA	67

RESUMEN

Los efectos adversos de la contaminación ocurren porque dichas sustancias no pueden eliminarse de manera eficaz del sistema, excediendo de esta manera el nivel básico o porque sólo interactúan entre sí, el resultado es una acumulación excesiva que rompe el equilibrio del medio.

Todavía no se conocen los efectos que a largo plazo tendrá la contaminación atmosférica sobre las formas de vida.

La Ciudad de México presenta una problemática ambiental muy extensa, siendo una de las ciudades más grandes y más contaminadas del planeta, además presenta características particulares entre sus habitantes como, la estructura socioeconómica, la dieta, las condiciones de vivienda y las condiciones geográficas.

Diferentes tipos de contaminantes agreden la salud de la población, como son los metales pesados que tienen diversas fuentes de emisión: las industrias y los autotransportes.

En México se sobrepasa constantemente la norma de la calidad del aire para plomo ($1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), por lo que la población está expuesta continuamente a valores muy altos de la concentración de plomo y principalmente en el aparato respiratorio.

OBJETIVO: Identificar las diferencias entre sexos, en la respuesta al daño tisular pulmonar con inhalación aguda de acetato de plomo, modelo experimental en ratón. Así como cuantificar plomo en el tejido pulmonar y comparar las diferencias entre sexos.

MÉTODO: Se utilizó un modelo experimental en ratón, hembras y machos fueron sometidos a inhalaciones de acetato de plomo 0.1 M durante dos semanas cada tercer día, se tomaron muestras durante y después de las inhalaciones, así como a grupos control. Se procesaron los tejidos para su observación en Microscopía Electrónica de Barrido y para Espectrofotometría de Absorción Atómica.

RESULTADOS. El mayor daño se presentó en bronquiolo no respiratorio, los machos al final de las inhalaciones, presentando lisis celular generalizada, la concentración de plomo para este grupo fue de $205.48 \mu\text{g}/\text{g}$ de tejido seco, mientras que para las hembras los daños fueron hiperplasia e hipertrofia de la célula bronquiolar no ciliada, así como disminución de cilios, ambos generalizados, la concentración en hembras fue de $253.10 \mu\text{g}/\text{g}$ de tejido seco, para los grupos control: hembras $19.31 \mu\text{g}/\text{g}$ de tejido seco y machos $8.12 \mu\text{g}/\text{g}$ de tejido seco.

CONCLUSIONES. Existieron diferencias morfológicas con respecto a la respuesta tisular pulmonar entre sexos, así como diferencias significativamente estadísticas en la concentración de plomo obtenida para cada grupo experimental. No parece existir una correlación directa entre la cantidad de plomo en el tejido y las alteraciones morfológicas que se presentaron en bronquiolo terminal, como respuesta al daño.

Las hembras son menos susceptibles al daño, pero captan más plomo en el tejido que los machos.

Es urgente reconocer los factores involucrados que ocasionan los problemas de salud en una población expuesta a los contaminantes atmosféricos.

I. INTRODUCCIÓN

I.1. CONTAMINACIÓN (GENERALIDADES)

El "malestar" del ambiente producido por la contaminación, ha sido sin duda, uno de los problemas más difíciles y preocupantes con los que el hombre se ha enfrentado, debido a que está modificando el equilibrio de su entorno.

Desde la Revolución Industrial se introdujo el carbón dando origen a la máquina de vapor como fuerza motriz del proceso de producción. Posteriormente, en el último cuarto del siglo XIX, se introdujo el petróleo y la electricidad para incorporar a las actividades productivas el motor eléctrico y el de combustión interna. Finalmente, durante las décadas de los 70 y 80, se agregaron elementos tecnológicos avanzados como la electrónica, la robótica y la fisión nuclear, entre otras.

El *ambiente* es sinónimo de medio o de entorno, entendido este en su sentido más amplio, ya que engloba en su concepción todas las formas de existencia. El ambiente total es uno, pero admite la existencia de ambientes específicos unidos entre sí por relaciones sistemáticas que hacen posible considerarlo como un todo. Es así como los fenómenos o acontecimientos locales alcanzan de una u otra manera, con tal o cual intensidad, a todos los integrantes del ambiente total.

Los ecosistemas se caracterizan por una multiplicidad de mecanismos en sus estructuras organizativas de las especies con respecto a su ambiente.

La energía constituye el elemento que dinamiza al ecosistema. Las interacciones que se producen en él son el resultado de intercambios materiales y energéticos entre los distintos factores involucrados (captación, transformación, circulación y acumulación de energía, en cada uno de los eslabones tróficos).

El intercambio de materia y energía es el nexo natural entre el mundo viviente y el mundo inorgánico, dentro de la totalidad ambiental.

El poner de manifiesto esta compleja realidad permite comprender que el ambiente no es un conjunto de elementos sino una red de complejas relaciones (factores abióticos, bióticos y socioculturales, que interactúan sistemáticamente mediante flujos de energía, materia e información). A lo largo de la historia se ha dejado de lado este hecho y las actividades humanas han provocado y continúan provocando en gran medida los problemas ambientales a los que nos enfrentamos.

La degradación del mundo se ha convertido en uno de los fenómenos esenciales de nuestra civilización, por lo que el aire, el agua y el suelo se han convertido en vertederos de desperdicios, en consecuencia el mundo es ahora el gran "basurero" del hombre.

La complejidad de factores que intervienen en la génesis de la problemática ambiental hacen que esta sea concebida como el resultado final de la articulación de un conjunto de procesos naturales y sociales.

La liberación hacia el ambiente de un gran número de sustancias químicas, sintéticas y naturales cuyas interacciones y efectos adversos sobre el mismo así como

sobre los seres vivos, van alterando y contrarrestando las características propias del planeta.

Los efectos adversos de la contaminación ocurren porque dichas sustancias no pueden eliminarse de manera eficaz del sistema, excediendo de esta manera el nivel básico o porque sólo pasan de un sistema a otro, el resultado es una acumulación excesiva que rompe el equilibrio del medio (Albert, 1990).

Los efectos de la contaminación ambiental son innumerables ya que cada macro y micro ambiente tiene características tan específicas que determinan diversos efectos, por el tiempo de exposición, el tipo de contaminante, las condiciones físicas, fisiológicas y geográficas, entre otras, de la población, inclusive edad y sexo.

Las definiciones del término "contaminación" son muchas y variadas, sin embargo se puede entender como una alteración que tiene efectos adversos sobre el planeta.

La exposición a los contaminantes existe intra y extramuros, ha ido en aumento la preocupación por los contaminantes intramuros ya que hay una gran cantidad de productos que se usan en interiores y que se van acumulando creando un ambiente adverso. Un ejemplo de ello son los óxidos de nitrógeno (NOx) que se desprenden de la combustión del gas metano utilizado en los hogares (Favez, 1986).

El deterioro ambiental ha acarreado una serie de consecuencias desfavorables, tales como:

- La degradación de los suelos
- La contaminación atmosférica
- La contaminación de las aguas continentales y oceánicas
- La contaminación acústica
- La contaminación de los alimentos
- La contaminación radioactiva
- La alteración de los diversos ecosistemas
- El incremento de diversos daños a la salud relacionada con el deterioro ambiental.

En resumen, se puede afirmar que la problemática ambiental constituye una de las unidades de estudio más complejas a las que el hombre se tiene que enfrentar para resolver, para ello es necesario agrupar conocimientos multidisciplinarios que den solución a los problemas ambientales, así como establecer una relación entre la actividad productiva del hombre y sus recursos naturales.

I.2 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

I.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ATMÓSFERA

La atmósfera de la Tierra es el residuo de la materia gaseosa primitiva, parte de la cual se enfrió para formar la tierra y el mar. La atmósfera natural consta de aproximadamente 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno, 1% de argón y otros gases, ligeras trazas de bióxido de oxígeno, vapor de agua, que es un constituyente variable, y polvo atmosférico, que también varía en cantidad y contenido, está formado por partículas de polvo de origen principalmente terrestre: residuos de combustión (humo),

gotitas de agua, esporas, bacterias, etc. (García, 1986; Lerner, 1987). La cantidad de este polvo atmosférico disminuye rápidamente con la altura (TABLA 1).

La atmósfera esta constituida por cinco capas:

- 1) *Troposfera* abarca desde el nivel del mar de 11 Km. hasta aproximadamente 17 Km.; es la capa en la que ocurren los fenómenos meteorológicos: vientos, corrientes verticales de aire, condensación de vapor de agua, precipitación, etc., la compone casi la totalidad de vapor de agua. Contiene el 90% de la masa total de la atmósfera de la cual el 50% se concentra en los primeros 5 ó 6 Km. de altura. La temperatura disminuye con la altitud.
- 2) *Tropopausa* es la zona de transición entre la troposfera y la estratosfera, se encuentra a una altura de los 11-17 Km.
- 3) *Estratosfera* se encuentra de los 11 ó 17 Km. hasta los 80 Km. de altura, la temperatura de las capas más bajas es constante y en ellas no hay nubes ni movimientos de aire. De los 25 a 50 Km. es donde la capa de ozono esta en su máxima concentración, la temperatura aumenta de 60° a 70° C. Entre los 60 y 80 Km. se efectúa la ionización del ozono.
- 4) *Mesopausa* es la transición entre la estratosfera y la ionosfera, se sitúa entre 80 y 85 Km. de altura.
- 5) *Ionosfera* se localiza de los 80 Km. al límite superior de la atmósfera. La temperatura aumenta con la altura debido al calor sustraído de los rayos solares en los procesos de ionización (García, 1986).

TABLA 1: MASA DE LA ATMÓSFERA Y SUS COMPONENTES

SUSTANCIA	AIRE SECO (PORCENTAJE)	MASA TOTAL (Kg x 10 ⁶)
ATMÓSFERA TOTAL		51 300 000
AIRE SECO	100,00	51 170 000
NITRÓGENO	78,09	38 648 000
OXIGENO	20,95	11 841 000
ARGÓN	0,93	655 000
VAPOR DE AGUA	-	130 000
DIÓXIDO DE CARBONO	0,03	23 320
NEÓN	0,0018	636
KRIPTÓN	0,0001	146
HELIO	0,00053	37
OZONO	-	30
XENÓN	0,000008	18
HIDROGENO	0,0000005	2

FUENTE: LERNER RG, 1987

Este estrato lo forman varias capas de máxima ionización conductoras de electricidad, la parte más alta de la ionosfera se conoce como exosfera (**FIGURA 1**).

Cuando la composición de los elementos es alterada (por aumento, disminución o por adición de otros elementos) existe una atmósfera alterada.

En 1984 la American Public Health Association de EUA definió como contaminación atmosférica la presencia en la atmósfera extramuros de uno o más contaminantes en tales cantidades o de tal duración que resulten perjudiciales para el hombre, los animales, las plantas o el curso normal de las actividades humanas. Se refiere por lo tanto, al hecho de alterar la composición natural del aire con elementos, sustancias o materiales extraños.

Se entiende por contaminación atmosférica **"la presencia en el aire de toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas que al incorporarse o actuar en la atmósfera modifica su composición"** (Suárez, 1991).

A través del desarrollo tecnológico el hombre ha creado diferentes metodologías y herramientas para hacer más eficiente el trabajo, sin embargo ha transformado de manera drástica algunos recursos vitales para su supervivencia, como océanos, bosques, atmósfera, entre otros.

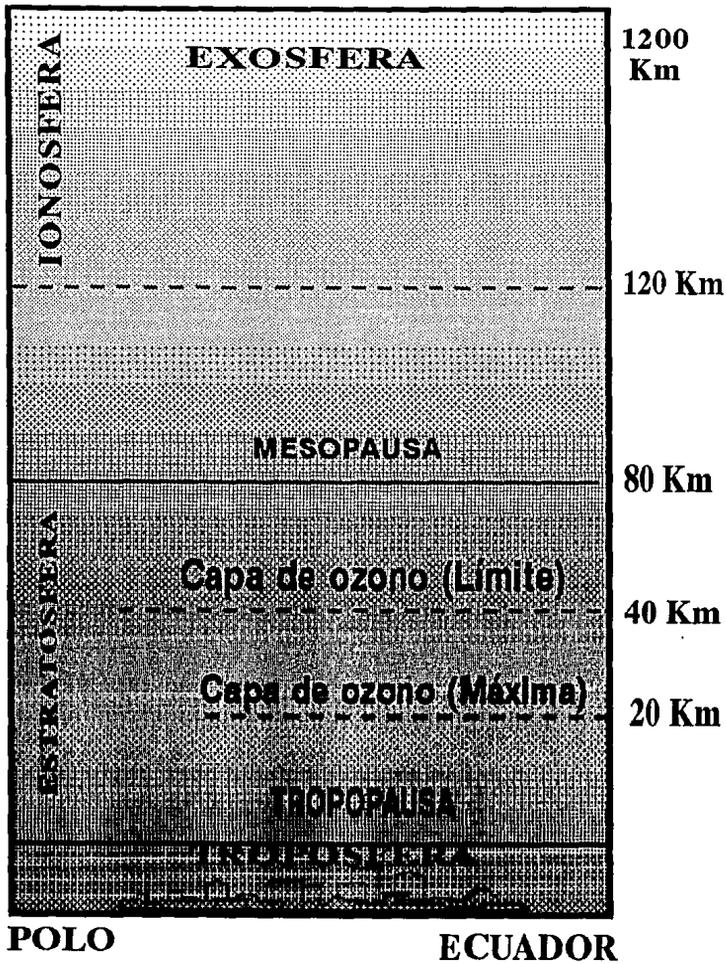
Con el empleo de combustibles fósiles se desarrollaron grandes industrias (automotriz, de maquinaria pesada, etc.) por lo que la emisión de contaminantes atmosféricos se incrementó.

Las principales fuentes de contaminación se asocian a la utilización de un combustible fósil, las fuentes de emisión se pueden clasificar en:

- 1) Actividades de combustión en industrias
- 2) Actividades de combustión doméstica y de oficinas
- 3) Actividades de combustión por vehículos automotores de combustión interna
- 4) Actividades de combustión originada por la incineración de desechos.

1.2.2 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Todavía no se sabe a ciencia cierta, qué efectos a largo plazo tendrá la contaminación atmosférica sobre las formas de vida del planeta. Sin embargo ya se conocen una serie de efectos a corto plazo que puede sintetizarse en los siguientes puntos:



FUENTE: GARCIA DE MIRANDA, 1986

Figura 1. Las capas de la atmósfera

a) Efectos en la química atmosférica

Las modificaciones químicas que está sufriendo la atmósfera se derivan de la utilización de distintas fuentes de energía en las actividades humanas y el uso de tecnologías industriales, agrícolas y ganaderas. Así como los combustibles de todo tipo que liberan bióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos (HC), humos y otras partículas en suspensión denominadas polvos. A éstos, se suman los contaminantes domésticos producidos por algunos aparatos de calefacción y por cocinas de gas, que liberan NO_2 (Favez, 1986).

El SO_2 , procedente esencialmente de las casas, es evacuado por las chimeneas, a cierta altura, en tanto que el CO y los NOx se emiten al ras del suelo, en una proporción del 80% por el tráfico automovilístico. Estos desprendimientos constituyen los contaminantes primarios. Los contaminantes secundarios se deben a la transformación química en la atmósfera del SO_2 y de NOx , sobre todo. El "smog" ácido proviene de la oxidación del SO_2 por la humedad del aire, que lo transforma en ácido sulfúrico (H_2SO_4). El "smog" fotoquímico se produce cuando los rayos ultravioleta que proyecta el sol sobre la niebla estacionaria, actúa sobre el NO_2 liberando oxígeno atómico, radicales orgánicos y ozono (O_3), de donde surge el nitrato de peroxiacetilo (PAN), contaminante muy corrosivo (Favez, 1986).

Dichas transformaciones, en general, actúan de manera conjunta cambiando la composición química de la atmósfera, y ésta a su vez tiene otras consecuencias.

b) Destrucción de la capa estratosférica de ozono

El aumento de emisiones de CO_2 a la atmósfera es el más importante de los gases con "EFECTO DE INVERNADERO", ya que se calcula que poco más del 65% del total de este efecto se debe al bióxido de carbono. Otros gases presentes en la atmósfera, en menores concentraciones son el metano (CH_4) que aporta un 11%, los hidrocarburos clorofluorados (HFC) con un aporte del 11% y el óxido nitroso (N_2O) con el 4% (Masera, 1991).

Las emisiones de hidrocarburos clorofluorados (HFC), a la atmósfera, se han relacionado con la destrucción de la capa estratosférica de ozono. Esta capa se localiza de 15-25 Km. por encima de la Tierra, actúa como un filtro gigante que la protege contra algunas de las radiaciones ultravioletas potencialmente nocivas.

Los HFC liberados en la atmósfera ascienden a la estratosfera donde se descomponen liberando cloro, y mediante una serie de reacciones este ataca al O_3 . Se calcula que por cada 1% de agotamiento del ozono en la estratosfera hay un incremento del 2% en la cantidad de radiación ultravioleta (RUV) que alcanza la

superficie terrestre (Manahan, 1984). El aumento de RUV tiene consecuencias negativas severas sobre el ambiente.

El exceso de radiaciones se refleja en algunas formas de cáncer de la piel, ataca al sistema inmunológico, así como a algunos cultivos y formas de vida acuáticas. (Favez, 1986).

c) Alteraciones Climatológicas

La propiedad de ciertos gases de la atmósfera de actuar como una trampa para parte de la radiación infrarroja emitida en la superficie terrestre ("EFECTO DE INVERNADERO"), ha sido reconocida como un elemento esencial para el mantenimiento de la temperatura adecuada para el desarrollo de la vida en la superficie del planeta. El más conocido de los gases de invernadero es el CO_2 , pero también otros gases presentes en menores concentraciones son importantes, el CH_4 , el N_2O , los HFC, el O_3 y el CO, tienen la misma propiedad. Las concentraciones de estos gases en la atmósfera dependen de un delicado equilibrio entre las emisiones, el tiempo de residencia y su absorción dentro de la biosfera (Maser, 1991).

Los modelos de simulación del clima mundial estiman un aumento en la temperatura de entre 1.5° y 4.5° C, como resultado de las emisiones de CO_2 . Este continuo incremento de la concentración de gases con efecto de invernadero en la atmósfera aumentará la temperatura de manera considerable con lógicas consecuencias graves para todas las formas de vida del planeta.

Los efectos más importantes debido al aumento de la temperatura media superficial de la Tierra de entre $1,5$ y 6° C serían:

- Cambios en los patrones de precipitación pluvial mundial, con diferencias significativas en el plano regional
- El clima más cálido y húmedo podría traer como consecuencia un incremento en los desiertos y pastizales.
- Elevación en el nivel del mar de 0,2 a 1,5 metros, tanto por expansión térmica en los océanos como por el derretimiento de glaciares en las montañas y de parte de la capa de hielo en Groenlandia.
- Mayor incidencia de condiciones climatológicas extremas como huracanes, inundaciones de las zonas costeras y mayor fluctuación de las corrientes fluviales (Bolaños, 1990 en Rivero, 1993).
- Cambios en la humedad del suelo, al aumentar la evaporación del agua. (IPCC, 1990). La temperatura de la superficie terrestre o de la atmósfera depende de la cantidad de radiación solar que esta *absorbe*, en tanto que la reflejada se "pierde" efectivamente.

Una mayor reflexión significa una Tierra más fría y, una mayor absorción, una Tierra más caliente (Turk, 1976).

d) Amenaza a la flora y la fauna de los continentes y mares (Biodiversidad)

Las alteraciones antes mencionadas tendrán un efecto directo sobre los seres vivos como lo es en la biodiversidad, la pérdida de esta es una de las manifestaciones más importantes del cambio global ya que es totalmente irreversible, más de la mitad de las especies del planeta habitan selvas tropicales, las cuales se están reduciendo a un 55% de su área original con ritmo acelerado de destrucción (Rivero, 1993; Halffter, 1992).

1.2.3 FUENTES PRINCIPALES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y DAÑOS A LA SALUD

La presencia en el aire de contaminantes tiene muchos efectos nocivos, como se ha mencionado, sin embargo también es importante conocer las fuentes que los originan. En ocasiones un cierto contaminante tiene relevancia sobre los demás y es característico de una ciudad, ya sea todo el año o parte de este.

Por ejemplo las partículas de polvo en suspensión, son debidas a vientos turbulentos de finales de la estación seca que levantan cortinas de polvo que se abaten sobre las áreas urbanas (Chihuahua y la Ciudad de México), esta contaminación tiene una duración variable (de horas a varios días) y cesa una vez que se reduce la intensidad de las corrientes turbulentas que elevaron los polvos.

En el **CUADRO 1** se muestran algunos de los contaminantes atmosféricos y su fuente antropogénica. Es importante mencionar que existe aporte natural de estos elementos al ambiente.

La degradación del entorno biológico y la subsecuente alteración del ambiente han influido de manera considerable en el bienestar del hombre y de las especies en general, sin embargo es poco el conocimiento que existe sobre los efectos que estas alteraciones pueden ocasionar en la salud.

Las sustancias químicas, fibras, hidrocarburos, metales, polvos, humos y otros agentes han sido incriminados en causar alveolitis, bronquitis, asma, enfisema, cáncer y fibrosis. Esta información debe ser sistemáticamente aprovechada para generar políticas de salud más acertadas ante exposiciones *accidentales, intermitentes, episódicas, o continuas* (Cano-Valle, 1991)

El aporte de contaminantes intramuros se muestra en el **CUADRO 2**, en donde se puede apreciar la fuente principal de emisión.

CUADRO 1: CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: FUENTES ANTROPOGÉNICAS Y EFECTOS EN LA SALUD

CONTAMINANTE ATMOSFÉRICO	FUENTES ANTROPOGÉNICAS	PRINCIPALES EFECTOS EN LA SALUD
MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	<ul style="list-style-type: none"> - Combustión de vehículos automotores - Industria 	<p>Afecta al sistema nervioso central. Causa fatiga dolor de cabeza somnolencia, cambios funcionales cardíacos.</p> <p>Reduce la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre, puede producir inconsciencia y hasta la muerte.</p>
DÍOXIDO DE CARBONO (CO₂)	<ul style="list-style-type: none"> - Combustión de carbón, petróleo y gas natural (metano) 	<p>Constituye un contaminante primario, es un compuesto que no afecta a la salud, pero contribuye a la formación de contaminantes secundarios, que sí tienen importancia en muchos niveles</p>
ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)	<ul style="list-style-type: none"> - Combustión de vehículos automotores - Combustión de carbón - Industrial - Plantas de energía eléctrica 	<p>Desde irritación moderada a congestión pulmonar, inclusive la muerte.</p> <p>Contribuye a causar enfermedades respiratorias crónicas. Agravando enfermedades cardiovasculares y respiratorias.</p> <p>Inhibe la acción de los cilios en las vías respiratorias, penetrando en los pulmones.</p> <p>Afecta significativamente la visibilidad, es causa del llamado "smog".</p>
ÓXIDOS DE AZUFRE (SO_x)	<ul style="list-style-type: none"> - Combustión de petróleo, aceite y carbón - Industria (Metalurgia y Termoeléctrica) 	<p>Boca seca, irritación en los ojos y garganta.</p> <p>Causa constricción en el tórax, dolor de cabeza, vómito y hasta la muerte por ataque respiratorio.</p> <p>Agrava enfisema, bronquitis y asma.</p> <p>En general, irrita la parte alta de las vías respiratorias.</p>
HIDROCARBUROS (FLUORURO DE HIDROGENO, SULFURO DE HIDROGENO, ETC.)	<ul style="list-style-type: none"> - Combustión en general - Escapes de automóviles - Refinería de petróleo e industria química - Industria (vidrio, aluminio, fertilizantes) 	<p>Inflamación y daño a todas las vías de exposición del cuerpo (tracto respiratorio, piel, ojos, etc.).</p> <p>Nausea, irritación de ojos y garganta.</p> <p>Olor desagradable.</p>
OZONO (O₃)	<ul style="list-style-type: none"> - Contaminante secundario que se forma en la atmósfera por interacción de NO_x e hidrocarburos (HFC) principalmente, en presencia de radiación ultravioleta. 	<p>Irritación respiratoria, causa fatiga y disminuye la agudeza visual, así como la capacidad de concentración.</p> <p>En general es muy tóxico, puede producir retraso mental inclusive.</p>
PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Incineradores - Tolvaneras y otros fenómenos físicos y químicos - Cenizas, hollín, partículas de tabaco. - Partículas de metales de diversas fuentes (Cd, Ni, Pb, etc.) 	<p>Son múltiples los efectos que las partículas pueden causar en las vías respiratorias, así como en otros sistemas del cuerpo.</p> <p>Irritación en los ojos, y algunas veces cáncer.</p>

CUADRO 2: FUENTES Y TIPOS DE CONTAMINANTES INTRAMUROS

FUENTE	TIPOS DE CONTAMINANTES
COMBUSTIÓN	CO, CO ₂ , NO _x , SO _x , HIDROCARBUROS, VAPORES Y PARTÍCULAS ORGÁNICAS, METALES, MERCAPTANOS, FORMALDEHÍDO, ACROLEINA, ACROLEINA.
COMBUSTIÓN DE TABACO	CO, CO ₂ , NO _x , HCN, NITROSAMINAS, BENZO PIRENOS, PARTÍCULAS, BENCENO, FORMALDEHÍDO, NICOTINA.
LIMPIADORES Y SOLVENTES	XILENO, N-DODECANO, UNDECANO, CLOROFORMO, FORMALDEHÍDO.
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (PAREDES DE EDIFICIOS CONSTRUIDAS ANTES DE LOS 50'S)	LOS SUELOS DE VINILO Y EL CEMENTO LIBERAN FIBRAS DE ASBESTOS (CRISOLITAS, CROSIDOLITA, AMOSITA, ETC.)
PRODUCTOS PARA EL CUIDADO PERSONAL	METILCLOROFORMO, TETRAOETILENO, BENCENO
EQUIPO ELÉCTRICO	CLOROFORMO, ETILBENCENO, TRICLOROETANO
TAPICES, ALFOMBRAS, MUEBLES	CLOROFORMO, FORMALDEHÍDO, XILENO, TRICLOROBENCENO, METILCLOROFORMO
INSECTICIDAS	N-DECANO, XILENO, 1,1,1, TETRAOETANO
AGENTES BIOLÓGICOS	POLENES, BACTERIAS, VIRUS, HONGOS, PARÁSITOS, EXCRETAS

FUENTE: Rivero, 1993

I.3 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN MÉXICO

La Ciudad de México constituye un vasto tema de estudio en cuanto a los problemas urbanos y sus consecuencias. En sólo 90 años se ha transformado notablemente, a principios del siglo tenía únicamente 540 000 habitantes.

A partir de la década de los 60's, se han presentado una gran cantidad de movimientos migratorios en México, esto ha determinado la sobrepoblación en ciertas áreas urbanas. Se considera a la ciudad de México como la más densamente poblada del mundo: 19.37 millones de habitantes en el área metropolitana en 1992, con una superficie total de 1483 Km², lo que implica 12,140 habitantes por Km² (Jauregui, 1990).

Las características de la ciudad determinan ciertas particularidades entre sus habitantes: la altitud establece ciertas diferencias en la fisiología respiratoria; la estructura socioeconómica condiciona la educación, la dieta y las condiciones de vivienda.

En la ciudad de México existe una heterogeneidad muy notoria en cuanto a la distribución de sus actividades socioeconómicas y de población. Las áreas altamente industrializadas se localizan al Norte de la ciudad, especialmente en el área de Naucalpan -Vallejo - Tlalnepantla, Estado de México, en donde además no existen o hay muy pocas áreas verdes. Esta es una de las zonas más contaminadas de la ciudad por partículas, tales como dióxido de azufre y plomo. Por otro lado, en el Sur y Oeste de la ciudad se encuentran la mayor concentración de áreas verdes, con muy pocas industrias.

Es importante conocer las características generales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, sus actividades tales como la vehicular, la industrial, la fabril, así como sus factores geográficos, climatológicos y meteorológicos a los que está sujeta, ya que éstos determinan directamente la dinámica de los contaminantes.

I.3.1 CONDICIONES AMBIENTALES DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

La ciudad de México conurbada en extensión con algunos municipios del Estado de México, constituye la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), la cual se localiza en una cuenca cerrada a 19°35' de latitud norte, 99°40' de longitud oeste, y a una altitud de 2 240 m.s.n.m. Se encuentra rodeada de montañas, lo que propicia una circulación de vientos provenientes del noroeste-noreste. (Bravo, 1991)

Esta zona presenta características muy particulares, ya que la cuenca endorréica esta rodeada por cadenas montañosas con altitudes medias de 600-800 m, la ciudad se encuentra en la parte Suroeste de dicha cuenca, en donde las montañas presentan una mayor altitud.

El régimen climático de la zona puede dividirse en dos estaciones principalmente:

- a) SECAS (de noviembre a abril)
- b) LLUVIAS (de mayo a octubre)

Durante la época de secas la ciudad esta sujeta a condiciones anticiclónicas que determinan cielos despejados y días soleados. El resto del año, predomina el sistema de vientos Alisios asociados con las lluvias.

La estación más cálida se presenta al final de la estación de secas, las temperaturas máximas alcanzan hasta 30° C.

Durante la estación de secas, los límites NE de la ciudad tienen características semiáridas; el lecho arcilloso que se presenta en esta zona es más fácilmente erosionada por los vientos, especialmente durante los primeros 4 meses del año, produciendo tolvaneras (Bravo, 1991).

Los contrastes térmicos entre las áreas rurales y las urbanas, dan como resultado una alta incidencia de calmas e inversiones térmicas todo el año. Este tipo de inversiones son muy importantes en la Ciudad de México pues mantienen la capa de aire contaminado cerca de la superficie dentro de los límites del área urbana, especialmente durante las noches y primeras horas de la mañana, por consiguiente los niveles de contaminación atmosférica se elevan considerablemente, el problema se incrementa debido a que durante las noches de la estación de secas se presentan muchas horas viento-calma. La frecuencia de inversiones de superficie en la ciudad de México es de aproximadamente 200 noches por año (Jáuregui, 1985).

La ciudad de México reúne la mayor cantidad de fuentes naturales y artificiales de contaminación: áreas erosionadas, basura, fecalismo al aire libre, filtraciones al subsuelo de aguas no tratadas, talleres, termoeléctricas, refinerías, fábricas de cigarros, cerveza, papel, llantas, vidrio, laminadores, industrias químicas, cementeras, plantas fertilizantes, fundidoras, baños públicos, tortilleras, incineradores industriales y domésticos, etc. (Legorreta, 1991 en Rivero, 1993).

La planta vehicular de la Ciudad de México es de aproximadamente 3 000 000 de autos de los cuales el 60,9% es de coches, el 35,1% corresponde a camiones de gasolina, el 2,5% a camiones diesel, el 1,1% a trailers y el 0,4% a autobuses (Rivero 1993). El automóvil, por su gran número a nivel nacional y mundial es responsable de una buena parte de los contaminantes atmosféricos. Al funcionar mediante la combustión de gasolinas y otros combustibles fósiles emite a la atmósfera una gran cantidad de elementos nocivos. Se calcula que entre el 75 y 85% de los contaminantes aéreos de la ciudad de México es producida por los autos, el 10% por las industrias y el 5% por tolvaneras y desechos orgánicos (SEDESOL, 1986).

La altura de la ciudad está directamente relacionada con la eficiencia de combustión de los vehículos, ya que disminuye considerablemente la cantidad de oxígeno en el volumen de aire comparado con el que existe al nivel del mar, esto determina la eficiencia de la combustión. Al nivel del mar es de el 92% de eficiencia, mientras que en la ciudad de México es del 69% (autos bien afinados). Esto explica el hecho de que los tres millones de autos contaminen como si fueran 6,3 millones de vehículos. De esto se deriva el gran consumo de energéticos de esta urbe (Rivero, 1993).

La problemática ambiental de la ciudad de México es muy particular por sus características, como son:

- La ciudad se encuentra en una cuenca cerrada, esto determina restricciones en el movimiento de las masas de aire.
- La altitud condiciona características de la fisiología respiratoria como son un mayor volumen por minuto, lo cual indica que se requiere inhalar mayor cantidad de aire para obtener la misma cantidad de oxígeno que al nivel del mar. También favorece la formación de contaminantes fotoquímicos y de inversiones térmicas, así como la eficiencia en la combustión de los vehículos automotores.
- La dirección de los vientos (Norte - Sur), que acarrea los contaminantes de la zona norte de la ciudad (principal zona industrial) hacia el Sur, y la velocidad del viento que no favorece el rompimiento de las inversiones térmicas.
- La centralización de casi todas las actividades del país, con sus consecuencias de un exagerado crecimiento demográfico y la expansión territorial de la ciudad, llegando a unirse con parte del Estado de México.
- La tala excesiva de los bosques que rodean la ciudad y la desecación de los sistemas lacustres, favoreciendo la erosión y empobrecimiento del suelo, ocasionando la formación de tolvaneras.
- La planta vehicular de aproximadamente 3 000 000 de autos con un gran potencial contaminante.
- La planta industrial, más de 30 000 industrias, la mayoría de las cuales carecen de equipo anticontaminante.
- La poca atención por parte de las autoridades para evitar, a través de leyes, planes y organizaciones, las emisiones de los contaminantes (Rivero, 1993; Masera, 1991; Ezcurra, 1991).

I.3.2 REGISTROS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

En México la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México, es la que se encarga de monitorear los niveles de los contaminantes en el ambiente, cuenta con una red de monitoreo manual y otra automática que determina los niveles de: ozono, bióxido de azufre, y partículas

suspendidas totales, en lo que respecta a los registros de metales, existe una estación estación de monitoreo par los registros de plomo (Cano-Valle, 1991).

El sistema denominado Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) es un conjunto de estaciones automáticas con las que se pueden medir varios parámetros meteorológicos que pueden afectar la precipitación así como a la dispersión de contaminantes. La RAMA cuenta con 25 estaciones en toda la ciudad, informa sobre los valores atmosféricos de algunos contaminantes.

Actualmente los valores máximos recomendables que se utilizan en México son comparables con los establecidos en otros países, son muy semejantes, en ocasiones idénticos a los de Estados Unidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y con la norma federal, también de Estados Unidos, NAAQS (National Ambient Air Quality Standards). En la **TABLA 2** se pueden ver dichos valores, aunque en algunos casos son más permisivos cuando en realidad deberían ser más estrictos, debido a las condiciones geográficas, climatológicas y fisiológicas, entre otras ya mencionadas, de la población de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

TABLA 2. NIVELES PERMISIBLES PARA ALGUNOS CONTAMINANTES AMBIENTALES.

CONTAMINANTE	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ (ppm)	CO (ppm)	O ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Tiempo promedio (horas)	24	24	8	1	1	8
Estados Unidos	260	0.14	9	0.12	-	-
Brasil	240	0.14	9	0.08	-	-
México*	275	0.13	13	0.11	0.21	0.20
Italia	300	0.15	20	-	0.10	-

* La norma mexicana para Pb existe sólo para una exposición de 3 meses ($1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

FUENTE: SEDESOL, 1993.

Las concentraciones de distintos contaminantes se reportan de acuerdo a un tiempo de muestreo que está directamente relacionado con los criterios de la calidad del aire que se tienen para México (**TABLA 3**).

TABLA 3. CRITERIOS DE LA CALIDAD DEL AIRE

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ppm	TIEMPO DE MUESTREO	IMECA 500
Partículas en suspensión	275	24 h	1 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monóxido de Carbono	13,0	8 h	50 ppm
Bióxido de azufre	0,13	24 h	1 ppm
Bióxido de nitrógeno	0,21	1 h	2 ppm
Ozono	0,11	1 h	0,6 ppm
Plomo (Recomendable)	1,5	3 meses	

FUENTE: Reyes, 1990

El índice de la calidad del aire es la medida que se usa en la Ciudad de México para informar a la población acerca de los niveles de contaminación atmosférica conocido como IMECA (Índice Metropolitano de la Calidad del Aire), (SEDUE, 1985; Ezcurra, 1991).

Las emisiones de los contaminantes en la ciudad son constantes durante todo el año y las concentraciones están relacionadas directamente con las condiciones meteorológicas (TABLA 4).

TABLA 4: EMISIONES DE CONTAMINANTES ESTIMADOS PARA LA ZMCM (1985)

CONTAMINANTE	FUENTES FIJAS TON/AÑO	FUENTES MOVIBLES TON/AÑO	TOTAL TON/AÑO
PARTÍCULAS	141 000	12 800	153 800
MONÓXIDO DE CARBONO	120 000	3 600 000	3 720 000
HIDROCARBUROS	140 000	385 000	525 000
DIOXIDO DE AZUFRE	400 000	11 000	411 000
ÓXIDOS DE NITRÓGENO	93 000	39 000	132 000
TOTAL	894 000	4 047 800	4 942 800

FUENTE: Bravo, 1991

Cada año existe un gran número de ocasiones en las que se sobrepasan los límites aceptables para la calidad del aire. Se han implantado planes de contingencia, cuyo objetivo es disminuir temporalmente dichas emisiones. Sin embargo se requiere de un mayor conocimiento sobre los riesgos de exposición de estos contaminantes, sobre todo la relación dosis-respuesta, así como las características de la población expuesta.

Los niveles permisibles que se establecen tanto para México como para otros países se presentan en el **TABLA 2** que se mostró anteriormente.

El Norte de la ciudad se caracteriza por contaminantes como PST (Partículas Suspendidas Totales), Bióxido de azufre (SO₂) y metales pesados, el área central tiene niveles elevados de CO y NOx y el Sur por altos niveles de contaminantes secundarios como el O₃.(Cano-Valle, 1991).

1.3.2.1 PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES

Uno de los aspectos escasamente difundidos sobre el tema, es el que se refiere a las altas concentraciones de partículas suspendidas que actualmente persisten en la ZMCM, y su tendencia creciente.

En los valores reportados de partículas suspendidas totales (PST) son notorios los altos índices que tiene la zona norte de la Ciudad de México (300 µg/m³), otras ciudades, a nivel internacional, como en Nueva York se registran valores de hasta 266 µg/m³, Karachi, Pakistán 244; y Yakina, Wash. 232 (Fuentes, 1991).

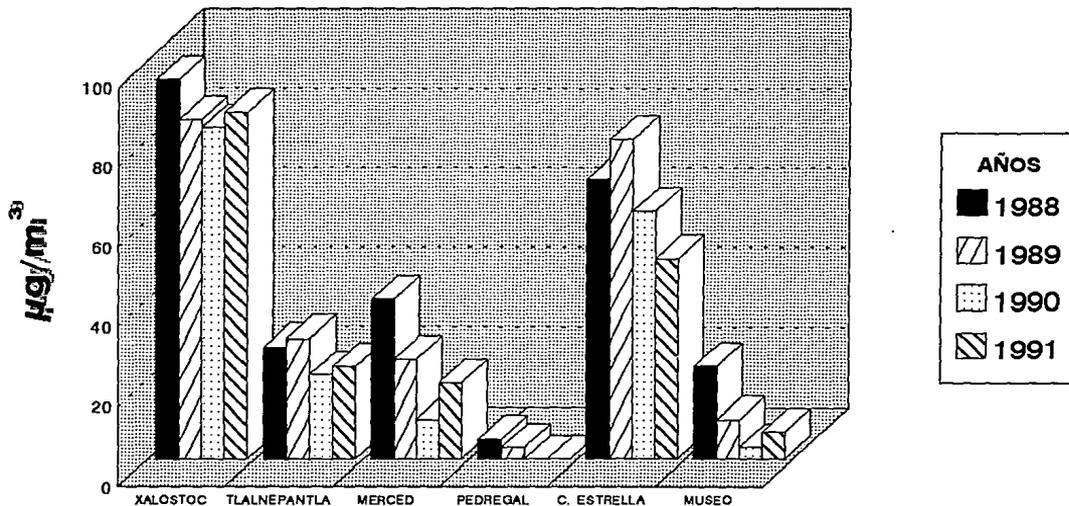
Las pequeñas partículas transportadas fuera de la zona de emisión, por el aire, probablemente se dispersan y diluyen ampliamente, ya que su permanencia en la atmósfera podría ser bastante prolongada. Se ha estimado que las partículas transportadas por el aire permanecen de seis días a dos semanas en la troposfera inferior y de dos a cuatro semanas en la superior. Este lapso varía en función de distintos factores, como los vientos y las lluvias.

La frecuencia con la que se excede la norma mexicana de PST (275µg/m³ durante 24 horas) en la Ciudad de México es: para el noreste, en la cual la estación Xalostoc presenta desde 1986 el 90% de excedencias a la norma para todo el año. El sureste tuvo para el año de 1991 el 60%, para las zonas noroeste y centro el valor fue del 40%, y en el suroeste la calidad del aire ha sido satisfactoria como se ve en la **GRÁFICA 1** (SEDESOL, 1991)

En México no existe una norma de calidad del aire de PST referida a períodos anuales que permita comparar los valores que se obtienen del monitoreo, pero comparada con la norma norteamericana referida al mismo período (75µg/m³), significa

MONITOREO DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES ZMCM

Porcentaje de excedencias a la norma



Estaciones de monitoreo, en la ZMCM

Norma: $275 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio para 24 hrs).

Gráfica 1. Monitoreo de Partículas Suspensas Totales para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en el periodo de 1988-1991. Excedencias a la norma.

que la calidad del aire es inaceptable, y que alcanza niveles de contaminación promedio anuales muy superiores a dicha norma (Fuentes, 1991).

Los efectos nocivos de las partículas suspendidas se manifiestan en la reducción de la visibilidad y en los daños que ocasionan a la salud, y que posiblemente a largo plazo sean más graves, que los que ocasiona el ozono y sus precursores, ya que una fracción importante de las partículas suspendidas, integrada por una gran variedad de compuestos tóxicos, entre los que se incluyen a los metales pesados y las sustancias orgánicas sintéticas, son retenidas por el aparato respiratorio, por lo que actúan de manera acumulativa y crónica en la salud de los habitantes de la ZMCM.

I.3.3 METALES PESADOS

En lo que se refiere a metales pesados, se había considerado un problema de tipo ocupacional únicamente, pero debido a las considerables cantidades emitidas al ambiente, en las principales zonas urbanas, ha aumentado el interés por estudiar los efectos tóxicos de éstos.

Ocasionan diferentes tipos de daños dependiendo de su naturaleza, forma química, dosis, condiciones y duración de la exposición, así como las condiciones del huésped. La inhalación de polvos de metales causa enfermedad pulmonar obstructiva crónica y, en algunos casos, fibrosis de parénquima pulmonar. A esto debemos añadir que algunas formas de arsénico, cromo, níquel y cadmio son carcinogénicos comprobados en el ser humano (Nemery, 1990).

Sin embargo aún es poca la información que existe sobre los metales pesados y sus consecuencias en la salud, principalmente en el aparato respiratorio.

I.4 PLOMO (GENERALIDADES)

Elemento químico de número atómico 32 y peso atómico 207.19, grado de oxidación 4^+ y 2^+ . Metal gris pesado, blando, maleable y dúctil, tiene poca resistencia a la tensión. Peso específico 11,35; punto de fusión $327,4^{\circ}$ C. El Pb se encuentra en la naturaleza en forma de carbonato, cerusita, y de sulfato y anglesita ($PbSO_4$).

El plomo se usa para fabricar tubos de cañerías, revestimiento de cables eléctricos, cámaras de plomo y acumuladores. Una aleación con 0,5% de arsénico sirve para fabricar perdigones y metralla. Con otras aleaciones se utiliza para soldadura, para la imprenta, el babbitt y el peltre, como pigmento en pintura y como antidetonante en la gasolina.

Dentro de los usos más importantes que tiene el plomo destacan los revestimientos, serpentines, bombas, válvulas y la fabricación de compuestos químicos. Debido a su alta resistencia a las soluciones de sal común, tiene una gran demanda en la fabricación de tubería para agua de mar, para revestir salas refrigeradoras y acuarios.

Es importante su uso en la producción de ácido sulfúrico, así como para fabricar nitroglicerina, bióxido de titanio y éteres.

El Plomo se utiliza en la refinación del petróleo, en la industria de la madera y del papel, por su densidad elevada es un material muy conveniente para la protección contra los rayos X, también es ideal para contrapeso en diversas máquinas y en las quillas de los barcos.

La láminas de plomo son muy usadas como material para pisos en las plantas galvanoplásticas.

El plomo antimonial tiene gran demanda para producir partes importantes de acumuladores automotrices.

El consumo de plomo ha ido aumentando constantemente desde finales de la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos es el mayor importador, seguido de Inglaterra, Alemania, Suecia, Unión Soviética (ahora U.E.I.), Australia, Canadá, Perú y México. México y Perú son los más importantes productores de plomo en Latinoamérica. Desde 1983, México ha llegado a ser el quinto país como productor mundial de plomo, tanto en estado natural como de producción en barras (Albert, 1991; PEMEX, 1991).

1.4.1 FUENTES DE EXPOSICIÓN AL PLOMO

La contaminación ambiental con plomo es producida, frecuentemente, por actividades humanas como la minería, la industria, la combustión de los vehículos automotores y en general las actividades propias de una ciudad con actividad urbana de más de 18 millones de habitantes.

Las formas orgánicas de este metal son las que en su mayoría se presentan como contaminantes, grandes cantidades emitidas al ambiente son derivados de la combustión de la gasolina principalmente, así como de procesos naturales de alquilación que producen compuestos de metilo de plomo.

En el **CUADRO 3** se presentan las principales fuentes de exposición al plomo, estos aportes son los que de alguna manera llegan al organismo y van aumentando la acumulación del metal por diversas vías.

CUADRO 3: FUENTES ANTROPOGÉNICAS DE EXPOSICIÓN AL PLOMO EN EL AMBIENTE EN GENERAL

MEDIO	FUENTE	APORTE
AIRE	Fundiciones (soldadura, metalurgia, etc.) Industria (baterías, construcción, pigmentos, alfarería, imprenta, etc.) Vehículos automotores	0,1 - 100 µg/m ³
AGUA*	Tanque y cañerías de plomo Contaminación de cuerpos de agua cercanos a industrias y zonas de desecho.	10 µg/l - >1 mg/l
SUELO*	Depósito de partículas en el aire y agua. Actividad industrial	8 g/Kg
ALIMENTOS	Contaminación de los alimentos por irrigación, fumigación, etc. Latas con soldadura Leche materna (Se absorbe el 10% de la ingesta)	17,8 - 518 µg/día Promedio: 200 µg/día
TABACO	Utilización del arseniato de plomo como insecticida en las plantaciones de tabaco. (Se inhala un 2%)	2 - 12 µg por cigarrillo
OTRAS	Pintura de casas Recipientes de cerámica Algunos cosméticos Acumuladores Barro vidriado	-

* Es muy baja la solubilidad de los compuestos de plomo que se forman al contacto con el agua y con el suelo.

FUENTE: Adaptado de Corey, 1989; Albert, 1991

1.4.1.1 FUENTES DE PLOMO MÓVILES Y FIJAS

- FUENTES FIJAS

a) **Minería y Fundición.** Estas actividades son la fuente de exposición más evidente en forma de sulfuro de plomo. La exposición es importante para los mineros y otros

trabajadores, ya que durante la fundición se desprenden vapores con partículas de tamaño respirable ($< 5 \mu\text{m}$) a concentraciones altas ($200\text{-}300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire).

b) Industria. De baterías, pigmentos, cables, imprenta y soldadura. Como materia prima, se generan concentraciones ambientales muy elevadas, hasta de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las industrias de mayor riesgo por la presencia del plomo son en las que se produce:

- Alfarería
 - Antidetonantes para gasolina
 - Baterías (acumuladores)
 - Coberturas de cables
 - Construcción: cañerías y otros
 - Imprenta
 - Insecticidas
 - Pigmentos para pintura
 - Productos de acero
 - Elementos de protección contra radiaciones
 - Tubería de plomo
 - Vidrios
 - Plásticos
- (Corey, 1989; Tsalev, 1985).

- FUENTES MÓVILES

Transporte. Las propiedades antidetonantes de los hidrocarburos se caracterizan por medio del octanaje, (o número de octanos).

Para que una gasolina pueda ser utilizada sin perjuicio para el motor se recomienda que tenga un octanaje de 75; por esta razón se le agregan aditivos antidetonantes a la gasolina para que eleven el octanaje, estos usualmente consisten en compuestos de plomo (tetraetil o tetrametil de plomo). Junto con el plomo tetraetilo se añaden al combustible haluros de alquilo que al quemarse forman con el plomo compuestos volátiles que son expulsados a la atmósfera, en forma de sales y carbonatos de plomo, principalmente, y transformándose en óxidos de plomo (Camacho, 1980; PEMEX, 1990).

Existe aproximadamente un automóvil privado por 17 habitantes, el total en la Ciudad de México fue de 1 600 000 para 1985 (Albert, 1991), para 1992 hay 3 000 000 (Rivero, 1993).

A nivel nacional el consumo de gasolina es de cerca de 420 000 Barriles/Día, de los cuales aproximadamente el 26% se consume en la ZMCM (100 000 Barriles/Día). Del parque vehicular que circula en la zona, más del 60% corresponde a modelos anteriores

a 1980. Esto significa que aunque se ha tratado de disminuir el tetraetilo de plomo en la gasolina, desde 1981, aún se requiere consumir la gasolina con tetraetilo de plomo (PEMEX, 1990).

Se calcula que un gran porcentaje de los contaminantes aéreos de la Ciudad de México lo producen los autos.

Debido a estas numerosas fuentes de contaminación por plomo es importante conocer las concentraciones en ambientes urbanizados.

1.4.2 MONITOREO ATMOSFÉRICO DE PLOMO

La atmósfera es la vía principal para el transporte y distribución de plomo desde fuentes móviles y fijas a otros medios ambientales.

Las emisiones antropogénicas de plomo hacia el aire son la causa más importante de contaminación de éste y son 20 veces mayores a las emisiones naturales. No se sabe mucho sobre la forma química más importante en que el plomo se presenta en el aire. Se ha determinado la presencia de haluros, óxidos, sulfatos y carbonatos de plomo.

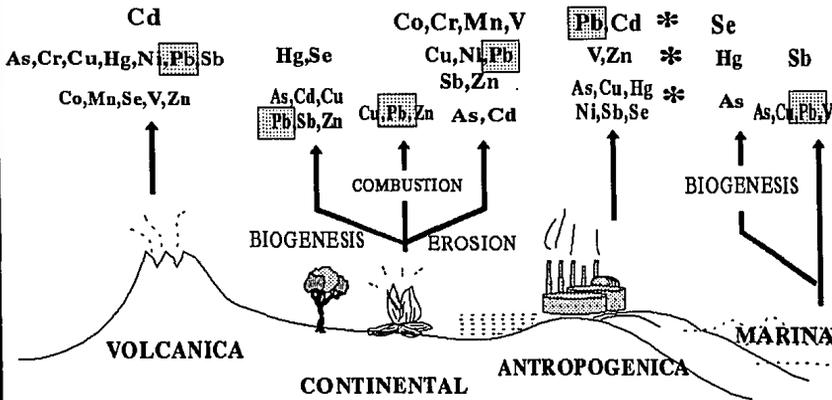
Las emisiones de metales pesados al ambiente se pueden ver en la **FIGURA 2**, en donde se observa que los aportes más importantes de plomo son debidos a actividades antropogénicas, correspondientes al 50%, y en cantidad hasta el 500%, otras fuentes importantes son la erosión y la combustión.

Las concentraciones de plomo en el aire varían significativamente de acuerdo con la distancia a la fuente contaminante, en lugares muy remotos las concentraciones de plomo son mínimas a diferencia de las zonas con actividad industrial, las concentraciones máximas de plomo en el aire se encuentran en centros densamente poblados, el aire en las calles urbanas de alto tránsito vehicular contienen más plomo que en las calles con poco tránsito, ya que llega a reportarse hasta más $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en carreteras durante las horas pico de 14 a $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 1979). Cuanto mayor sea la urbe, tanto más elevada será la concentración de este elemento en el aire (**FIGURA 3**).

En México diversos programas de monitoreo de plomo en la atmósfera, realizados por instituciones como el Centro de Ciencias de la Atmósfera (UNAM), la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (IPN), la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto de Geofísica (UNAM) y Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México, demostraron que en años anteriores la problemática de la contaminación atmosférica por plomo se incrementó notablemente, la cual se le atribuye principalmente a los vehículos automotores (Bravo, 1991).

La norma mexicana de la calidad del aire para plomo, que es de $1,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 3 meses (**Diario Oficial, 1981**).

FUENTES DE EMISION DE METALES PESADOS A LA ATMOSFERA GLOBAL



Los porcentajes de las emisiones de metales al ambiente corresponden a:

Pb: > 50% Pb: > 25% y Pb: > 10%

* Para las emisiones antropogénicas el valor se incrementa 10 veces.

Figura 2. La fuente principal de emisión de metales pesados en el ambiente es la antropogénica.

DISTRIBUCION DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO EN EL AIRE

0,1 ng/m³



ZONA SIN POBLACION

0,1 µg/m³



ZONA RURAL

0,2-1 µg/m³



ZONA CONURBADA

1-10 µg/m³



ZONA URBANA

>10 µg/m³



ZONA DE ALTO TRANSITO VEHICULAR

100 µg/m³



ZONA INDUSTRIAL

FUENTE: ADAPTADO DE CENTRO PANAMERICANO DE ECOLOGIA HUMANA Y SALUD

Figura 3. Concentraciones de plomo atmosférico por zonas.

La **GRÁFICA 2** muestra el comportamiento anual de plomo ambiental observado durante el período 1988-1991 en la ZMCM (SEDESOL, 1992).

La zona de Xalostoc (al noreste de la Ciudad de México) es un área altamente industrializada, ha alcanzado concentraciones hasta de casi $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$; en algunos muestreos de 1988 (SEDESOL, 1990), las excedencias a la norma son casi constantes en cualquier estación del año.

En otras zonas de monitoreo también se registran altas concentraciones de este metal los promedios anuales para verano, otoño e invierno se observan en la **GRÁFICA 3**. Para otoño e invierno se presentaron las más altas concentraciones de plomo, y de 1986 a 1989 son los años en los que se alcanza un mayor número de excedencias a la norma. Sin embargo aún no existe un monitoreo constante de este metal, ya que no se le ha dado la importancia que ameritan los metales pesados en el ambiente de la Ciudad de México.

Del plomo total emitido a la atmósfera en México aproximadamente el 30% se emite en la ZMCM (Bravo, 1991).

El uso de las gasolinas con menor contenido de tetraetilo de plomo, como la "magna sin", puede disminuir las emisiones de plomo, sin embargo no es ésta la única fuente, como se mencionó anteriormente la planta vehicular en la Ciudad de México la constituyen, principalmente, autos de modelos anteriores a 1985, lo que indica que relativamente pocos utilizan este tipo de gasolina.

Los efectos que se generan a partir de la exposición a plomo y sus compuestos se hace cada vez más evidente sobre todo en la Ciudad de México en donde se registran altos porcentajes de excedencias a las normas tanto nacionales como internacionales.

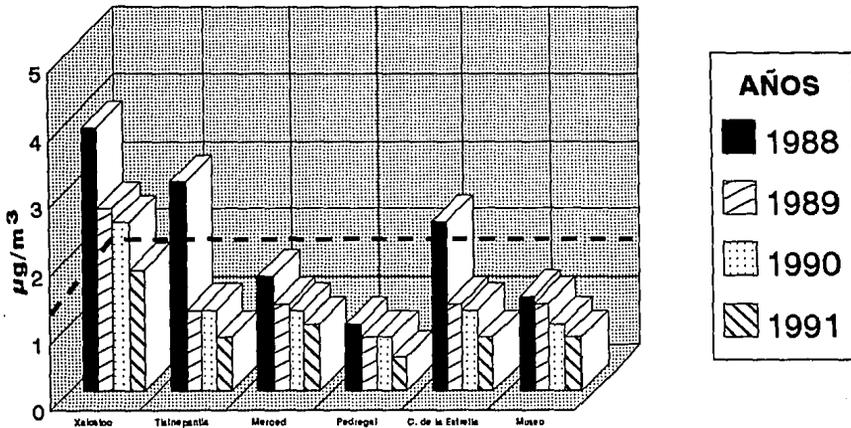
I.4.3 EFECTOS EN LA SALUD

En el siglo III antes de nuestra era, Hipócrates describió una crisis de dolor abdominal en un hombre que extraía metales y lo relacionó con el plomo. En el siglo II A. C., Nicandro atribuyó la constipación, dolor abdominal y palidez con la presencia de plomo en el organismo. En el siglo II, Discórides describió la intoxicación plúmbica completa (García-Valdés, 1980).

Es importante conocer los efectos tóxicos que puede producir el plomo, ya sea por exposición ocupacional o como contaminante atmosférico. La bibliografía reporta daños e inclusive intoxicaciones graves por plomo en sistema nervioso central, riñón, hígado y las alteraciones en el sistema hematopoyético principalmente. En general son casi nulos los reportes en las vías respiratorias.

MONITOREO ATMOSFERICO DE PLOMO

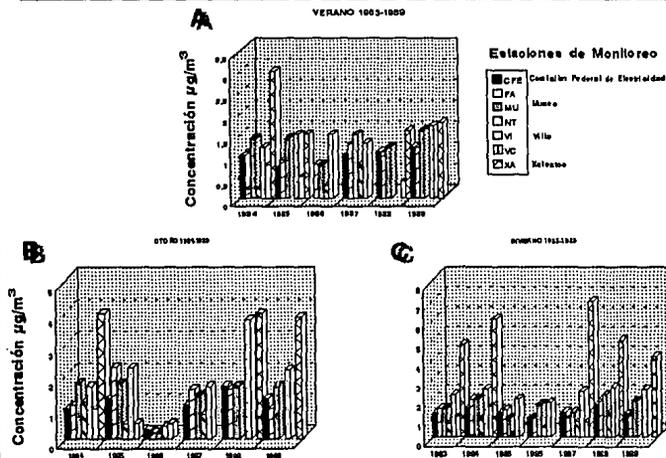
Promedios anuales



NORMA MEXICANA: 1,5 µg/m (3 M)

Gráfica 2. Promedios anuales de monitoreo atmosférico de plomo reportados por la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México.

MONITOREO ATMOSFERICO DE PLOMO POR ESTACIONES



Gráfica 3. Los gráficos A, B y C muestran los valores obtenidos de las estaciones de monitoreo atmosférico para plomo durante verano, otoño e invierno respectivamente. Para la estación Xalostoc se observan los valores más altos en todas las épocas del año.

I.4.3.1 EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN AL PLOMO

El riesgo de exposición al plomo es muy distinto según sea ésta en el ambiente general o en el ocupacional (Corey, 1989).

También intervienen otros factores muy importantes como la edad, el sexo y las condiciones fisiológicas.

A) POBLACIÓN EN GENERAL

La exposición ambiental general está estrechamente relacionada con la contaminación del medio por actividades industriales y mineras y por la combustión de motores de gasolina que contienen aditivos de plomo.

La población general está expuesta al plomo mediante la contaminación con este del aire, agua, suelos, alimentos, tabaco y otras fuentes, como se mencionó, anteriormente en el **CUADRO 3**. No obstante, la vía de exposición más importante en la población general es la digestiva (Corey, 1989), aunque no se han realizado estudios que comprueben daños de otras vías importantes de exposición como la respiratoria.

Este tipo de población está expuesta más permanentemente a los compuestos inorgánicos del plomo, debido a que se emiten en mayor cantidad al ambiente general, que los compuestos orgánicos, estos últimos están también presentes en el aire por la combustión de la gasolina, pero después del ingreso al organismo, en parte se biotransforman dentro de éste a plomo inorgánico.

Este tipo de población, es principalmente la que se encuentra en zonas urbanas o zonas periféricas a actividades industriales, ya que las que se encuentran más alejadas de dichas zonas, disminuye considerablemente la exposición.

Una exposición se puede dar por vecindad a fuentes de emisión, por contacto con trabajadores expuestos, por inhalación del aire exterior contaminado, por ingestión de alimentos contaminados, por ingestión de polvos, entre otros (Corey, 1989; Arena, 1986).

B) POBLACIONES DE ALTO RIESGO

Una población en riesgo es aquel grupo de la población definida que tiene características asociadas con una probabilidad significativamente mayor de desarrollar una enfermedad o algún estado o condición anormal, que puede ser consecuencia ya sea de una mayor susceptibilidad del grupo o del individuo, debida a su exposición, por lo que son mayores las probabilidades de que existan exposiciones a niveles de concentración peligrosos o de que los efectos producidos por el plomo sean más graves que en el resto de la población.

1) POBLACIÓN INFANTIL

La población más susceptible son los niños, particularmente los muy pequeños e infantes en períodos neonatales y fetales (Amdur, 1991).

En comparación con los adultos los niños captan más plomo sobre una base de unidad de peso corporal, absorben más plomo tanto a nivel digestivo como a nivel respiratorio y también retienen una mayor proporción de plomo absorbido. El niño representa la etapa del desarrollo metabólicamente más vulnerable del ciclo vital ante los efectos del plomo, especialmente respecto a los sistemas nervioso y óseo (OMS, 1979; Corey, 1989; Amdur, 1991).

2) POBLACIÓN OCUPACIONALMENTE EXPUESTA

La exposición ocupacional al plomo origina grandes problemas de salud. Se clasifica según su riesgo de la siguiente manera (Tsalev, 1984):

1. **Alto riesgo.** Refinería y recubrimiento de plomo, fundidoras, soldadura, construcciones de metal, cubiertas y pinturas. Producción de baterías, manufactura de pigmentos, producción de plásticos PVC. Fabricación de compuestos alquílicos de plomo.
2. **Riesgo moderado.** Pinturas en spray con compuestos de plomo, soldadura, fabricación de cables, automóviles, reparación de autos y maquinaria. Producción de cristal, y usos en la alfarería.
3. **Bajo riesgo.** Policías de tránsito, conductores de taxis, vehículos públicos, trabajadores en estacionamientos, servicios de atención en estaciones, en general población que labora en la vía pública, en zonas urbanas.

Existen aproximadamente 140 tipos de exposición ocupacional al plomo de manera directa o indirecta, los trabajadores y fabricantes que están cerca de las fuentes de exposición al plomo representan considerable importancia toxicológica, debido a los numerosos problemas de salud a los que se enfrentan (Arena et al, 1986).

I.4.3.1 TOXICOCINÉTICA Y TOXICODINAMIA DEL PLOMO

El plomo es un elemento tóxico no esencial que se bioacumula en altas concentraciones en una gran cantidad de organismos, cuando existe una exposición continua. Un aspecto importante de los efectos tóxicos es la reversibilidad de los cambios funcionales y bioquímicos inducidos. Dichos efectos son principalmente la interferencia del plomo con las funciones propias de las membranas celulares y las enzimas. Ya que este se adhiere a complejos que contengan sulfuro, fosfato, nitrógeno, y oxígeno, (grupos-SH,

H_3PO_3 , $-NH_2$, $-OH$). A la interacción del plomo con grupos $-SH$ está considerada como la de mayor importancia ya que tiene el mayor efecto toxicológico conocido (Tsalev, 1984; OPS, OMS, 1989).

Las vías de absorción del plomo son: a través de la piel, por ingestión y por inhalación. Es importante mencionar que la absorción de plomo debida a fuentes ambientales, no depende exclusivamente de la cantidad de plomo presente ante las vías de entrada, sino también al estado físico y químico en que se encuentra el metal (orgánico e inorgánico), al tamaño de la partícula y a los factores vinculados con el organismo receptor.

También es importante considerar las diferencias entre individuos o entre grupos en cuanto a factores nutricionales, metabólicos, anatómicos y actividad física, que pueden inducir diferencias en la absorción. (OPS; OMS, 1979; Corey, 1989).

La acumulación del plomo en el cuerpo humano comienza en la vida fetal, debido a que se transfiere fácilmente a través de la placenta. Su concentración en la sangre de los recién nacidos es similar a la de sus madres, también se distribuye entre los tejidos fetales de forma muy similar a como sucede en los adultos (OPS, OMS, 1979). A lo largo de la vida del individuo se aumenta la exposición ya sea por la zona donde habita o por exposición ocupacional.

La bibliografía reporta que el sistema nervioso, médula ósea y riñón son los órganos críticos a la exposición al plomo (Tsalev, 1984).

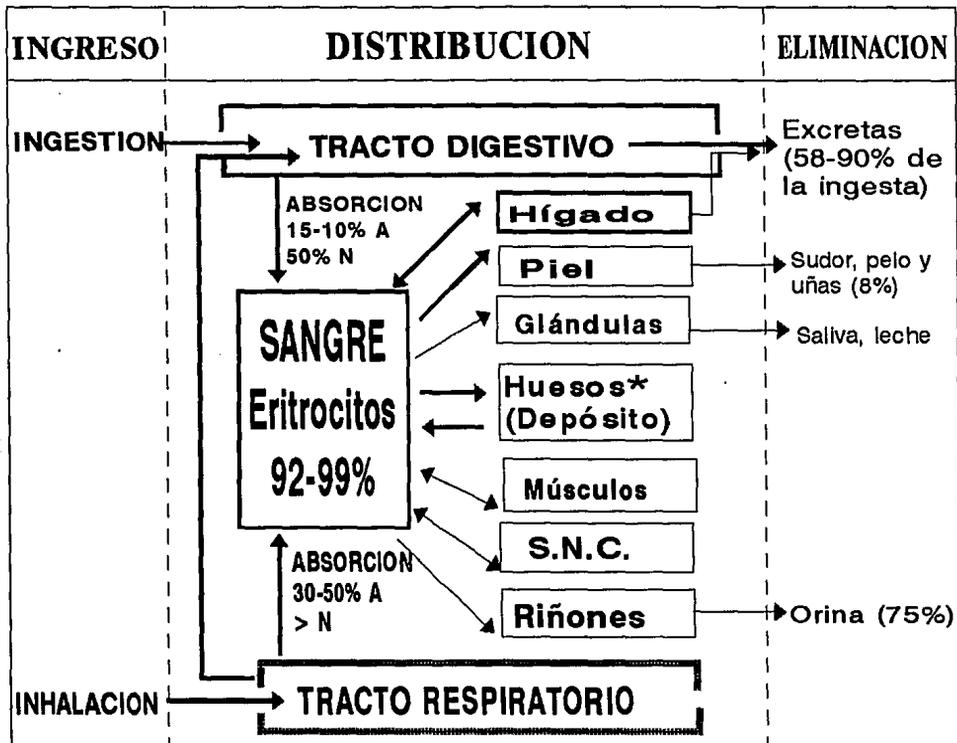
La cinética no se ha definido en el hombre directamente, sino a partir de autopsias y estudios en modelos experimentales. Para exponer un panorama general del las vías de absorción y eliminación, así como de los principales daños debidos a la intoxicación por plomo, se analiza la **FIGURA 4**.

I.4.3.3 GASTROINTESTINAL

La absorción gastrointestinal (GI) en adultos representa menos del 10% del plomo ingerido, pero podría ser mayor (de 30 a 50%) cuando es soluble (Corey, 1989; OPS, OMS, 1979; Tsalev, 1984), la absorción GI depende de la solubilidad de los compuestos de plomo ingeridos, aunque también es afectada por factores dietéticos, como la deficiencia en Ca, Fe, P y proteínas, debido a que la ausencia de estos nutrientes facilitan la absorción y por el contrario, cuando están presentes se disminuye. Debido a que utiliza los mismos mecanismos de absorción.

La eliminación es, principalmente, a través de las heces del 85 al 90%, lo que refleja la pobre absorción a nivel GI. La intoxicación por esta vía se manifiesta como cólico, que es el síntoma más característico del saturnismo, también se presentan otros como pérdida del apetito, constipación, diarrea, náuseas, vómitos, dolor abdominal e ictericia (Corey, 1989).

TOXICOCINETICA Y TOXICODINAMIA DEL PLOMO



* Adul 92-94% Niños 70-75%

Fuente Adaptado de Corey, 1989 y Tsalev, 1984.

Figura 4. Las vías de Ingreso del plomo al organismo son principalmente ingestión e Inhalación. El aparato respiratorio es una vía muy importante ya que no hay eliminación directa del metal.

I.4.3.4 SISTEMA HEMATOPOYÉTICO

El plomo absorbido es transportado por la sangre, en donde se establece un rápido equilibrio entre eritrocitos y plasma, en una proporción 16:1 a diversos órganos y tejidos (principalmente huesos).

El plomo en sangre (Pb-S) es menor del 2% del total del cuerpo. Del 90-95% se adhiere a membranas o fracciones de proteínas (de bajo peso molecular), el 5% esta en el plasma.

Uno de los primeros y más importantes efectos del plomo en el organismo humano, es la alteración de la síntesis del grupo **hemo**, que se manifiesta con concentraciones anormales de sus porcentajes.

El plomo interfiere en algunas etapas enzimáticas de la biosíntesis del grupo **hemo**, en la utilización del hierro y en la síntesis de globulina en los eritrocitos. La inhibición de la enzima dishidratasa del ácido delta aminolevulínico (AAL-D) y de la hemosintetasa es reportada en la bibliografía. Otros mecanismos de interferencia son la inhibición y estimulación de la enzima sintetasa del ácido delta aminolevulínico (AAL-S) y la inhibición de las enzimas de transformación del coproporfirinógeno III en protoporfirina IX. Estas alteraciones tienen lugar en la médula ósea, en donde se observa una alteración en la producción de la hemoglobina y una estimulación de la eritropoyesis. Los eritrocitos constituyen el componente crítico de la acción tóxica del plomo y son uno de los que se afectan primero con las dosis más bajas. Clínicamente se manifiesta como anemia (OPS, OMS, 1989).

Las mujeres y los niños son más sensibles que los hombres a los efectos de este metal sobre la síntesis del grupo **hemo**.

El plomo en sangre está generalmente aceptado como el indicador más válido de la exposición total de plomo y sus riesgos en la salud (Parsons, 1992). Los niveles de concentración encontrados normalmente en la población varía entre 10 y 35 $\mu\text{g}/100$ ml de sangre, con una media de 17 $\mu\text{g}/100$ ml. Los valores para adultos no ocupacionalmente expuestos son habitualmente menores de 20 $\mu\text{g}/100$ ml de sangre.

El promedio que se considera anormalmente elevado es de 40 - 80 $\mu\text{g}/100$ ml de sangre (Corey, 1989; Legaspi, 1988).

También se pueden predecir las concentraciones de plomo ambiental a partir de las concentraciones del metal en la sangre (Carlisle, 1992).

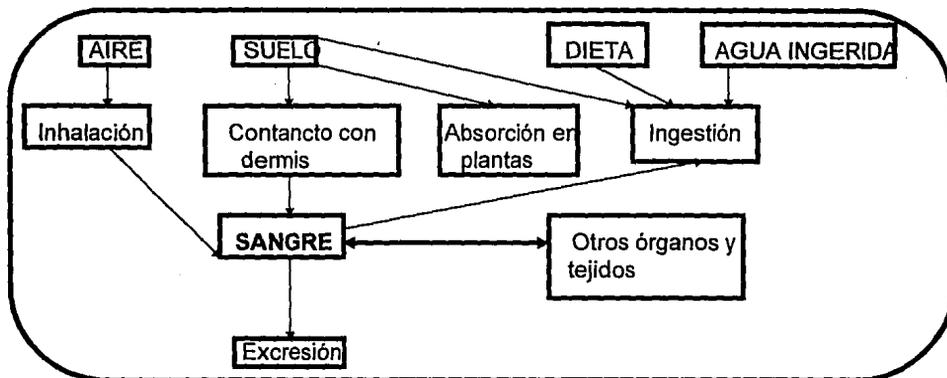


FIGURA 5. Las vías de ingreso y distribución del plomo en la sangre (Carlisle, 1992)

Estudios sobre la concentración del plomo en sangre, realizados en la Ciudad de México reportan que en la población general son más altos las concentraciones en hombres que en mujeres y la tendencia a ser mayor persiste en fumadores que en no fumadores (Albert, 1991; Legaspi, 1988; Salazar-Schettino, 1991). Elevados niveles de plomo en sangre están asociados con anomalías en el desarrollo, incluyendo daño neurológico fetal, peso reducido al nacer, corta estatura, así como alteraciones en la presión sanguínea, lo anterior demostrado en diversos estudios epidemiológicos (Folinsbee, 1992).

De la absorción que se dio en la sangre, el plomo pasa por diversas vías a otros sistemas y órganos del cuerpo, como el hígado, piel, músculos y glándulas, que también son vías de eliminación como el sudor, la saliva, el pelo, las uñas y la leche materna.

I.4.3.5 SISTEMA NERVIOSO

En la exposición prolongada al plomo pueden observarse efectos importantes sobre el Sistema Nervioso Central (SNC), causando un cuadro denominado encefalopatía saturnina. Las lesiones se producen en el nivel histológico y pueden ser irreversibles, desde edema cerebral y alteraciones en los vasos sanguíneos, las secuelas más graves de estas lesiones son atrofia cortical, hidrocefalia, convulsiones e idiocia y otras menos perceptibles son la disminución de la capacidad del aprendizaje, incoordinación motriz, falta de percepción sensorial o incapacidad para la concentración. Estos síntomas corresponden a compuestos inorgánicos del plomo. Los compuestos orgánicos producen alucinaciones, temblor, delirio, insomnio, cefaleas. En exposición aguda se presenta anorexia, náuseas, sudoración, hipotermia, irritabilidad, hipertensión de músculos faciales (Shukla, 1984; Needleman, 1991; Corey, 1989).

I.4.3.6 SISTEMA ÓSEO

En los huesos es donde se deposita la mayor cantidad del plomo absorbido, esto es principalmente porque el plomo compite con el calcio a nivel celular por su semejanza con los iones Ca^{++} , aunque el plomo acumulado en los huesos puede volver a ponerse en movimiento, llegando a otras partes del cuerpo años después de la absorción inicial. Esta removilización puede producirse durante las enfermedades febriles, fracturas, embarazo, o a causa de la vejez (Naturaleza, 1982; Tsalev, 1984).

A los compuestos inorgánicos se le conoce como "buscadores de huesos", debido a que es allí donde se acumula. Se ha comprobado que el 90% de plomo en el cuerpo se deposita en los huesos y dientes (Campos, 1987), considerándose éstos últimos como indicadores de exposición, así como el cabello y uñas (Foo, 1993).

I.4.3.7 SISTEMA URINARIO (Renal)

En exposición aguda de plomo se ha reportado que causa insuficiencia renal progresiva e irreversible, las biopsias y necropsias muestran fibrosis intersticial no específica, degeneración tubular y cambios glomerulares y vasculares en importantes arterias y arteriolas. Se ha asociado la nefropatía crónica irreversible (nefropatía saturnina) debida a exposiciones crónicas, en poblaciones ocupacionalmente expuestas (Shukla, 1984), además de la lesión tubular renal caracterizada por aminoaciduria generalizada, hipofosfatemia con hiperfosfaturia relativa y glucosuria. En población ocupacionalmente expuesta se ha encontrado nefropatía saturnina crónica, inclusive provocar una nefropatía crónica irreversible.

I.4.3.8 SISTEMA REPRODUCTOR

El plomo se conoce como tóxico en la reproducción a niveles de exposición relativamente altos, sin embargo los efectos con niveles bajos de exposición no han sido estudiados. Los efectos en el género femenino se caracterizan por perturbaciones menstruales, reducción en el número de cuerpos lúteos, anomalías durante el embarazo como abortos, mortinatos y partos prematuros. En hombres se presenta daño testicular y se inhibe la espermatogénesis, también se presenta impotencia e hiperplasia prostática (Juang, 1992; Hilderbrand, 1973).

El desarrollo mental del feto o infante demuestra ser más vulnerable al ataque vía prenatal o a exposición postnatal. Las funciones reproductivas son particularmente sensibles al plomo (Jiang, 1992).

I.4.3.9 APARATO RESPIRATORIO

En la poca bibliografía que existe en cuanto a los daños, vía inhalación, del plomo hay datos escasos y son muy vagos.

El tetraetilo y el tetrametilo de plomo son los compuestos orgánicos más conocidos. Se caracterizan por su alta solubilidad en los lípidos y la gran rapidez con que son absorbidos a través del epitelio pulmonar, para luego transformarse en triálquilos, los cuales originan los efectos tóxicos (Campos 1987).

En modelos experimentales se refiere que los ratones son altamente susceptibles a las inhalaciones agudas de plomo, los organelos más dañados son retículo endoplásmico liso y rugoso, núcleo y gránulos en célula bronquiolar no ciliada o célula de Clara (Salgado, 1993).

En un estudio realizado en humanos (necropsias) se determinó el contenido de metales pesados de diferentes tejidos y en ambos sexos, los autores reportan diferencias en los diversos tejidos, para tráquea y pulmón, se observan los siguientes valores **TABLA 5**.

TABLA 5. CONCENTRACIONES DE PLOMO EN TEJIDO

TEJIDO	SEXO	PROMEDIO ($\mu\text{g/g}$ de tejido seco)
TRAQUEA	MASCULINO	1.1
	FEMENINO	0.57
PULMÓN	MASCULINO	0.20
	FEMENINO	0.39

FUENTE: Kimiaki Sumino, 1975.

Con un total de 25 mg de plomo en el organismo en general.

Se encontraron altas concentraciones de plomo en tejidos expuestos al ambiente, así como la tendencia a ser más elevada la concentración en mujeres que en hombres, excepto en hígado, (Kimiaki Sumino, 1975).

También en casos de autopsias Fortoul y colaboradores realizaron un estudio de cuantificación de metales en tejido pulmonar de los años 80's vs 50's, en México. En las siguientes tablas se analizan las diferencias por zona de residencia, entre la Ciudad de México y otras zonas urbanas, **TABLA 6**, la cantidad de plomo para ambas zonas es

CONCENTRACION DE METALES EN PULMON

DIFERENCIAS POR ZONA DE RESIDENCIA

($\mu\text{g/g}$ tejido seco)

	<u>CIUDAD DE MEXICO</u>	<u>OTRAS ZONAS URBANAS</u>
	(N=44)	(N=40)
Cd	40 \pm 1 *	14 \pm 3
Co	40 \pm 1	43 \pm 1 *
Cu	46 \pm 3 *	42 \pm 2
Ni	80 \pm 2 *	30 \pm 2
Pb	150 \pm 3 *	100 \pm 3

* Estadísticamente significativo ($p < 0,05$)

Tabla 6. El plomo es el metal con mayor concentración en ambas zonas.

CONCENTRACION DE METALES EN PULMON

DIFERENCIAS ENTRE GENEROS

($\mu\text{g/g}$ tejido seco)

	<u>MUJERES</u>	<u>HOMBRES</u>
	(N=42)	(N=42)
Cd	27 \pm 1 *	23 \pm 6
Co	36 \pm 9	38 \pm 1
Cu	57 \pm 6 *	32 \pm 2
Ni	63 \pm 2 *	51 \pm 2
Pb	140 \pm 4 *	126 \pm 3

* Estadísticamente significativos ($p < 0,05$)

Tabla 7. Fortoul reporta que los valores de plomo en mujeres son más altos que en los hombres.

alto, con respecto a los otros metales, pero lo es más para la Ciudad de México. En la **TABLA 7** se analizan las diferencias por género que son significativas en el caso de plomo, para las mujeres es más alto que para los hombres. Los valores encontrados para plomo son los siguientes (**TABLA 8**):

**TABLA 8. CONCENTRACIONES DE PLOMO EN PULMÓN.
DIFERENCIAS POR GENERO**

DÉCADA	SEXO	VALORES ¹
80's	Femenino	140 + 4
	Masculino	126 + 9
50's	Femenino	13+ 5
	Masculino	10+4

Expresados en $\mu\text{g/g}$ de tejido seco (Fortoul, 1992).

Para un modelo de estudio toxicológico vía inhalación, es importante tomar en consideración la concentración, estimar la dosis (que no es igual a la concentración de la exposición). Es una compleja red de interrelaciones entre las partículas, su tamaño, la respirabilidad, rango de ingesta y retención, así como la distribución de la partícula respirable. Lo anterior definirá el grado de bioacumulación en el organismo receptor (Dorato, 1991; Samet, 1991).

1.5 APARATO RESPIRATORIO (GENERALIDADES)

El aparato respiratorio comprende los pulmones y un sistema de tubos que comunican el parénquima pulmonar con el medio externo, consiste en tres componentes funcionales:

- 1) SISTEMA CONDUCTOR DE VÍAS AÉREAS (Parte conductora). Comprende fosas nasales, nasofaringe, laringe, tráquea, bronquios y bronquiolos.
- 2) ZONA DE TRANSICIÓN. Entre la parte conductora y respiratoria.
- 3) ZONA RESPIRATORIA. Zona propiamente respiratoria. Comprende el árbol bronquial que contiene los alvéolos y es en esta parte donde se lleva a cabo el intercambio gaseoso, ver **FIGURA 6**.

Aparato Respiratorio

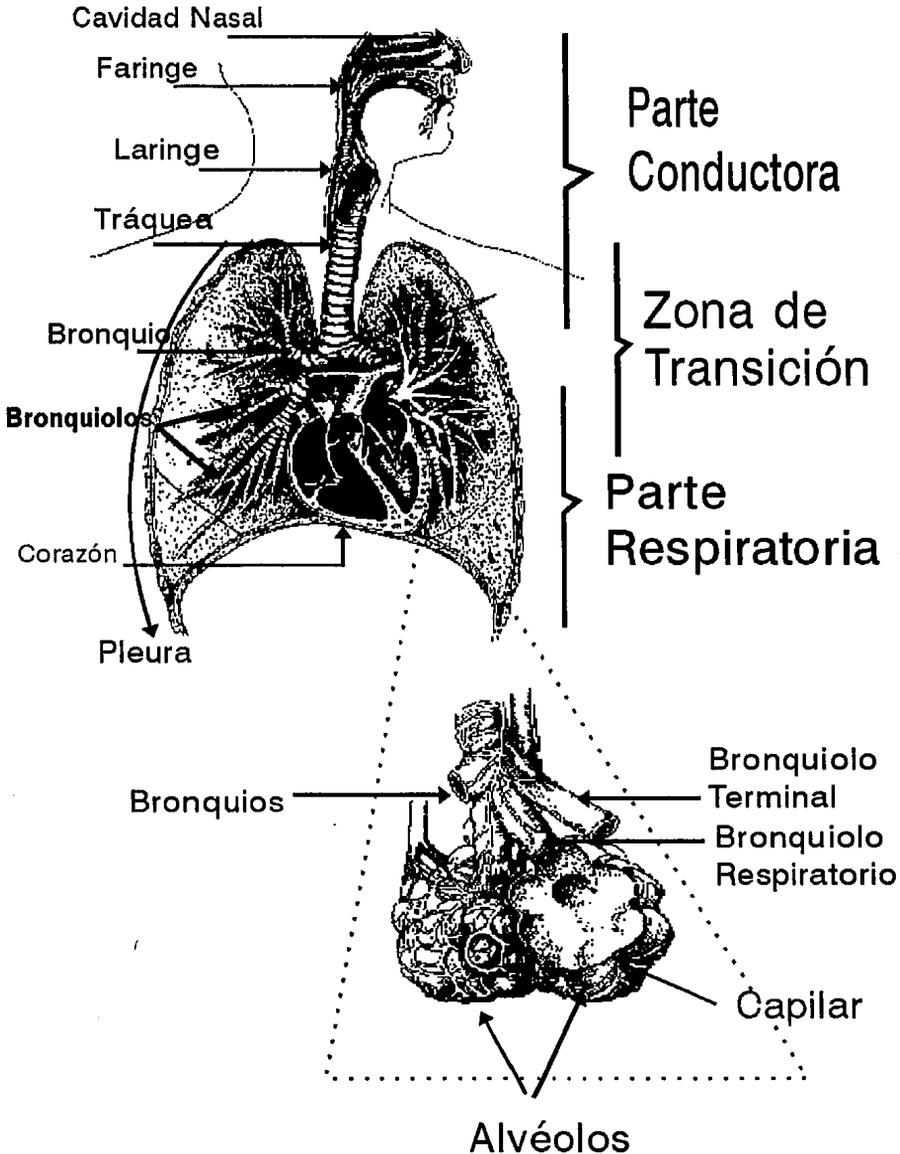


Figura 6. Parte Conductora, Zona de transición y Parte Respiratoria

La tráquea se ramifica originando dos bronquios que después de un corto trayecto entran en los pulmones, denominándoseles brónquios primarios. Al penetrar a los pulmones, se dirigen hacia abajo y fuera, dando origen a tres bronquios en el pulmón derecho y dos en el izquierdo. Cada bronquio se distribuye en un lóbulo pulmonar por divisiones dicotómicas, originando bronquios cada vez menores, formando de 5 a 7 bronquiolos terminales, que a su vez originan uno o más bronquiolos respiratorios, que corresponde a la porción respiratoria, que comprende también los conductos alveolares, sacos alveolares y alvéolos (Rivero, 1988).

I.5.1 POBLACIÓN CELULAR

I.5.1.1 BRONQUIOLO

Los bronquiolos son segmentos intralobulillares, que tienen un diámetro de 1mm o menos, no presentan cartílagos, glándulas o nódulos linfáticos. El epitelio en las porciones iniciales es cilíndrico simple ciliado, pasando a cúbico simple, ciliado o sin cilios en la porción final. La lámina propia es delgada y está constituida principalmente por fibras elásticas. A la mucosa le sigue una capa muscular lisa, cuyas células se entrelazan con las fibras elásticas que se extienden hacia afuera, continuándose con la estructura esponjosa del parénquima pulmonar.

El **bronquiolo terminal** o bronquiolo no respiratorio, se sitúa en las últimas porciones del árbol bronquial que no presenta estructuras respiratorias en su constitución. Su estructura es semejante a la de los bronquiolos, pero la pared es más delgada y está revestida internamente por epitelio columnar bajo o cúbico, de células ciliadas y no ciliadas o células de clara. A esta altura termina la porción conductora y se inicia la porción de transición (Junqueira, 1990) **FIGURA 7**.

En la **CUADRO 4** se presenta la población celular característica del bronquiolo no respiratorio y sus funciones principales.

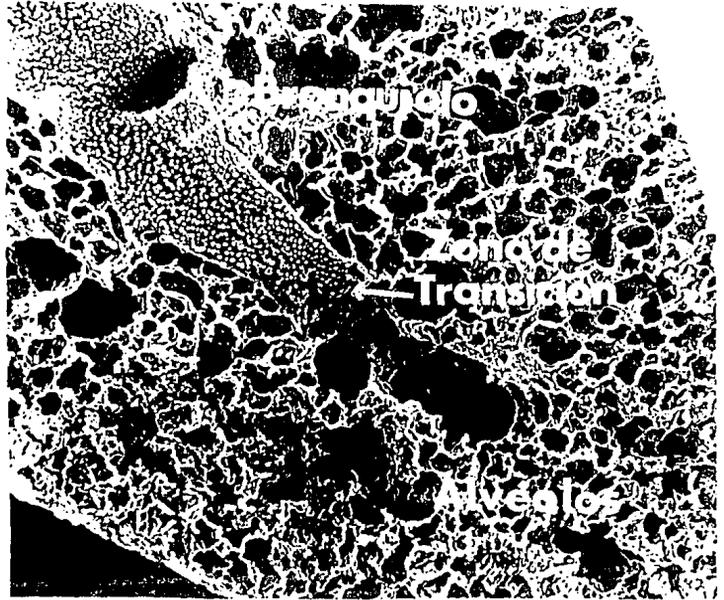


Figura 7. Microfotografía (Microscopia Electrónica de Barrido) de la porción de transición del bronquilo terminal y los alvéolos del pulmón de ratón (500x)

CUADRO 4. POBLACIÓN CELULAR DEL BRONQUIOLO TERMINAL

TIPO CELULAR	FUNCIONES	ALTERACIONES
CÉLULA CILIADA	<p>Es de las células más numerosas. Se caracteriza por la presencia de cilios (200 aprox. por célula), forman un complejo sistema de defensa debido al movimiento ciliar que permite el transporte de secreciones y partículas depositadas.</p> <p>Cilios: Prolongaciones citoplasmáticas cubiertas por una membrana, poseen 2 filamentos centrales rodeados de nueve filamentos periféricos que forman un círculo y convergen al citoplasma de la célula ciliada. Tienen como función movilizar el moco y otras secreciones del aparato respiratorio hacia los sitios más próximos para su eliminación.</p>	<p>El movimiento ciliar se inhibe debido a enfermedades inflamatorias, inhalación de contaminantes aéreos, tabaquismo, hipoxemia e hipertermia, entre otros factores.</p> <p>Se reporta pérdida de los cilios en exposición a algunos contaminantes atmosféricos o alteraciones en la velocidad del movimiento ciliar.</p>
CÉLULA BRONQUIOLAR NO CILIADA O CÉLULA DE CLARA	<p>Se localiza fundamentalmente en bronquiolos terminales de diversos animales (ratón, conejo, ternera, hombre), secreta glucógeno y lo almacena. Hace proyección hacia la luz bronquiolar.</p> <p>Célula pluripotencial, que da origen a la célula ciliada en el epitelio bronquiolar y aumenta su misma población.</p> <p>Tiene gran cantidad de retículo endoplásmico liso, en el que se encuentra el citocromo P-450 que tiene relación directa con la activación e inactivación de productos xenobióticos, contiene gránulos que parecen tener lipoproteínas.</p> <p>Produce un factor tensoactivo que regula la función ciliar, parece intervenir en la producción del surfactante.</p>	<p>Es el blanco de una gran variedad de agentes carcinogénicos, parece dar origen a algunos carcinomas bronquioalveolares en el hombre.</p>

1.5.1.2 ALVÉOLOS

Con los bronquiolos respiratorios se inicia la porción respiratoria, estos conductos son largos, formados por la ramificación de los bronquiolos respiratorios. El término alveolar define la característica principal de esta parte del sistema respiratorio, que es la presencia de innumerables alvéolos y sacos alveolares en sus paredes. El conducto alveolar presenta una pared muy discontinua, entre la abertura de dos alvéolos (o saco alveolar) existen fibras de colágena elásticas, y células musculares lisas formando un grueso cojín. El revestimiento epitelial es cúbico simple, con células muy planas. Las fibras de colágena y las elásticas se continúan con la pared alveolar, constituyendo el único sistema de sostén.

El conducto alveolar se termina en un alvéolo simple y en sacos alveolares, que contienen dos o más alvéolos. Estos son pequeñas invaginaciones en forma de saco, halladas en los sacos alveolares, conductos alveolares y bronquiolos respiratorios, son los responsables de la estructura esponjosa del parénquima pulmonar.

El oxígeno del aire alveolar pasa a la sangre capilar a través de la membrana basal de la célula epitelial y la membrana basal del capilar (Rivero, 1988; Turk, 1976).

1.5.2 MECANISMOS DE DEFENSA DEL PULMÓN

Los contaminantes en el aire intra y extramuros causan anomalías en la actividad respiratoria. Afortunadamente los pulmones tienen mecanismos de defensa físicos, químicos e inmunológicos para limpiar y desintoxicar, pero a concentraciones muy elevadas y/o exposiciones continuas, la efectividad de estos mecanismos puede verse afectada (Sament, 1991).

Estos mecanismos se pueden clasificar en:

1. **Mecanismos aerodinámicos** (filtros, humectación, tos, etc.).
2. **Actividad Mucociliar** (producción de moco y movilización de las secreciones).
3. **Bioquímicos.** Están mediados por la acción de enzimas.
4. **Mecanismos celulares.** Población celular que se encarga de metabolizar los agentes xenobióticos, como la célula bronquiolar no ciliada, los macrófagos alveolares, etc., (Rivero, 1988).

JUSTIFICACIÓN

Los efectos que se generan a partir de la exposición al plomo y sus compuestos se hacen cada vez más evidentes sobre la población de la Ciudad de México, en donde se registran altos porcentajes de excedencias a las normas tanto nacionales como internacionales, por lo que es necesario se le de la importancia que requiere este problema.

Es importante conocer los efectos tóxicos que puede producir el plomo, por exposición ocupacional o como contaminante atmosférico.

Son casi nulos los reportes de los daños que puede ocasionar este metal en las vías respiratorias, además de la imposibilidad, hasta ahora, de estudiar los efectos en poblaciones humanas; los modelos experimentales en animales son una posibilidad de conocer de manera indirecta estas alteraciones, con todos los factores involucrados como son: niveles de exposición, dosis, retención, partículas, etc.

OBJETIVO GENERAL:

Identificar las diferencias entre sexos, en la respuesta al daño tisular pulmonar en tratamiento agudo por inhalación de acetato de plomo en un modelo experimental en ratón.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar cambios morfológicos en tejido pulmonar, específicamente bronquiolo y parénquima alveolar, durante y después del tratamiento (inhalación de acetato de plomo).
- Cuantificar plomo en el tejido pulmonar en ambos sexos por método de Espectrofotometría de Absorción Atómica y comparar las diferencias.

II. MÉTODO

II.1 TRATAMIENTO

Se utilizaron 220 ratones (*Mus mus* L), 110 hembras y 110 machos de la cepa CD-1 del bioterio de la Facultad de Medicina (UNAM), su peso promedio fue de 25 ± 7 g, los que fueron mantenidos en las mismas condiciones del bioterio, permitiéndoles acceso a comida y agua *ad libitum*.

Se dividieron en grupos de la siguiente manera: 4 grupos de hembras de 20 individuos cada uno, 2 grupos control de 15 individuos cada uno, 4 grupos de machos de 20 individuos cada uno, 2 grupos control de 15 individuos cada uno. (CUADRO 5).

CUADRO 5. DISTRIBUCIÓN DE INDIVIDUOS

GRUPO	NO. INDIV.	SEXO	TRATAMIENTO
1	(20)	F	PLOMO
2	(20)	F	PLOMO
3	(20)	F	PLOMO
4	(20)	F	PLOMO
5	(15)	F	CONTROL
6	(15)	F	CONTROL
7	(20)	M	PLOMO
8	(20)	M	PLOMO
9	(20)	M	PLOMO
10	(20)	M	PLOMO
11	(15)	M	CONTROL
12	(15)	M	CONTROL

El primer paso fue someter a los animales a la inhalación de una solución de acetato de plomo con una concentración de 0.1 M en agua bidestilada y desionizada, en una cámara de acrílico de 72.7 l de capacidad, se utilizó un nebulizador Ultrasónico Ultra-Neb 99 (Devilbiss) con un flujo de 5 l por minuto.

La inhalación, en fase aguda, se llevó a cabo durante una hora 3 veces a la semana por 2 semanas, machos y hembras.

El grupo control inhaló el vehículo de manera semejante al grupo experimental.

El segundo paso fue el sacrificio de los animales, este consistió en 2 periodos, el primero durante las inhalaciones y el segundo después de las 2 semanas de inhalación (distribuidos en los mismos tiempos a partir de la última inhalación), ver CUADRO 6.

El sacrificio se llevó a cabo por dislocación cervical. La disección se realizó efectuando dos cortes paraesternales descubriendo la cavidad torácica, exponiendo la tráquea cánula, (FIGURA 8). A la cual ya libre se le practicó una incisión para insertarle una cánula de polietileno procediendo después a la perfusión y fijar intratraquealmente por instilación a ambos pulmones, hasta Capacidad Pulmonar Total (CPT), con una solución de glutaraldehído al 2.5 % en buffer de cacodilato de sodio al 0.1 M con pH de 7.4 (fijados *in situ*).

Posterior a la fijación, el tejido se seccionó para: estudio por microscopía de luz, microscopía electrónica de barrido y cuantificación de metales en tejido.

CUADRO 6. PERÍODOS DE INHALACIÓN Y SACRIFICIO

DÍAS	INHALACIÓN	SACRIFICIO
0	I	
1		X
2	II	
3		X
5	III	X
7	IV	X
9	V	X
12	VI	X
15		X
16		X
19		X
25		X
31		X
40		X

El cuadro anterior se refiere en la primera columna a los días corridos del experimento, la columna de inhalación a los días en que se llevaron a cabo las



FIGURA 8. Cavidad torácica expuesta

inhalaciones, que delimita la **Fase 1** del experimento, ya que la **Fase 2** comienza a partir del día 15 cuando cesan las inhalaciones; y la columna de **sacrificio** se refiere a los días de la toma de muestra.

II.2 PREPARACIÓN DE TEJIDOS

II.2.1 MICROSCOPIO ÓPTICO (LUZ)

El pulmón derecho se seccionó en dos partes y se fijó en formaldehído al 10% ; con un corte longitudinal y se procesó de manera habitual para su inclusión en parafina. La tinción empleada fue hematoxilina-eosina. Se observó en un microscopio óptico Zeiss a ampliaciones de 10x, 40x y 100x.

II.2.2 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Después que los pulmones fueron cuidadosamente removidos del tórax, el lóbulo izquierdo fue separado con un corte longitudinal y seccionado, a su vez, en tres cortes transversales, la sección media fue separada y fijada en glutaraldehído por un tiempo de 3 horas, se realizaron 3 lavados en buffer de cacodilato de sodio 0.15 M durante 15' cada uno, los cortes se post-fijaron con tetraóxido de osmio al 1% durante 2 horas, se realizaron 3 lavados en el mismo buffer (0.15 M) por un tiempo de 15' cada uno. Deshidratación de alcoholes ascendentes (20,40, 50, 60, 70, 80, 95 y 100%).

Después se procedió al desecado a punto crítico con bióxido de carbono (CO₂) líquido durante 5 minutos, se evaporó con carbón durante 2', se ionizó con oro por 6 (Antuna, 1992).

Posteriormente se montaron los fragmentos ya desecados pegándolos en un portaespecímenes con adhesivos conductores y finalmente recubriéndolos con una película de carbón evaporado y con oro ionizado para su observación en un microscopio electrónico **DSM 950** (Zeiss), con un voltaje de 15 Kv. A diversas ampliaciones.

II.3. TÉCNICA DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Las muestras de tejido pulmonar se conservaron en formol al 10%, inmediatamente después de la perfusión.

Se pusieron en crisoles de cuarzo, previamente puestos a peso constante. El formol se evaporó y los crisoles con muestra se colocaron en una estufa por varios días, hasta obtener un peso constante del tejido.

a) DIGESTIÓN DE LA MUESTRA

Al tejido seco se le agregó 1 ml de ácido nítrico suprapuro y se puso en una parrilla eléctrica hasta digerir todo el tejido. Finalmente se le agregó 1 ml de peróxido de hidrógeno para completar la *digestión*.

La solución obtenida se aforó a 5 ml y se procedió a hacer las determinaciones para contenido de plomo.

b) CURVA DE CALIBRACIÓN

Se preparó una curva de calibración de concentraciones conocidas y se leyeron sus absorbancias en el *Espectrofotómetro de Absorción Atómica* Perkin-Elmer, modelo 2380 con flama y esfera de impacto a una longitud de onda de 217 nm.

Los resultados obtenidos se graficaron obteniendo una curva de *Absorbancia vs Concentración*, de la cual, por interpolación se obtuvieron las concentraciones de plomo para cada una de las muestras.

Finalmente el resultado obtenido de concentración de plomo se refiere al peso y aforo de cada muestra (Espejel, 1993).

De los datos obtenidos de la concentración de plomo en tejido pulmonar se obtuvo la desviación estándar para los valores de machos y hembras; tanto de los grupos experimentales como de los controles. Para conocer su significancia estadística se aplicó la prueba de "T" de Student entre los grupos (Programa estadístico PRIMER):

1. Hembras experimentales vs Hembras control
2. Machos experimentales vs Machos control
3. Hembras control vs machos control
4. Hembras experimentales vs machos experimentales

III. RESULTADOS

III.1 GENERALIDADES

Durante las inhalaciones se observó el comportamiento general de los animales, que presentaron tiros intercostales (dificultad en la respiración), amontonamiento en las esquinas de la caja, otros daban brincos verticales en el centro y presentaban agresividad. Al final de la inhalación se rascaban la nariz durante mucho tiempo, inclusive días después de la inhalación.

III.2 MICROSCOPIA DE LUZ

En microscopía de luz se utilizaron diferentes aumentos (10, 40 y 100x) y no se logró observar una respuesta al daño que fuera evidente a este nivel. Solamente se observó hiperplasia e hipertrofia celular en bronquiolo no respiratorio en los días 5, 7, 9, 15, 16, 19, 21 y 23 para ambos sexos, aunque en los días 15 y 16 fue más generalizado en los machos, que coincide con las observaciones en microscopía electrónica de barrido.

III.3 OBSERVACIÓN DE TEJIDO PULMONAR EN MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

III.3.1 ALVÉOLOS

En **alvéolos** no hubo cambios significativos en las observaciones realizadas a nivel del microscopía electrónica de barrido (reflexión), el tejido del parénquima pulmonar se presentó semejante a los controles, por lo que los resultados reportados son específicamente de bronquiolo.

III.3.2 BRONQUIOLO

En las **Microfotografías 1 y 2** se observa la población celular del bronquiolo de animales controles.

A continuación se presentan las observaciones, en general, de los tejidos durante el experimento. En la primera columna se presentan las fases (durante la inhalación, **FASE I** y después de la inhalación **FASE II**), en la segunda columna se muestran los días de sacrificio (toma de muestra) del experimento, y en la tercera columna la descripción del tejido bronquiolar observado en el microscopio electrónico de barrido, al final de las descripciones están las microfotografías que corresponden a los cambios más significativos durante el tratamiento.

	DÍAS	DESCRIPCIÓN DEL TEJIDO BRONQUIOLAR
FASE 1	1	Tanto hembras como machos presentaron una población celular semejante al control, las células bronquiolares no ciliadas (CB) se presentan prominentes hacia la luz bronquiolar, se apreciaron los cilios en cantidad y tamaño normales. En esta etapa no se observaron cambios aún.
	2	En hembras se observó hiperplasia (hp) e hipertrofia (ht) apenas presente sobre todo en la célula bronquiolar no ciliada (CB) Microfotografía 3. En los machos la hiperplasia (hp) e hipertrofia (ht) se generalizó más que en las hembras, se observó que las células bronquiolares no ciliadas (CB) han perdido su volumen normal debido a que han perdido material (mt). Microfotografía 4
	5	Semejante al día 2, aunque en los machos fueron menos evidentes los cilios (Ci) de las células ciliadas y se presentaron zonas muy generalizadas en donde hubo gran actividad de división celular (DC), también material excretado (mt) Microfotografía 5.

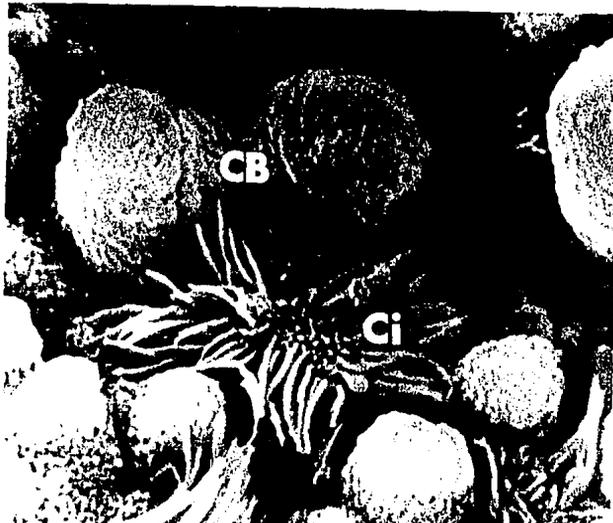
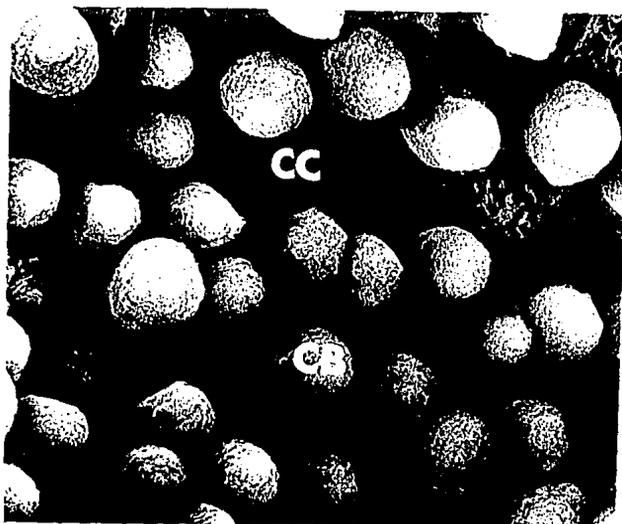
	7	En ambos sexos se observaron que se acentúa la hiperplasia (hp) y la hipertrofia (ht) de la célula bronquiolar no ciliada (CB)
	9	En hembras comenzó a disminuir considerablemente la población de cilios (Ci), en las células bronquiales no ciliadas (CB) se observaron invaginaciones debidas a la excreción de material, por lo que perdieron su volumen normal, se observó también que hay división celular (DC) Microfografía 6 . En los machos los cilios (Ci) aún se mantienen en cantidad, se comienza a apreciar que se excreta material (mt), ya que las células bronquiales no ciliadas (CB) presentan invaginaciones e inclusive algunas parecieran estar vacías. Microfografía 7 .
	15	En las hembras se apreció hiperplasia (hp) e hipertrofia (ht) generalizadas, así como muy pocos cilios y gran cantidad de material excretado, también se observó división celular (DC), Microfografía 8 . En este día se presentó el mayor daño celular tanto en las hembras como en los machos. En los machos se presentó en esta etapa el mayor daño: lisis celular (Li) generalizada. Microfografía 9 .
FASE II	16	Los daños que se presentaron al día 15 continúan
	19	Para las hembras los daños persistieron, y en los machos a excepción de lisis celular, los otros daños se apreciaron en el mismo grado que para el día 15.
	21	En las hembras comenzó a disminuir la excreción del material, los cilios (Ci) comenzaron a recuperar su volumen y cantidad, sin embargo en los machos se mantuvo la excreción de material (mt) sobre los cilios y las células. Microfotografías 10 y 11 .
	23	Se mantuvieron igual que para el día 21

	25	En las hembras comenzó a disminuir la hiperplasia (hp) e hipertrofia (ht) de moderada a incipiente.
	31	En ambos sexos desapareció el material excretado (mt), el daño a los cilios (Ci) se hizo incipiente en las hembras y en los machos siguió siendo moderado, la hiperplasia (hp) e hipertrofia (hp) de las células bronquiolares no ciliadas (CB) en los machos siguió siendo generalizada.
	40	Las hembras llegaron a la recuperación total, el tejido se presentó muy similar al de los controles, sin ninguna alteración a este nivel. En lo que respecta a los machos ya no se pudo observar ningún tejido ya que la población no llegó a esta etapa, algunos se murieron antes de terminar el experimento Microfotografía 12.

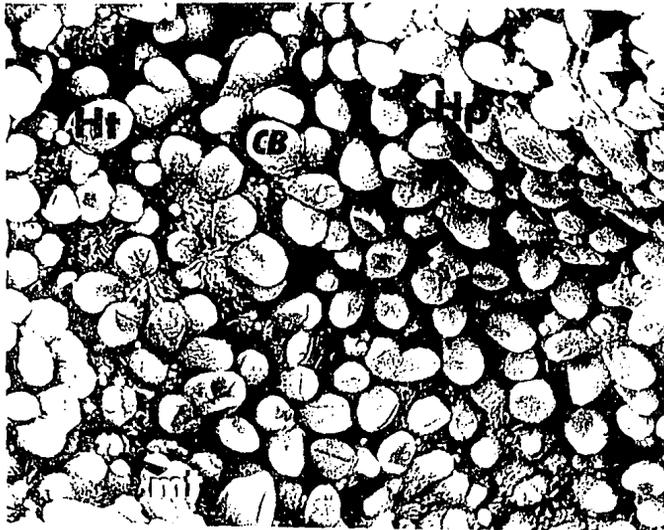
Para presentar los resultados en lo que respecta al daño al bronquiolo, se dio una escala arbitraria tomando como referencia el tejido intacto (del control, ver **Microfotografías 1 y 2**; y el mayor daño que se presentó en las muestras de los animales experimentales (lisis celular, ver **Microfotografía 9**), como los datos extremos, y los valores intermedios son los daños que se fueron presentando en bronquiolo terminal no respiratorio:

- Control
- Hiperplasia e hipertrofia celular (**hp**, **ht**)
- Disminución de los cilios (**Ci**)
- Excreción de material de las células bronquiolares no ciliadas (**mt**), (**CB**)
- Lisis celular (**Li**).

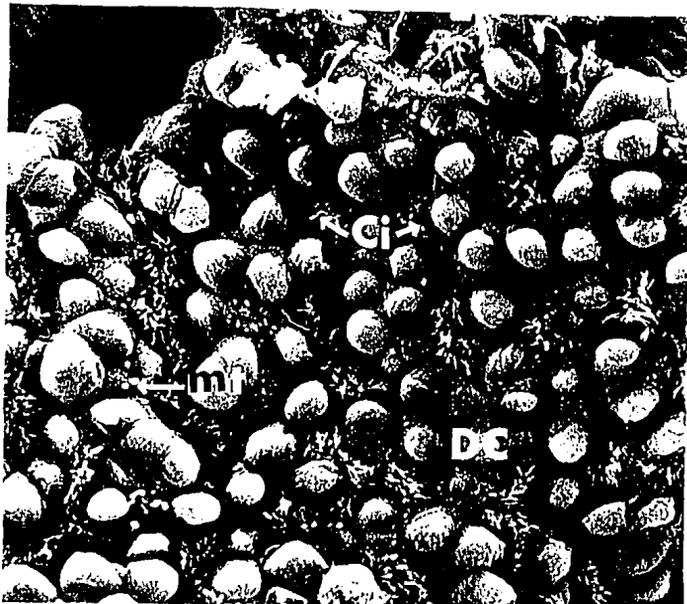
En el **CUADRO 7** se observa la escala con respecto a los daños producidos por inhalación de plomo durante y después del tratamiento. Los daños más severos se presentaron, como se mencionó anteriormente, en los días 15 y 16, en los machos lisis celular (**Li**) y en hembras los otros daños, pero muy generalizados (excreción de material y disminución de la cantidad de cilios).



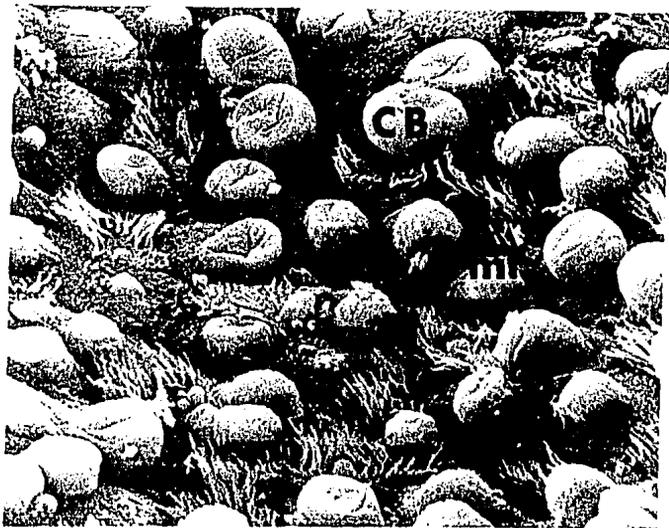
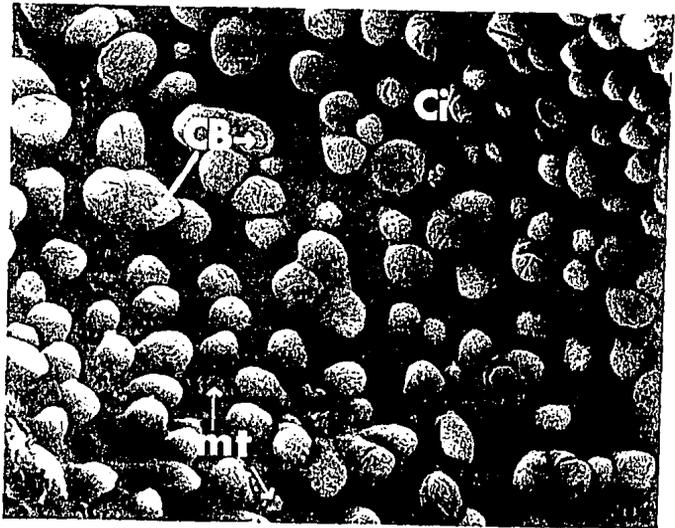
Microfotografías 1 y 2 (Control). Se observa la población celular normal del bronquiolo terminal, células bronquiolares no ciliadas (CB) y células ciliadas (CC) en la microfotografía superior, de las cuales se aprecian los cilios (Ci) en su tamaño y cantidad normales (inferior), corresponden a grupos control, que en hembras y machos son iguales (2000 y 5000x).



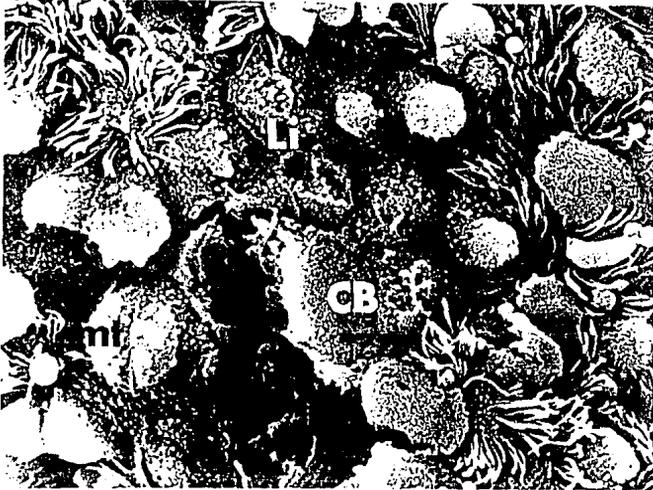
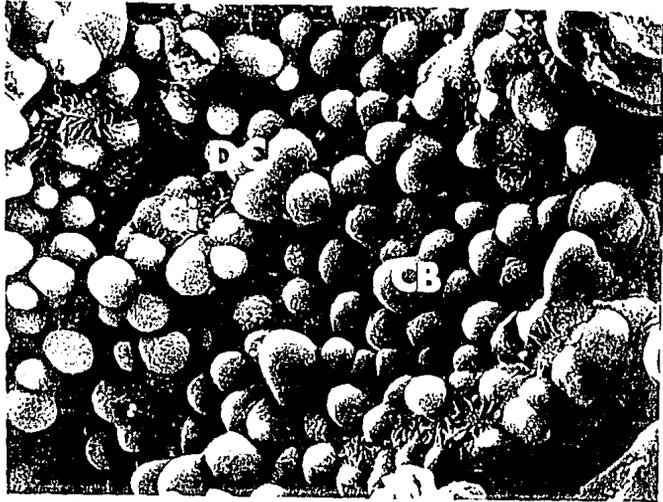
Microfotografías 3 y 4 (2 días). En las hembras (superior) se observa hiperplasia e hipertrofia (Hp y Ht) así como división celular (DC) incipientes. En los machos (microfotografía inferior) la hiperplasia e hipertrofia (Hp y Ht) se generalizó más que en las hembras, las células bronquiolares (CB) perdieron su volúmen por la excreción de material (mt), 2000 y 1000x, respectivamente.



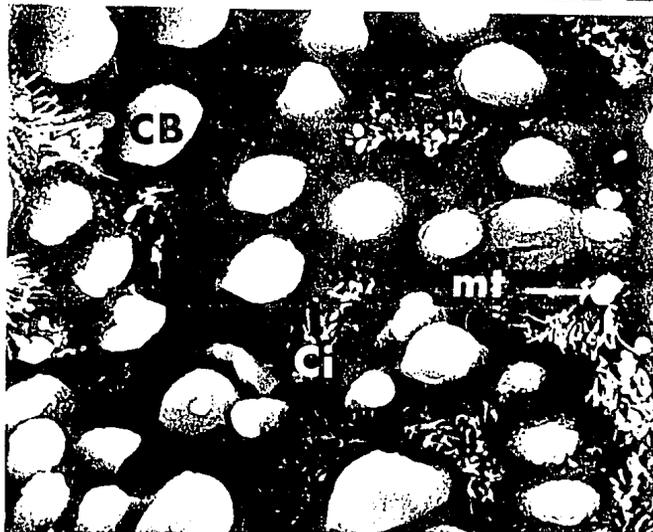
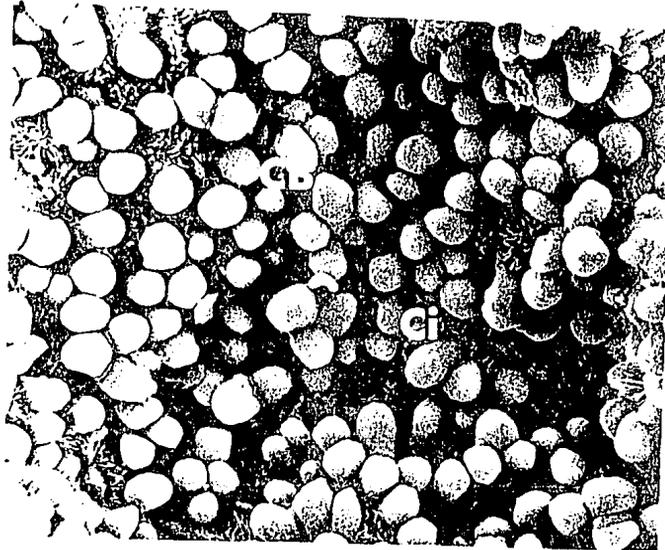
Microfotografía 5 (5 días). En los machos se comienzan a perder los cilios (Ci), zonas de gran división celular (DC) y excreción de material (mt). 1000x.



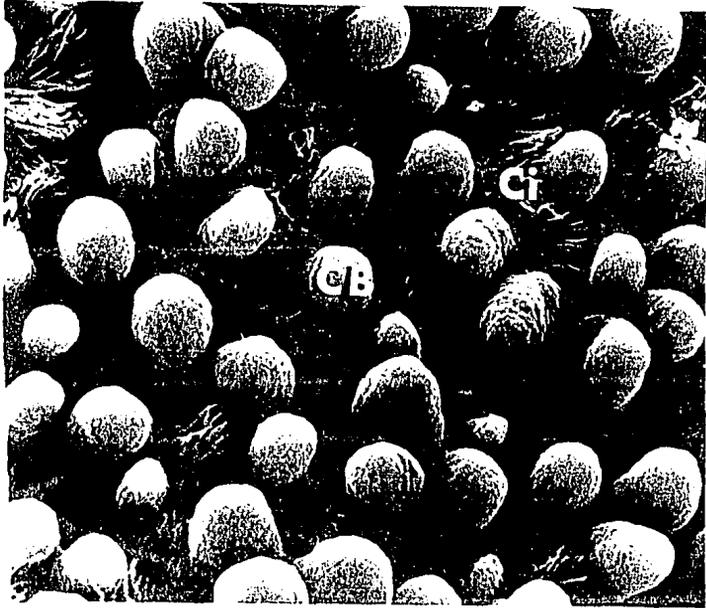
Microfotografías 6 y 7 (9 días). En hembras (superior) disminuye la población ciliar (Ci), las células bronquiales (CB) presentan invaginaciones ocasionadas por la excreción de material (mt). En machos (inferior) también se observan las invaginaciones en célula bronquiolar no ciliada (CB), aunque los cilios (Ci) se ven un poco alterados, también se observa excreción de material (mt), 1500 y 2000x.



Microfotografías 8 y 9 (15 días). Este día corresponde a la última inhalación del tratamiento. En hembras (superior) se aprecia una gran hiperplasia e hipertrofia, pocos cilios (Ci) y gran división celular (DC) de las células bronquiales no ciliadas (CB), este es el mayor daño observado en las hembras. En los machos (inferior) el mayor daño es lisis celular (Li) en célula bronquial no ciliada (CB), así como gran cantidad de material excretado (mt), 1000 y 2000x.



Microfotografías 10 y 11 (21 días). Comienza una recuperación en hembras (superior), en machos (inferior) todavía se perciben zonas con pocos cilios (Ci) y excreción de material (mt), 1000 y 2200x respectivamente.



Microfotografía 12 (40 días). La hembras presentaron una recuperación total, se observa la población celular muy semejante al control. Célula bronquiolar no ciliada (CB) y cilios (Ci) normales, (2000x).

DAÑOS BRONQUIOLARES PRODUCIDOS POR ACETATO DE PLOMO

DIFERENCIAS POR GENERO

DÍAS	CONTROL	HH HEM	HH MAC	CI HEM	CI MAC	MT HEM	MT MAC	LI MAC
1	NORMAL							
2		X	XXX					
5		X	XX					
7		XX	XX					
9		XXX	XXX	XX	X	X	XX	
15		XXX	XXX	XX	XX	X	XX	XXX
16		XXX	XXX	XX	XX	XX	XXX	
19		XXX	XXX	XX	XXX	XX	XX	
21		XXX	XXX	XX	XX	X	X	
23		XX	XX	XX	XX	X	X	
25		XX	XX	XX	XXX	X	XX	
31		XX	XX	X	X			
40	NORMAL HEM*							

HH - Hiperplasia e hipertrofia
CI - Disminución de cilios
MT - Secresión de material
LI - Lisis Celular

X INCIPIENTE
XX MODERADO
XXX GENERALIZADO

III.3 CUANTIFICACIÓN DE PLOMO EN TEJIDO PULMONAR

En lo que respecta a la cuantificación de la concentración de plomo en el tejido pulmonar se obtuvieron los siguientes valores con la desviación estándar, para cada grupo (TABLA 9).

RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN TEJIDO PULMONAR DIFERENCIAS POR SEXO

DÍAS	EXP. HEMBRAS $\mu\text{g/g} \pm \text{DS}^*$	EXP. MACHOS $\mu\text{g/g} \pm \text{DS}^*$	CONTROL HEMBRAS $\mu\text{g/g} \pm \text{DS}^*$	CONTROL MACHOS $\mu\text{g/g} \pm \text{DS}^*$
1	25.10 \pm 4.50	18.65 \pm 7.20	33.31 \pm 5.30	14.20 \pm 3.40
3	65.00 \pm 6.40	23.80 \pm 4.50	20.10 \pm 7.30	13.30 \pm 5.60
5	173.10 \pm 9.60	43.95 \pm 6.40	15.20 \pm 6.80	12.10 \pm 3.30
7	164.50 \pm 8.70	170.10 \pm 18.10	15.20 \pm 6.20	12.82 \pm 4.40
9	181.80 \pm 7.70	173.10 \pm 18.10	16.20 \pm 3.40	11.15 \pm 6.40
15	253.10 \pm 10.12	205.48 \pm 11.40	19.31 \pm 5.40	8.12 \pm 2.50
16	135.10 \pm 6.20	74.10 \pm 8.30	5.19 \pm 3.30	7.21 \pm 3.10
19	75.10 \pm 5.40	94.73 \pm 9.10	6.37 \pm 2.20	3.58 \pm 2.10
24	67.20 \pm 6.40	62.90 \pm 7.10	15.49 \pm 6.10	6.02 \pm 2.20
31	62.20 \pm 5.50	45.30 \pm 6.20	17.76 \pm 3.40	7.21 \pm 2.40
40	61.20 \pm 4.60	42.42 \pm 5.30	19.26 \pm 6.60	13.03 \pm 6.30

*DS=DESVIACIÓN ESTÁNDAR

n=4

TABLA 9. Concentración de plomo en tejido pulmonar con las desviaciones estándar para cada grupo

Se observó que las hembras presentaron los valores más altos durante el tratamiento (las inhalaciones) y disminuyeron considerablemente, al final del mismo, igual que los machos, con tendencia hacia los controles.

Para los **grupos tratados**, en hembras se observa un aumento acelerado desde el día 1 hasta el 5, después se observa una especie de meseta y vuelve a aumentar hasta obtener su punto máximo en los 15 días (253 $\mu\text{g/g}$ de tejido seco), que corresponde a la última inhalación. Después disminuye considerablemente hasta acercarse a los niveles de los controles.

Un comportamiento muy similar ocurre en los machos, a diferencia de que en estos se presentaron valores más bajos de manera constante, el punto máximo para este grupo ($205.48 \pm 11.40 \mu\text{g/g}$ de tejido seco) y que finalmente también tiende a semejarse a los controles al final de la **FASE II**.

A continuación se analiza cada punto entre los grupos para conocer las diferencias significativas estadísticamente:

VALORES OBTENIDOS DE LA "T" PARA 4 PAREJAS DE GRUPOS

DÍAS	GRUPO I EXPERIMENTALES HEMBRAS VS EXPERIMENTALES MACHOS	GRUPO II EXPERIMENTALES HEMBRAS VS CONTROL HEMBRAS	GRUPO III EXPERIMENTALES MACHOS VS CONTROL MACHOS	GRUPO IV CONTROLES HEMBRAS VS CONTROLES HEMBRAS
1	P=0.008 *	P=0.625 **	P=0.036 **	P=0.000 *
3	P=0.000 *	P=0.000 *	P=0.027 *	P=0.190 **
5	P=0.000 *	P=0.000 *	P=0.000 *	P=0.443 **
7	P=0.597 **	P=0.000 *	P=0.000 *	P=0.564 **
9	P=0.150 **	P=0.000 *	P=0.000 *	P=0.213 **
15	P=0.000 *	P=0.000 *	P=0.000 *	P=0.009 *
16	P=0.000 *	P=0.000 *	P=0.000 *	P=0.407 **
19	P=0.010 *	P=0.000 *	P=0.000 *	P=0.116 **
24	P=0.403 **	P=0.000 *	P=0.000 *	P=0.027 *
31	P=0.007 *	P=0.000 *	P=0.000 *	P=0.002 *
40	P=0.002 *	P=0.000 *	P=0.000 *	P=0.225 **

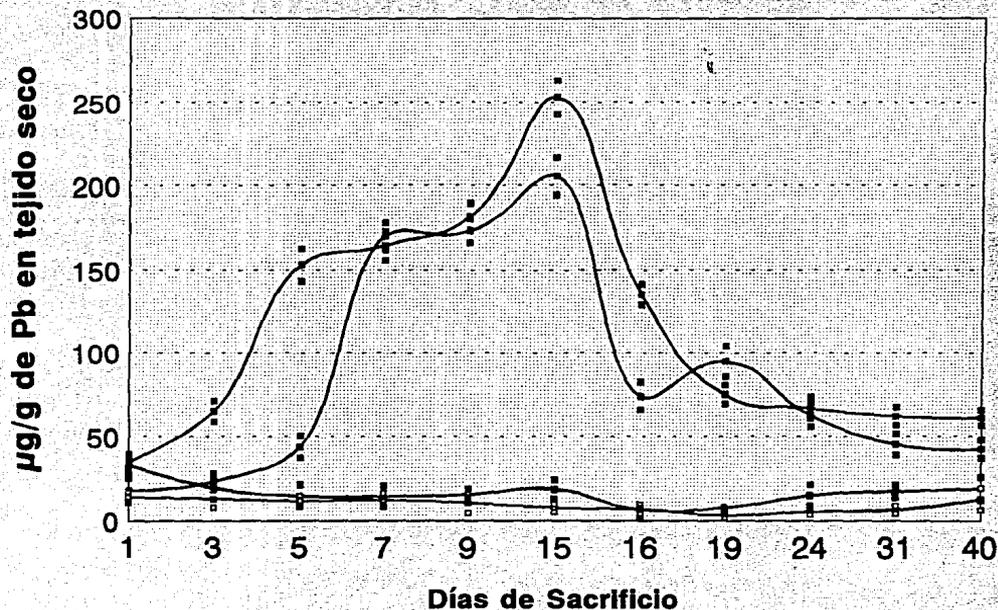
* Existe diferencia estadísticamente significativa

** No hay diferencia estadísticamente significativa

En la **GRÁFICA 4** se presentan los promedios para una $n=4$ por cada muestra, así como la desviación estándar para cada dato.

RESULTADOS DE LA CONCENTRACION DE PLOMO EN TEJIDO PULMONAR

Diferencias por sexo



■ Exp. Hembras ■ Exp. Machos ■ Control Hembras ■ Control Machos

IV. DISCUSIÓN

Debido a que la contaminación es un problema que se ha ido incrementando de manera acelerada afectando el equilibrio del planeta, así como a la salud humana, es urgente reconocer los factores involucrados en este problema.

El sistema respiratorio es una vía de acceso importante para los contaminantes en el hombre, ya que está en permanente contacto con el ambiente, recibe aproximadamente 10 litros por minuto de aire, lo que lo hace un sitio susceptible a las agresiones por los contaminantes atmosféricos.

En la bibliografía se reportan escasos trabajos que estudien los problemas de salud que se presentan en una población que está expuesta cotidianamente a contaminantes atmosféricos, como lo es la población de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, sobre todo en lo que respecta a metales pesados. Fortoul, 1984; 1994; Salgado, 1993 y Rivero, 1992; han estudiado los problemas que se presentan en el aparato respiratorio debidos a algunos contaminantes, principalmente óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, ozono y metales pesados.

El plomo está presente en la atmósfera como contaminante, pero no se conocen (no hay reportes en la bibliografía) los efectos que este pueda ocasionar en la salud, específicamente en el aparato respiratorio, la importancia que requiere este conocimiento surge a partir de que en la Ciudad de México y su zona conurbada (ZMCM) se sobrepasan constantemente las normas de la calidad del aire (Rivero, 1994; SEDUE 1986; SEDESOL, 1993; Jáuregui, 1993; Legorreta, 1991).

Con anterioridad se mencionó la dificultad de establecer la correlación dosis-respuesta de un agente xenobiótico y el daño que éste pueda ocasionar, así como las dificultades para estudios directos en humanos y la creciente necesidad de investigar por medio de modelos experimentales que aportan conocimientos para establecer alguna relación con la morbilidad e incluso mortalidad de los individuos (Samet, 1991).

MODELO EXPERIMENTAL

En lo que respecta al modelo experimental utilizado es importante mencionar que no existen trabajos diferentes al que se ha utilizado por Fortoul y colaboradores en el Dpto. de Biología Celular y Tisular, Fac. Medicina, UNAM, que reporten algún modelo en el que el plomo ingrese al organismo vía inhalación, esta

característica es muy importante ya que lo hace un modelo específico para el daño en el tejido pulmonar, por ser una vía directa para el ingreso del plomo, en otro tipo de modelos experimentales la vía de ingreso es por ingesta o intravenosa ya que generalmente los tejidos a analizar son principalmente riñón, hígado y sistema nervioso central.

En este modelo experimental la dosis es muy importante ya que también va a determinar el grado de lesión. Salgado, 1993 (Dpto. de Biología Celular y Tisular) reportó que la concentración idónea para este modelo es de 0.1M así como el tiempo de exposición; ya que es una dosis para un tratamiento agudo, que ocasiona daño sin ser letal (es importante que en el modelo se reporten daños en el tejido a estudiar).

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

MICROSCOPIA DE LUZ

Para la descripción morfológica de los tejidos se recurrió inicialmente a la microscopía de luz. En lo que respecta a los alvéolos no se apreciaron cambios, confirmándose con Microscopía Electrónica de Barrido, ya que el tejido se presentó muy semejante al tejido de los grupos control. Esto se puede atribuir a que la cinética de la partícula de plomo que penetró al organismo se afectó por el tamaño, es decir, que el tamaño de la partícula va a determinar hasta dónde se puede penetrar en los diferentes tipos celulares del pulmón, una partícula igual o mayor de 1.1 - 2.1 μm puede llegar hasta alvéolos (Bravo, 1989), lo que indica que la partícula de plomo que ingresó a los tejidos, en este modelo experimental es mayor o igual a 1.1 μm debido a que no hubo daño en alvéolos fue porque la partícula no penetró en éstos.

Otra posibilidad de que no se manifestaran daños en alvéolos (parénquima) es que quizá los cambios se dieran a nivel bioquímico y no morfológico, aunque no se conoce ningún antecedente que pueda explicarlo.

Los mecanismos de defensa del pulmón pueden impedir que el daño se extienda hasta alvéolo, la principal función de la célula bronquiolar no ciliada es el metabolismo de los agentes xenobióticos (Rivero, 1988; Samet, 1991), lo cual implica que las células del bronquiolo inactiven la sustancia tóxica (plomo) y el daño no se extienda hasta alvéolo.

BRONQUIOLO

Los cambios estructurales observados a este nivel, en célula ciliada son alteraciones en los cilios, disminución en la cantidad de los mismos, también reportados en Fortoul, 1994; Cano-Valle, 1992 y Salgado, 1993, se presentan también en otros contaminantes como ozono, bióxido de azufre, y cadmio (López, 1994; Sánchez, 1994), como una manifestación del daño que produce el agente tóxico.

La hiperplasia e hipertrofia que se presentan como una respuesta al daño es difícil de documentar ya que muchas funciones de esta célula no han sido descritas. Sin embargo como célula totipotencial y metabolizadora de los productos xenobióticos, es posible que su proliferación se deba a esta respuesta (Rivero, 1988), para evitar el daño y para la reparación del tejido, ya que da origen a la célula ciliada también (Rivero, 1988; Fortoul, 1992). Este daño se va incrementando conforme aumenta la cantidad de inhalaciones para los últimos días de la fase I.

La hiperplasia e hipertrofia de la célula bronquiolar no ciliada son generalizadas en ambos sexos, pero en los machos se presentó desde el día 2 del tratamiento, lo que indica que hubo una respuesta más temprana por parte de los machos.

La excreción de material es muy notoria al final de la fase I y principios de la fase II del tratamiento, estos gránulos podrían ser material lipoproteico que ayuda a eliminar los compuestos del plomo (Fortoul, 1982), la célula bronquiolar no ciliada prolifera ante agresiones con cadmio y bióxido de nitrógeno como se menciono anteriormente, este mecanismo se propone en la literatura, sin embargo no está descrito para el caso de compuestos de plomo que pudieran estar presentes.

Lisis celular no está descrito el daño en la literatura con respecto al plomo, bajo las mismas condiciones del modelo experimental se ha reportado para cadmio (Sánchez, 1994; López, 1994)

La recuperación, al final de la fase II, en ambos sexos; reafirma que los daños celulares por una exposición aguda son reversibles, se esperaría lo contrario para una exposición más prolongada.

DIFERENCIAS POR SEXO

La respuesta tisular a la agresión por algún tipo de agente xenobiótico, puede variar entre sexos, debido a que la susceptibilidad de alguno sea mayor por las diferencias fisiológicas naturales.

Corey, 1989; Arena, 1986; Tsalev, 1984; Legaspi, 1988; Fukaya, 1993, reportan que las concentraciones de plomo en sangre son más altas en individuos femeninos que en masculinos, tanto en niños como en adultos. Estas diferencias significativas por sexo proporcionan elementos para pensar que las diferencias entre sexos se pueden presentar a otros niveles como son los daños en el aparato respiratorio.

Con este modelo experimental se lograron obtener diferencias significativas con respecto al daño causado por el plomo en el pulmón, en machos fue el más severo (lisis celular); en hembras también se presentaron alteraciones importantes, en ambos sexos coinciden que para los días 15 y 16 se presenta el mayor daño respectivamente, pero no al mismo nivel, esto nos lleva a considerar que existe mayor susceptibilidad en los machos (en este modelo experimental) ante la agresión por plomo en las células bronquiolares no ciliadas.

No se ha descrito ningún mecanismo que lo explique, sin embargo las diferencias fisiológicas entre sexos es una probable respuesta al hecho de que en los machos se presenten los daños más severos que en las hembras.

El presente trabajo se considera pionero por las condiciones y las características propias, dando pautas a posteriores análisis más profundos como el recurrir a Microscopía Electrónica de Transmisión y a morfometría, con la finalidad de que se pudieran obtener datos más específicos, en cuanto a los daños producidos entre sexos y la correlación con sus funciones fisiológicas.

CUANTIFICACIÓN DE PLOMO EN TEJIDO PULMONAR

Desde el inicio del experimento (al día 1), se nota en los grupos controles una tendencia de las hembras a tener las concentraciones de plomo más altas que en los machos y se mantienen un poco más elevados los niveles en las mismas en algunos otros puntos, en promedio, las hembras controles tienen los puntos más altos en las concentraciones de plomo que en los machos controles.

Para los grupos experimentales las concentraciones de plomo en tejido pulmonar indican que las hembras fijan mayor cantidad de plomo en el tejido pulmonar, como la bibliografía lo refiere (Kimiaki Sumino, 1975; Fortoul, 1992) para los casos de autopsias, hasta este momento no se había realizado en modelos experimentales. No existe información al respecto.

Se observa que a partir del día 1 las hembras tienen la concentración más elevada que los machos y se mantiene esta diferencia hasta los días 7 y 9, en el punto más importante en lo que respecta al daño celular para ambos sexos, y la última inhalación, es el día 15, la diferencia estadísticamente significativa en este punto implica que la cantidad de plomo en el tejido no está directamente relacionada con el daño, ya que la concentración para los machos es de

205.48±11.40 µg/g de tejido seco, presentando lisis celular en las células bronquiolares no ciliadas y para las hembras la concentración es de 253.10±12.1 µg/g de tejido seco, los daños para este día son hiperplasia e hipertrofia, disminución de cilios, excreción de material, generalizados, pero no es tan severo como el de los machos.

Lo anterior podría ser resultado de las diferencias que existen en cuanto a una mayor captación del metal. Así como una mayor tolerancia de las hembras ante el daño.

El hecho de que en las hembras tratadas se presenten las más altas concentraciones de plomo y no los daños más severos nos indica que probablemente el plomo se moviliza a otras partes del organismo o inclusive le eliminan, como lo reportan Corey, 1989 y Tsalev, 1984; más del 50% del plomo absorbido se va a la sangre, de allí toma varias rutas hasta depositarse en huesos o eliminarse, por la orina, el sudor, las excretas, la saliva, la leche; esto sugiere que en los machos se movilice lo suficiente para poder ser eliminado del tejido pulmonar, y presentar las concentraciones más bajas, además de que estos sean más susceptibles al daño. Algo semejante sucede en los humanos en cuanto a las concentraciones de plomo en pulmón, porque no existe reporte de daños, ya que Kimiaki Sumino, 1975; reporta que para pulmón y otros órganos son significativas las diferencias, en mujeres las concentraciones son más elevadas, así como también lo reporta Fortoul, 1992.

V. CONCLUSIONES

- En el modelo experimental utilizado se apreciaron alteraciones morfológicas severas en bronquiolo, con lo cual se considera que:
 1. El modelo experimental es el adecuado para los objetivos planteados, y
 2. El aparato respiratorio es una vía de exposición importante para el plomo como contaminante atmosférico.

- Las diferencias morfológicas, entre sexos consistieron principalmente en:
 1. Al principio del tratamiento fueron casi iguales, pero a los 9, 15 y 16 días (durante la inhalación) se comenzó a evidenciar mayor daño en los machos a diferencia de las hembras, aunque corresponde al mayor daño para ambos.
 2. En los días posteriores inmediatos a la inhalación se observó una rápida recuperación de los machos.
 3. Al final se observó una recuperación rápida, en ambos grupos, pero en los machos fue más evidente porque alcanzaron el mayor daño.

- Para la concentración de plomo en el tejido pulmonar, se concluye que hay diferencias significativas entre géneros.
Durante el experimento se observaron los valores más altos en las hembras, también la concentración pico en machos es el mismo día, estas diferencias son estadísticamente significativas.

- No parece existir una correlación directa entre la cantidad de plomo en el tejido y las alteraciones morfológicas que se presentan en bronquiolo terminal, como respuesta la daño.

- Los machos son menos tolerantes ante la exposición al plomo.

- Las hembras son menos susceptibles al daño, pero captan más plomo en el tejido.

- No se necesita tener valores muy altos de plomo en el tejido para que se presenten daños de consideración.

- Es probable suponer que la bioacumulación de plomo por las hembras evite el daño, en comparación con los machos, que al no captarlo quede circulando y produzca mayor daño.

- Con la creciente problemática de la contaminación atmosférica en la Ciudad de México, es urgente reconocer los factores involucrados que ocasionan los problemas de salud en la población.

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Albert, A. **Curso básico de toxicología ambiental**. CPEHS, OPS Y OMS. Limusa, México; 1990. 310 p.
2. Albert, L. y F. Badillo. "Environmental lead in Mexico". *Rev Env Contamin Toxicol*. 1991; 17:1-49.
3. Amdúr, M, J. Doull y J. Klaassen. **Toxicology : The basic science of poisons**. 4a. edc. Pergamon Press. U.S.A., 1991. pp. 1033.
4. Arena, J. y R. Drew. **Poisoning: Toxicology, Symptoms, Treatments**. 5a. edc. Charles C. Thomas Co. U.S.A; 1986. pp. 1128.
5. Bravo, A, E. Sosa y J. Torres. " Ozono y lluvia ácida en el Ciudad de México" *Ciencias*. 1991(22):33-40
6. Camacho, H. "Octanaje, plomo y contaminación". *Ciencias Ambientales, Secc. Científica*. 1980; 1:11-15.
7. Campos, H. "Los metales pesados, su contaminación y sus efectos tóxicos". *Contaminación Ambiental, Medellín (Colombia)*. 1987; 9(17):63-70.
8. Cano-Valle, F; K. Hidalgo y T. Fortoul. "Alteraciones en el aparato respiratorio por algunos contaminantes ambientales". *Rev. Fac. Med. UNAM*. 1991; 34(1):48-53.
9. Carlisle, J; M. Wade. " Predicting blood lead concentrations from environmental concentrations". *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 1992; 16:280-289.
10. Corey, G. y L. Galvão. **Plomo**. C.P.E.H.S., OPS Y OMS, México; 1989. pp.103
11. Dorato, M. "Inhalation exposure technology, dosimetry, and regulatory issues". *Toxicologic Pathology*. 1991; 19(4 part 1):373-383.
12. Ezcurra, E. "¿Qué mide el IMECA?" *Ciencias* 1991a; (22):41-44.
13. Fávez, G. "El impacto de la contaminación atmosférica en los pulmones". *Schweiz. Med. Wschr*. 1986; 116(25): 1-6.
14. Folinsbee, L. "Human health effects of air pollution". *Environ Health Persp*. 1992; 100:45-56.
15. Foo, SC. et al . "Metals in hair as biological indices for exposure". *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. 1993; 65:S83-S86.
16. Fortoul, T. **Mecanismos de lesión por algunos contaminantes. Cadmio y su acción patogénica sobre pulmón**. Tesis de maestría en Ciencias Médicas. Facultad de Medicina, UNAM. 1984.
17. Fortoul, T, et al. "Cadmium, lead, nickel, cobalt and copper concentrations in lung tissues. A comparative study in eighty four autopsy cases from the National Institute of Cardiology. 1984-1989". Abstracts Fourth International Conference. Environmental Lung Disease. Original Investigations. Quebec, Canadá. Sept. 25-28 de 1992. pp. 18.

18. Fortoul, T; y O. Rivero. **Lung tissue as marker of metal pollution in the air; A comparative study between the 50's and 80's.** A joint United States - México Conference fate, Transport and interactions of metals. 1993.
19. Fuentes, V. "La contaminación por partículas suspendidas en la atmósfera de la Ciudad de México" *Ciencias*. UNAM. 1991a; (22): 42-49.
20. Fukaya, Y; et al. "Lead exposure of workers in the ceramics industry and relevant factors". *Nippon Eiseigaku Zasshi*. 1993; 48(5):980-991.
21. García de Miranda, I. **Apuntes de climatología**. UNAM, México, 1986, p.6
22. Halffter, G. "Diversidad Biológica y cambio global" *Ciencia y Desarrollo*. 1992; 17(104): 33-38.
23. Hildebrand, D. "Effect of lead acetate on reproduction". *Am. J. Obstet. Gynecol.* 1973; 115(8):1058-1065.
24. Instituto Nacional de Ecología. **Boletín informativo de la calidad del aire**. SEDESOL. No. 11. México. 1992n. pp. 15.
25. Instituto Nacional de Ecología. **Boletín informativo de la calidad del aire**. SEDESOL. No. 13. México. 1993e. pp. 17.
26. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): First Assessment Report; Organización Meteorológica Mundial - Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas. Ginebra, Suiza, Agosto 1990.
27. Jáuregui, E. "The urban climate of Mexico City" *Proc. WMO Technical Conf. Urban Climatol. Applic. Special Regard Trop. Areas*, World Meteor Organiz. 1985. pp. 63-86.
28. Jáuregui, E. "La contaminación atmosférica". *Ciencia y Desarrollo*. 1993; 19(109):53-60.
29. Jiang- Xuezhi; Liang Youxin y Wang Yilan. "Studies of lead exposure on reproductive system: A review of work in China". *Biomedical and Environmental Sciences*. 1992. 5:266-275.
30. Kessel, R. y R. Kardon. **Tissues and organs: a text-atlas of scanning electron microscopy**. W. H. Freeman and Co. S. Francisco, U.S.A; 1979. p. 203-217.
31. Kimiaki-Sumino; et al . "Heavy metals in normal japanese tissue". *Arch. Environ. Health*. 1975; 30:487-494.
32. Legaspi, JA. "Niveles de plomo en sangre, en población general del Valle de México. Estudio preliminar". 1988; 124(9-10):375-380.
33. Legorreta, J. "La grave contaminación atmosférica de la ciudad de México". *Ciencias*. 1991a; 22:55-61.
34. Lerner, R y G. Trigg. **Enciclopedia de la física**. Alianza; Barcelona , 1987 p. 80-83.
35. Livett, E. **Heavy metal pollution the atmosphere**. Encyclopedia of Earth System Science, vol 2. U.S.A., 1992. p. 507-518.
36. López I. **Alteraciones alveolares secundarias a la inhalación aguda de diferentes dosis de Cloruro de Cadmio (0.006. M y 0.012M) en ratón**. Tesis para obtener el grado de licenciatura en Biología. Fac. de Ciencias, UNAM, 1994.

37. Manahan, S. **Environmental Chemistry**. 4a. edc. Grant Ed. 1988. Boston (EUA).
38. Masera, C. "México y el cambio climático global: un balance crítico". *Ciencia y Desarrollo*. 1991; 17(10): 41-44.
39. Naturaleza. "Problemas con en plomo". *Naturaleza*. 1982; 4: 145-148.
40. Needleman, H. "The health effects of low level exposure to lead". *Am. Rev. Publ. Health*. 1991; 12:111-140.
41. Nemery, B. "Metal toxicity and the respiratory tract" *Eur Respir J*. 1990; 3:202-219.
42. Organización Mundial de la Salud. **Criterios de salud ambiental 3 : Plomo**. OMS/OPS, Publicación Científica No. 8. México, 1979. pp.169.
43. Parsons, PJ. "Monitoring human exposure to lead: An assessment of current laboratory performance for the determination of blood lead". *Environmental Research*. 1992; 57:149-162.
44. Petróleos Mexicanos. **Disminución del plomo en las gasolinas. Taller sobre normatividad del plomo**. Subdirección Técnica Administrativa. Gerencia de Protección Ambienta. Petróleos Mexicanos. 1990, México. pp. 42
45. Revich, BA. "Lead in hair and urine of children and adults from industrialized areas" *Arch Environ Health*. 1994; 49(1):59-62.
46. Rivero, O; G. Ponciano y T. Fortoul. **Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria**. SSA, UNAM Y FCE, México, 1993 pp.228.
47. Rivero, S; et al. **Neumología**. Trillas México, pp. 366
48. Riveros, H. "Fuentes móviles vs. fuentes fijas de contaminación". *Ciencia y Desarrollo*. 1993; 19(109):61-63.
49. Robert, A. "Lead toxicity: current concerns. *Environ Health Persp*. 1993; 100:177-187.
50. Salazar-Schettino, B; E. Luna y H. Tudon. "Determination of lead levels in blood in infatile population of Mexico City 1989. Preliminary study". *Arch. Invest. Med. (Méx)*. 1991; 22:245-248.
51. Samet, J. y M. J. Utell. "The environmental and the lung" . *JAMA*. 1991; 266:670-675.
52. Salgado, R. **Alteraciones ultraestructurales de la célula de clara de pulmón de ratón secundarias a la inhalación aguda de plomo**. Tesis para obtener la especialidad en Microscopía Electrónica aplicada a las Ciencias Biológicas. Fac. de Ciencias, UNAM, 1993.
53. Sánchez, I. **Alteraciones alveolares secundarias a la inhalación aguda de diferentes dosis de cloruro de cadmio (0.006M y 0.012M) en ratón**. Tesis para obtener la licenciatura en Biología. Fac. de Ciencias, UNAM, 1994.
54. Secretaría de Desarrollo Social **Boletín informativo de la calidad del aire**. SEDESOL. No. 9. México. 1992s. pp. 11.
55. Secretaría de Desarrollo Social **Boletín informativo de la calidad del aire**. SEDESOL. No. 8. México. 1992a. pp. 11.

56. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología **Boletín informativo de la calidad del aire : Período 1986-1991**, SEDUE, Subsecretaría de Ecología. No. 0. México, 1991. pp. 23.
57. Shukla, G. y R. Singhal. "The present status of biological effects of toxic metals in the environment: lead, cadmium, and manganese". *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 1984; 62:1015-1031.
58. Suárez, G. "Análisis de la calidad atmosférica en la Ciudad de México". *Información Científica y Tecnológica.* 1991; 13(173):36-40.
59. Tsalev, D. y Z. Zaprinov. **Atomic absorption spectrometry in occupational and environmental health practice. Analytical aspects an health significance.** CR Press, Florida, 1984. p. 106-112.
60. Turk, A y J. Turk . **Tratado de Ecología.** Interamericana, México, 1987. p. 272-314.