



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PETRÓLEOS MEXICANOS
HOSPITAL CENTRAL SUR DE ALTA ESPECIALIDAD
SERVICIO DE MEDICINA DEL TRABAJO

***ANÁLISIS DE UN MONITOREO BIOLÓGICO DE
EXPOSICIÓN LABORAL A AGENTES QUÍMICOS EN
TRABAJADORES EXPUESTOS A BENCENO,
TOLUENO Y XILENOS EN UNA PLANTA
PETROQUÍMICA DE MÉXICO***

TESIS DE POSTGRADO

QUE PRESENTA:

DR. JESÚS GARCÍA PAREDES

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**MÉDICO ESPECIALISTA DE MEDICINA DEL
TRABAJO**

TUTOR DE TESIS: DR. FRANCISCO MERCADO CALDERÓN
ASESOR DE TESIS: DRA. MARÍA ELENA SOTO LÓPEZ



MÉXICO, D. F.

AGOSTO 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

**DR. CARLOS FERNANDO DÍAZ ARANDA
DIRECTOR DEL HSCAE DE PETRÓLEOS MEXICANOS**

**DRA. JUDITH LÓPEZ ZEPEDA
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN**

**DR. JOSÉ GUADALUPE ARANDA MARTÍNEZ
PROFESOR TITULAR DE LA ESPECIALIDAD DE MEDICINA DEL
TRABAJO DEL HCSAE**

**DR. FRANCISCO MERCADO CALDERÓN
TUTOR DE TESIS
COORDINADOR TÉCNICO DEL LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA
INDUSTRIAL DEL HOSPITAL GENERAL DE NANCHITAL**

**DRA. MARÍA ELENA SOTO LÓPEZ
ASESOR DE TESIS
ESPECIALISTA EN MEDICINA INTERNA Y REUMATOLOGÍA
MAESTRA EN CIENCIAS MÉDICAS**

DEDICATORIA

A MI FAMILIA, LO MAS IMPORTANTE...
A QUIENES CONFIARON EN MÍ...
A QUIENES ME APOYARON EN TODO MOMENTO...
A ALEJANDRA.

A G R A D E C I M I E N T O S

POR SU COLABORACIÓN Y CONFIANZA:

- Dra. María Elena Soto López, Especialista en Medicina Interna y Reumatología. Maestra en Ciencias Médica.
- Dr. Francisco Mercado Calderón, Coordinador Técnico del Laboratorio de Toxicología Industrial del Hospital General Nanchital.

POR SU COMENTARIO OPORTUNO:

- Profesores, especialistas, compañeros y personal del Servicio de Medicina del Trabajo del HCSAE

POR HACER MI ESTANCIA EN EL HOSPITAL UNA BUENA EXPERIENCIA:

- Personal del Hospital Central Sur de Alta Especialidad de PEMEX.

“LA VICTORIA Y EL FRACASO SON DOS
IMPOSIBLES, Y HAY QUE RECIBIRLOS
CON IDÉNTICA SERENIDAD Y CON
SALUDABLE PUNTO DE DESDÉN”.

Rudyard Kipling, novelista británico.

CONTENIDO

01. TÍTULO DEL PROYECTO	1
02. INVESTIGADORES	1
03. SIGLAS Y ABREVIATURAS	2
04. JUSTIFICACIÓN	4
05. MARCO NORMATIVO	7
06. INTRODUCCIÓN	9
06.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL BENCENO	8
06.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL TOLUENO	20
06.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL XIENO	28
06.2 MONITOREO BIOLÓGICO	35
06.3 TIPOS DE MONITOREO BIOLÓGICO	36
07. HIPÓTESIS	40
08. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	41
09. OBJETIVOS	42
10. METODOLOGÍA	43
11. TIPO DE ESTUDIO	44
12. DISEÑO	45
13. DEFINICIÓN DEL UNIVERSO	45
14. CRITERIOS DE INCLUSIÓN	45
15. CITERIOS DE EXCLUSIÓN	46
16. SELECCIÓN DE LA MUESTRA	46
17. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES	46
18. RESULTADOS	47
19. DISCUSIÓN	53
20. CONCLUSIONES	56
21. GLOSARIO	58
22. BIBLIOGRAFÍA	78

TÍTULO

ANÁLISIS DE UN MONITOREO BIOLÓGICO DE EXPOSICIÓN LABORAL A AGENTES QUÍMICOS EN TRABAJADORES EXPUESTOS A BENCENO, TOLUENO Y XILENOS EN UNA PLANTA PETROQUÍMICA DE MÉXICO.

- **INVESTIGADOR:** Dr. Jesús García Paredes. Médico Residente de la Especialidad de Medicina del Trabajo del HCSAE PEMEX.

- **TUTOR:** Dr. Francisco Mercado Calderón, Coordinador Técnico del Laboratorio de Toxicología Industrial del Hospital General Nanchital.

- **ASESOR:** Dra. María Elena Soto López, Especialista en Medicina Interna y Reumatología. Maestra en Ciencias Médica. C. P. :4354796

INSTITUCIONES INVITADAS

- PEMEX Petroquímica.
- Complejo Petroquímico Cangrejera.
- Laboratorio de Toxicología Industrial del Hospital General Nanchital (HGN).
- Subdirección de Servicios de Salud de PEMEX.
- Gerencia de Prevención Médica de PEMEX.
- Subgerencia de Salud en el Trabajo.

SIGLAS Y ABREVIATURAS

01. **ACGIH:** American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales).
02. **BAL:** Biological Action Level (Nivel de Acción Biológica).
03. **BEI:** Biological Exposure Indices (Índices de Exposición Biológica).
04. **BTX:** Benceno, Xileno y Tolueno.
05. **CAS:** Chemical Abstract Service (Servicio de Información de Sustancias Químicas de los Estados Unidos de América).
06. **CEE:** Comunidad Económica Europea.
07. **CPC:** Complejo Petroquímico Cangrejera.
08. **DFG:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (Investigación Alemana de Daño a Transportistas).
09. **EKA:** Exposition Equivalentents for Carcinogenic Materials (Equivalente de Exposición de Material Carcinogénico).
10. **FIOSH:** Finnish Institute of Occupational Health (Instituto Finlandés de Salud Ocupacional).
11. **HCSAE-PÉMEX:** Hospital Central Sur de Alta Especialidad Petróleos Mexicanos.
12. **IARC:** International Agency for Research on Cancer (Agencia Internacional Para la Investigación Sobre el Cáncer).
13. **LTI-HGN:** Laboratorio de Toxicología Industrial del Hospital General Nanchital.
14. **LMA:** Leucemia Mieloblástica Aguda.
15. **LMP:** Límite Máximo Permisible de Exposición.

16. **LMPE-CT:** Límite Máximo Permisible de Exposición de Corto Tiempo.
17. **LMPE-PPT:** Límite Máximo Permisible de Exposición-Promedio Ponderado en Tiempo.
18. **MALP:** Monitoreo Ambiental Laboral Personal.
19. **MBDPE:** Monitoreo Biológico de Daño Precoz o de Efecto.
20. **MBEGT:** Monitoreo Biológico de Efecto Genético Temprano.
21. **MBELAQ:** Monitoreo Biológico de Exposición Laboral a Agentes Químicos.
22. **MBSG:** Monitoreo Biológico de Susceptibilidad Genética.
23. **NIOSH:** National Institute for Occupational Safety and Health (Instituto Nacional para la Salud y Seguridad en el Trabajo).
24. **NOM:** Norma Oficial Mexicana.
25. **OSHA:** Occupational Safety and Health Administration (Administración de Seguridad y Salud en el Trabajo).
26. **PEL:** Límite de Exposición Permisible (que establece la OSHA).
27. **PPQ:** PÉMEX Petroquímica
28. **PPT:** Promedio Ponderado en Tiempo.
29. **RHNM:** Registro Histopatológico de las Neoplasias Malignas.
30. **s-AFM:** Ácido s-fenilmercaptúrico.
31. **STPS:** Secretaría del Trabajo y Previsión Social.
32. **TLV:** Threshold Limit Value (Valor Umbral Límite), recomendado por la ACGIH.
33. **t,t-AM:** Ácido trans, trans-mucónico.

JUSTIFICACIÓN

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos binarios constituidos solamente por carbono (C) e hidrógenos (H). A este grupo pertenece el BTX (Benceno, Tolueno y Xilenos), cuya importancia radica en los múltiples usos que se le da en las diferentes ramas de la industria como materia prima y los riesgos a la salud que implica su exposición para los trabajadores y la población en general.

Las principales fuentes de obtención de hidrocarburos aromáticos son el alquitrán de hulla y el petróleo, el cual, en cada yacimiento contiene hidrocarburos aromáticos en cantidades variables. Los principales compuestos aromáticos que se obtienen del petróleo son el BTX y en menor medida, naftaleno y antraceno. La mayor parte de las mezclas BTX que se producen en las refinerías se suelen obtener por los procesos de reformado catalítico y craqueo al vapor fundamentalmente.

Actualmente, la petroquímica basada en naftas de petróleo aporta más del 96% de la producción mundial de BTX, que permite soportar una muy diversificada y en constante crecimiento industria petroquímica⁽¹⁾

México no es la excepción, la creciente producción de hidrocarburos aromáticos en México, en este caso, las mezclas BTX, pone de manifiesto su importancia industrial⁽²⁾ (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1 Producción de BTX en PEMEX Petroquímica (En miles de toneladas)						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Benceno	106	94	107	114	136	160
Tolueno	141	152	183	235	214	253
Xileno	66	86	68	73	31	35

Fuente: Statistical Yearbook, PEMEX, p. 39. 2006

El benceno, por sus propiedades cancerígenas, es considerado el hidrocarburo aromático más perjudicial para la salud. En México, el cáncer es la segunda causa de muerte en la población general desde 1992 hasta las estadísticas preliminares del 2002⁽³⁾; el seguimiento de casos nuevos, es llevado a cabo por el RHNM (Registro Histopatológico de las Neoplasias Malignas), el cual, sin embargo, no tiene una base que pueda relacionar la actividad laboral con las enfermedades neoplásicas⁽⁴⁾.

En 1974, el Dr. Muzaffer Aksoy condujo un estudio epidemiológico donde se mostraba claramente la relación entre Benceno y Leucemia⁽⁵⁾; fue clasificado como **Cancerígeno Humano Confirmado** por la **IARC** desde 1982⁽⁶⁾, relacionado con Anemia Aplástica y Leucemia. Según Raabe y Wong (1996), en los casos de Leucemia, el tipo celular más frecuente, en trabajadores con exposición al Benceno en la industria petrolera, es la Leucemia Mieloblástica Aguda (LMA)⁽⁷⁾.

Actualmente, el Límite Máximo Permisible de Exposición para el Benceno en el ambiente laboral tiende a ser más riguroso, principalmente donde se cree que los trabajadores puedan estar expuestos de manera continua⁽⁶⁾.

En el caso del tolueno, es un disolvente cuyo efecto farmacológico tóxico radica en su acción sobre el sistema nervioso central modificando la fluidez de la membrana citoplasmática e induciendo la presencia de una curva dosis-respuesta bifásica; no se ha encontrado evidencia de carcinogenicidad, sin embargo, su exposición crónica se ha relacionado con mutagenicidad y se considera un agente teratogénico y embriotóxico⁽⁸⁾.

En el caso de los Xilenos, los niveles de exposición para períodos cortos (14 días o menos) o largos períodos (más de 1 año), pueden causar dolores de cabeza, carencia de la coordinación de los músculos, vértigos, confusión y cambios en el sentido de equilibrio. El órgano diana principal después de una exposición aguda y crónica es el sistema nervioso central, aunque también se han visto efectos nefrotóxicos; esto ocurre, generalmente, después de una exposición moderada repetida⁽⁹⁾.

Debido a la constante exposición de los trabajadores en la industria petroquímica a las mezclas de BTX y a las graves consecuencias a las que conduce la exposición crónica, ha hecho necesario contar con los elementos necesarios para cuantificar su grado de exposición al estar en contacto con este agente, tal es el caso de los Monitoreos Biológicos^(10,11,12). Por lo tanto, consideramos relevante conocer las características Físico-Químicas del Benceno, Tolueno y Xilenos, su Marco Normativo, sus LMP y los tipos de Monitoreo Biológico que existen; por tal motivo, se ha incluido en el marco teórico del presente proyecto los puntos ya comentados.

MARCO NORMATIVO

En México, el Marco Normativo que regula las condiciones de Seguridad e Higiene relativas a la producción, almacén o manejo de sustancias químicas que generen contaminación en el Medio Ambiente Laboral, es la NOM-010-STPSS-199⁽¹³⁾.

Dentro de los puntos que nos interesan están el de los Límites Máximos Permisibles de Exposición a Contaminantes del Medio Ambiente Laboral (cuadro 1.2), específicamente para el Benceno, Tolueno y Xileno, así como la Connotación en la que se encuentran contenidos, la cual se refiere a la clasificación de carcinógenos en México; en este último punto, como se observa en el cuadro 1.2, se agrupa al Benceno en la Connotación A2, que lo clasifica como Carcinógeno Humano Sospechoso, mientras que al Tolueno y los Xilenos se les agrupa en la Connotación A4, lo que significa que no están clasificados como carcinógenos en humanos.

Cuadro 1.2 Límites Máximos Permisibles de Exposición						
SUSTANCIA	No CAS	CONNOTACIÓN	LMPE-PPT		LMPE-CT o pico	
			ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Benceno	71-43-2	A2	1	3.2	5	16
Tolueno	108-88-3	A4	50	188	-	-
Xileno	1330-20-7	A4	100	435	150	655
orto-xileno	95-47-6					
meta-xileno	108-38-3					
para-xileno	106-43-3					

Nota: Los valores están calculados para condiciones normales de Temperatura y presión, así como para una jornada laboral de 8 horas diarias y 40 horas a la semana.

Fuente: NOM-010-STPS-1999, Apéndice I.

La determinación de los Límites Biológicos Máximos Permisibles de los Disolventes Orgánicos en el personal ocupacionalmente expuesto en México, se encuentra regulada en la NOM-047-SSA1-1993, la cual nos indica los Límites Biológicos Máximos Permisibles para el Benceno en la población ocupacionalmente expuesta (Cuadro 1.3)⁽¹⁴⁾.

Cuadro 1.3 Límite Biológico Máximo Permissible para Benceno, Tolueno y Xileno			
SUSTANCIA	CONCENTRACION EN MEDIO AMBIENTE	METABOLITOS TOTALES EN ORINA	
Benceno	10 ppm	Hasta 50 mg/gr. de Creatinina según la NOM-047-SSA-1993	FENOLES
	1 ppm	Hasta 20 mg/gr. de Creatinina según LTI-PPQ	
Tolueno	100 ppm	Hasta 2.5 gr./gr. de Creatinina según la NOM-047-SSA-1993	AC. HIPÚRICO
	100 ppm	Hasta 1.6 gr./gr. de Creatinina según LTI-PPQ	
Xileno	100 ppm	Hasta 1.5 gr/gr. de Creatinina según la NOM-047-SSA-1993	AC. METILHIPÚRICO
	100 ppm	Hasta 1.5 gr/gr. de Creatinina según LTI-PPQ	
<i>Nota: La determinación de Fenoles Urinarios debe realizarse al final de la jornada laboral</i>			

Fuente: NOM-047-SSA1-1993

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL BENCENO⁽¹⁵⁾

1. **NOMBRE CIENTÍFICO DEL AGENTE QUÍMICO:** Benceno.
2. **ANTECEDENTES:** En 1825, Michael Faraday aisló un compuesto puro a partir de una mezcla aceitosa que condensaba del gas del alumbrado, que era el combustible que se empleaba en las lámparas de gas. El resultado del análisis elemental a dicho compuesto mostraba una proporción de carbono e hidrógeno 1:1, lo que resultaba inusual, ya que teóricamente correspondía a una fórmula empírica de CH.

Posteriormente, en 1834, Eilhard Mitscherlich sintetizó el mismo compuesto al calentar ácido benzoico, aislado de la goma de benjuí, en presencia de cal, obteniendo un compuesto con peso molecular de aproximadamente 78, el cual corresponde a una fórmula molecular de C_6H_6 . En inglés benjuí es *benzoin* y como el nuevo compuesto derivaba de la goma de benjuí, la cual es una resina balsámica obtenida de varias especies de *styrax* (una especie vegetal que se encuentra en la India), al nuevo compuesto se le denominó en inglés *benzene*.

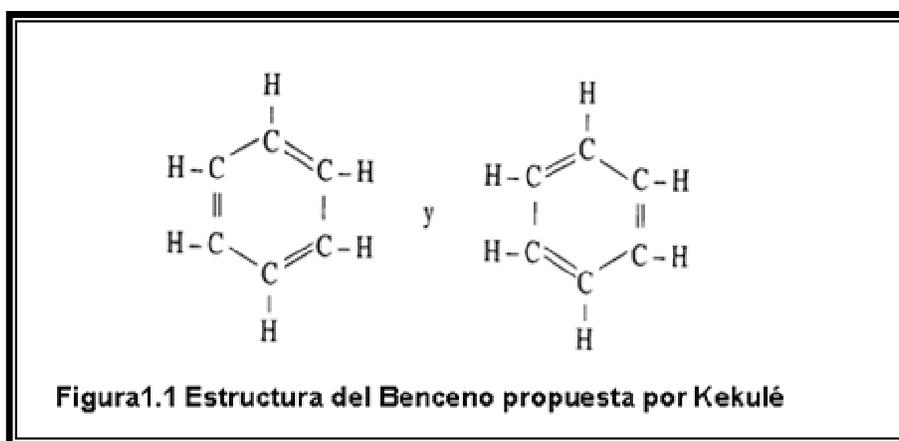
3. **REGISTRO DEL CAS (Chemical Abstract Service):** 71-43-2
4. **SINÓNIMOS:** Bencina, Benzol, Benzol del petróleo, Ciclohexatrión.

5. **PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS** (Ver cuadro 1.4)⁽¹⁵⁾:

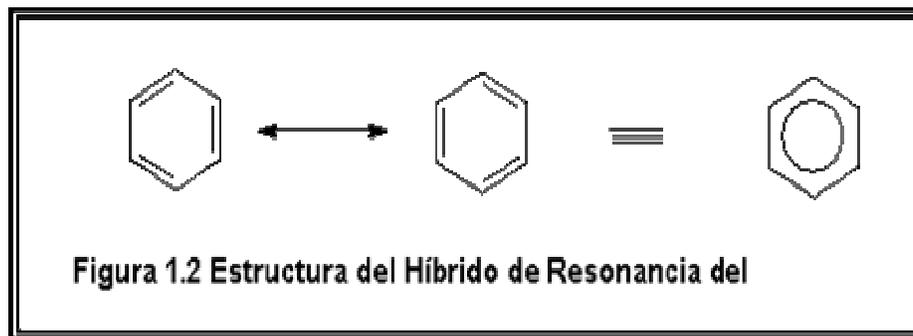
Cuadro 1.4 Propiedades físico químicas del Benceno	
Estado físico	Líquido, altamente volátil
Color	Incoloro
Olor	Aromático
Inflamabilidad	Sí
Explosividad	Sí
Reactividad	Sí
Liposolubilidad	Sí
Solubilidad en agua	0.18 g/ml a 25° C
Peso Molecular	78.12 g
Presión de vapor (volatilidad)	75 mm de Hg a 20° C
Densidad Relativa de Vapor (aire =1)	2.7
Punto de fusión	5.5° C
Punto de ebullición	80.1° C
Punto de inflamación	- 11° C

Fuente: Manual de Toxicología Industrial de Petróleos Mexicanos (en prensa)

6. **FÓRMULA ESTRUCTURAL:** La primera estructura para el Benceno fue propuesta por el químico alemán Friedrich August Kekulé von Stradonitz en 1865, y consistía en una mezcla en equilibrio de dos ciclohexatrienos, formados con enlaces sencillos y dobles (Figura 1.1).

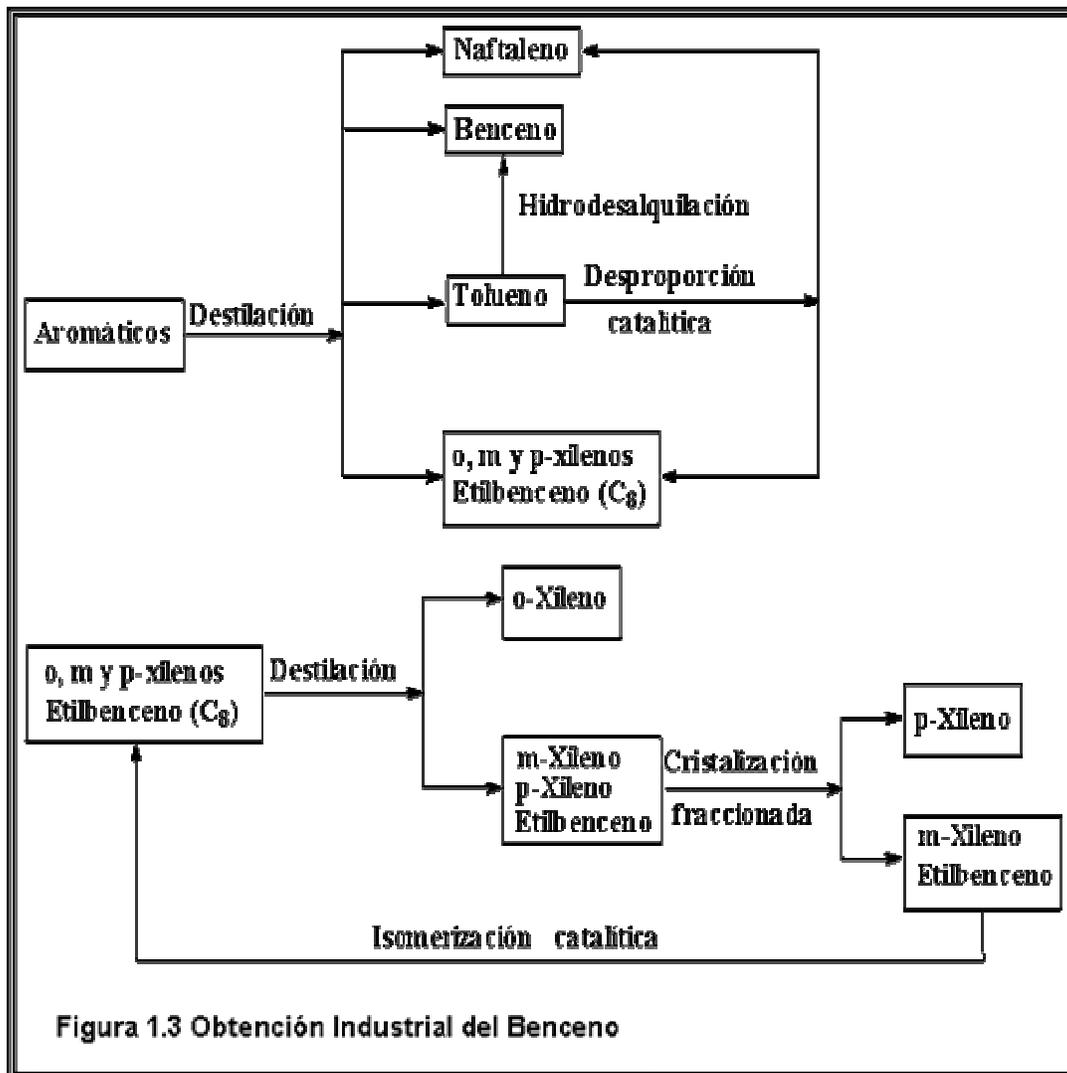


En 1931, su estructura pudo ser determinada de forma satisfactoria, la cual explicaría la mayoría de las propiedades del Benceno; esta es la del Híbrido de Resonancia, la cual se muestra en la Figura 1.2.



7. **FÓRMULA CONDENSADA:** H_6C_6

8. **OBTENCIÓN INDUSTRIAL:** Las principales fuentes de obtención de hidrocarburos aromáticos son el alquitrán de la hulla y los crudos del petróleo. En la industria petrolera, el propio petróleo en cada yacimiento contiene hidrocarburos aromáticos en cantidades variables, aunque en algunos yacimientos este contenido es bastante considerable. Los principales compuestos aromáticos que se obtienen del petróleo son el Benceno, Tolueno y Xilenos (BTX), y en menor medida, Naftaleno y Antraceno. La mayor parte de las mezclas BTX que se producen en las refinerías se suelen obtener por los procesos de reformado catalítico, desalquilación y deshidrogenación o por ciclización y aromatización de hidrocarburos parafínicos; algunas de estas formas de obtención se pueden observar en la Figura 1.3.



9. USOS INDUSTRIALES (Figuras 1.4 y 1.5):

- Carburante, reactivo químico y disolvente, por su gran volatilidad y economía.
- Constituyente del combustible para motores.
- Materia prima para síntesis de: derivados nitrados, aminas, colorantes azoicos, pesticidas clorados (DDT y difenilos policlorados), estireno, fenol, anhídrido maleico, detergentes, explosivos y productos farmacéuticos.

- Desengrasante de piezas metálicas.
- Disolventes en plásticos, caucho, tintas, aceites, grasas, lacas nitrocelulósicas para pintura con pistola aerográfica.
- Extracción de grasas animales.
- Limpieza de las resinas de circuitos impresos en la Industria Electrónica.
- Disolvente en los linotipos para imprimir por fotograbado.

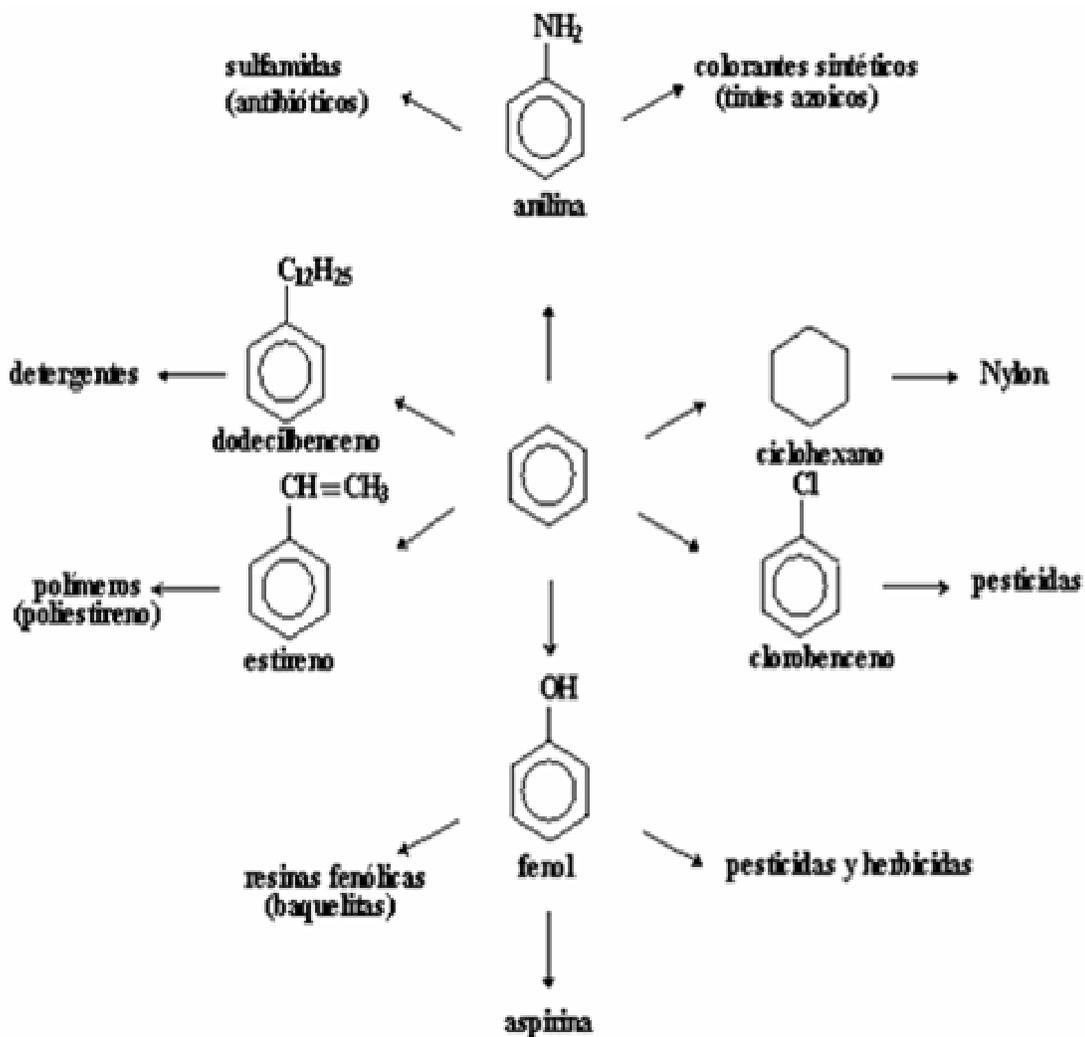


Figura 1.4 Derivados del Benceno

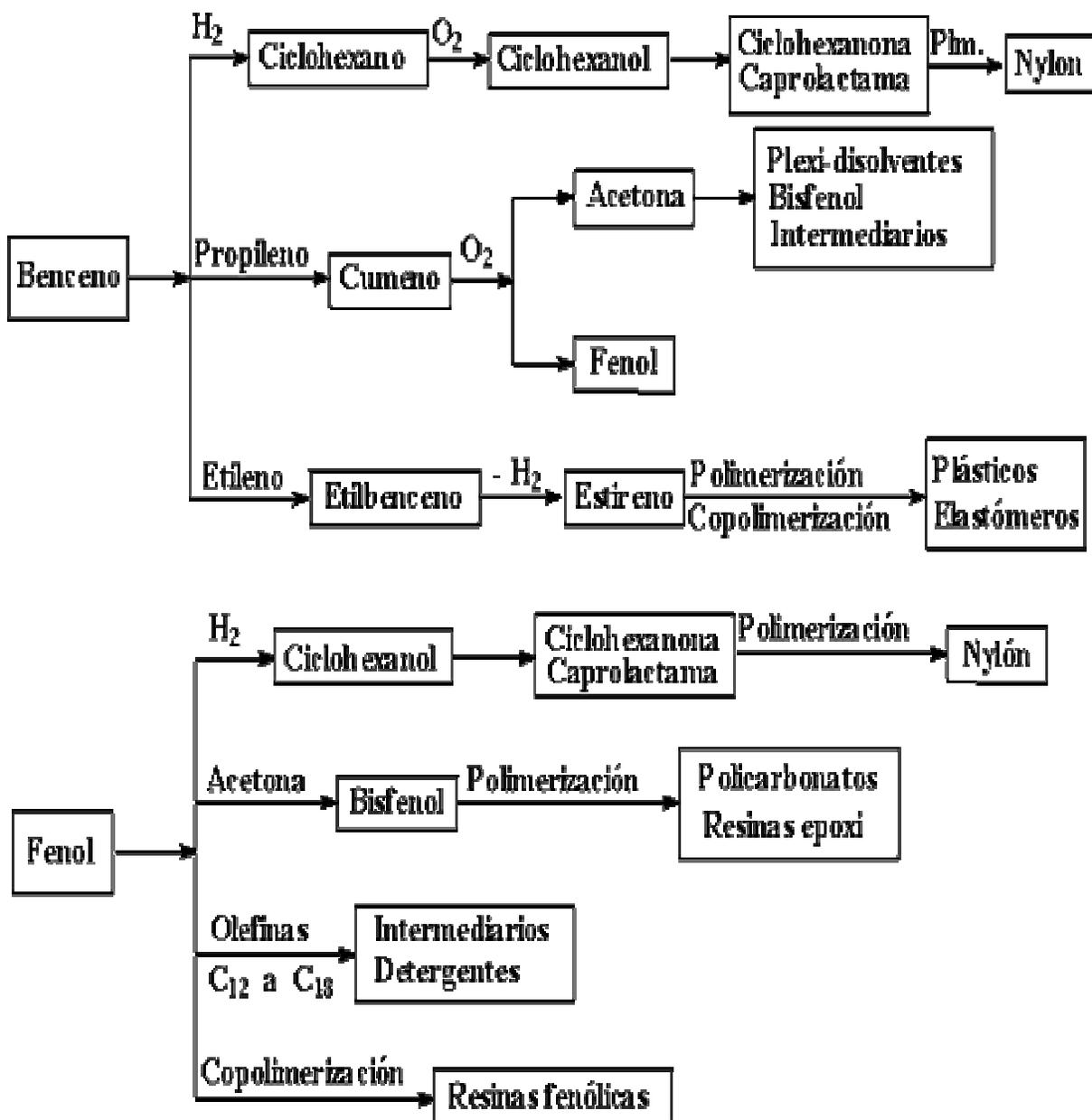


Figura 1.5 Aplicaciones Industriales de los derivados del Benceno

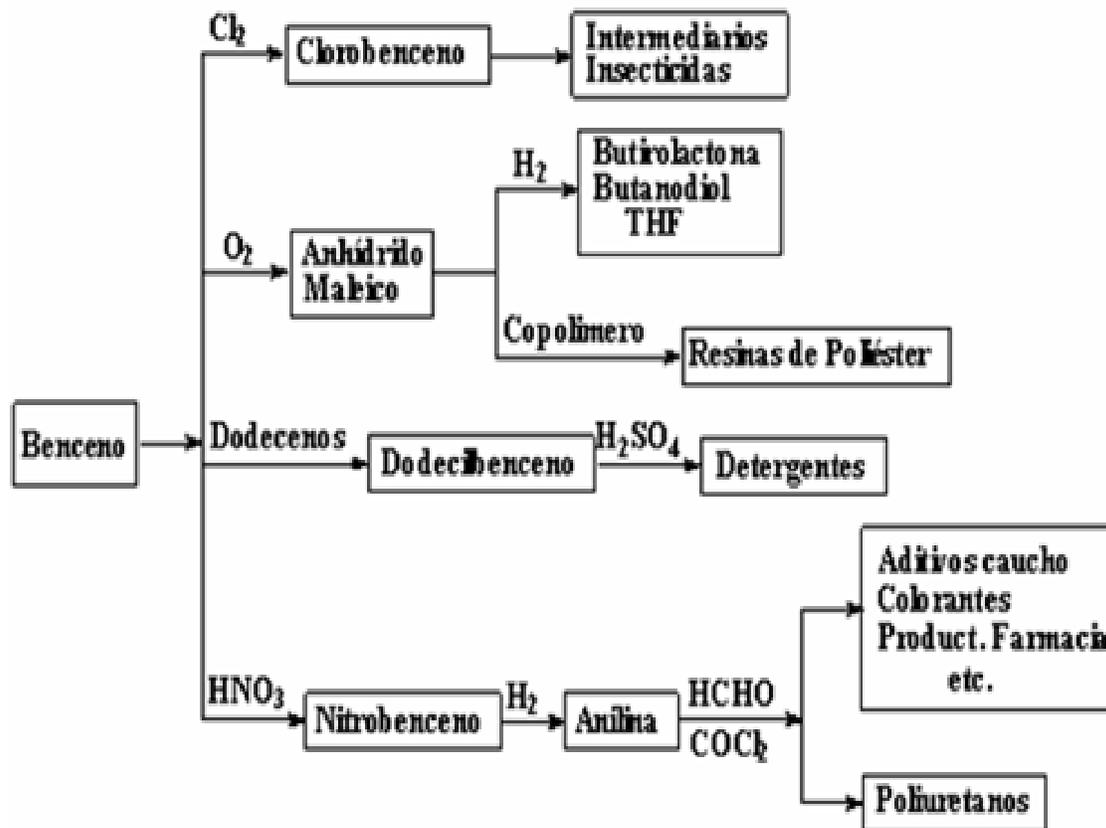


Figura 1.5 (Continuación) Aplicaciones Industriales de los derivados del Benceno

10. VÍAS DE ABSORCIÓN

- Respiratoria.
- Cutánea.
- Digestiva.

11. **DISTRIBUCIÓN:** En órganos ricos en lípidos y tejido adiposo, en tejido celular subcutáneo, epiplón, tejido nervioso y médula ósea.

12. **BIOTRANSFORMACIÓN (figura 1.6)**⁽¹⁶⁾: La absorción del Benceno ocurre principalmente por la inhalación de vapores y a través del contacto por la piel. En el caso de la absorción en piel, según estudios de Blank y McAuliffe⁽¹⁷⁾, calcularon que 100 cm² de piel humana en contacto con gasolina (que contiene 5% de Benceno), tiene una absorción comparable a la de la vía respiratoria a una concentración de 10 ppm de Benceno en el aire. De acuerdo con Susten et al. (1985)⁽¹⁸⁾, en el ambiente laboral, la absorción por vía dérmica contribuye del 20-40% del total de Benceno absorbido en el cuerpo. El período del Benceno en sangre ha sido estimado en 8 hrs. por Brugnone et al. (1992)⁽¹⁹⁾.

Se ha encontrado que la fracción eliminada del Benceno en el aire exhalado, en seres humanos, varía entre 10 y el 50%, dependiendo de la actividad metabólica que desarrolle y de la cantidad de grasa corporal; así mismo, el 0.1% es eliminado sin cambios en orina. Asumiendo que cerca del 50% del Benceno inhalado se absorbe a través de los pulmones y que los índices de respiración y de excreción de la orina son 15 l/min. y 1 ml/min. respectivamente, Inoue et al. (1986)⁽²⁰⁾ calculó que en los trabajadores ocupacionalmente expuestos a una concentración de 100 ppm en un Promedio Ponderado en Tiempo (PPT) de 8 hrs., 13.2% del benceno absorbido se excreta como fenol, 1.6% como catecol, 10.2% como quinol (hidroquinol o hidroquinona), 0.5% como 1, 2, 4-bencenotriol (1, 2, 4-trihidroxibenceno), y 1.9% como ácido t,t-mucónico (t,t-AM) al final del turno laboral. También se ha calculado que un promedio de 0.11% del benceno absorbido se elimina como ácido s-fenilmercaptúrico (s-AFM) (van Sittert et al, 1993)⁽²¹⁾.

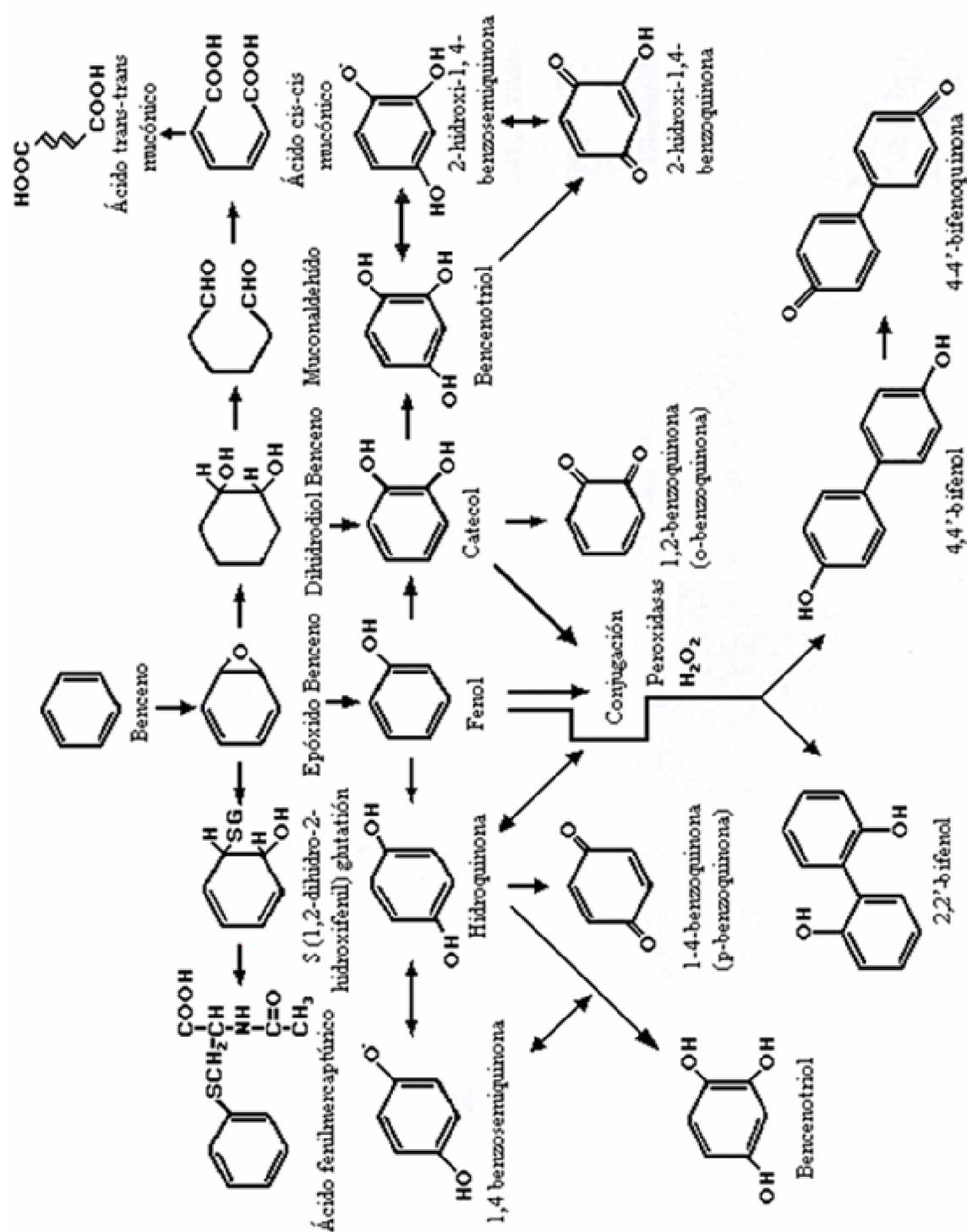


Figura 1.6 Vías Metabólicas del Benceno

Fuente: Modificado de Lauwerys, Robert R. Hoet, Perrine. "Industrial Chemical Exposure: Guidelines for Biological Monitoring. Lewis Publisher; Boca Raton; p. 204; Florida, 2001

13. EFECTOS A LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN LABORAL AL BENCENO

♠ Efectos en exposiciones agudas⁽¹⁵⁾:

LEVE:

- Respiratoria: Contracciones musculares de piernas, dolor opresivo a nivel de senos frontales y vértigo.
- Cutánea: Piel seca y enrojecimiento.
- Ocular: Conjuntivitis leve y lagrimeo.
- Ingestión: Dolor abdominal y dolor de garganta.

MODERADO:

- Respiratoria: “Borrachera bencénica” o fase de excitación, manifestada por confusión mental, síntomas histéricos (risas, gritos, cantos).
- Cutánea: Dolor.
- Ocular: Conjuntivitis severa.
- Ingestión: Dolor abdominal y vómito.

SEVERO:

- Respiratoria: Fase depresiva con cefalea, fatiga, parestesias en manos y pies, disartria, pérdida de la conciencia y paro respiratorio.

♠ **Efectos en exposiciones crónicas**^(15,22,23):

- Daño neoplásico: Si.
- Daño teratogenico: No.
- Daño reproductivo: No.
- Daño sistémico: Sistema hematopoyético con anemia aplástica e hipoplasia medular, llegando a desencadenar leucemia mieloide crónica, daño orgánico cerebral con datos de deterioro mental progresivo, emocional y de adaptación social.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL TOLUENO⁽¹⁵⁾

1. **NOMBRE CIENTÍFICO DEL AGENTE QUÍMICO:** Tolueno.
2. **ANTECEDENTES:** Su nombre deriva del bálsamo del árbol *Myroxylon balsamum* (Bálsamo Tolú o bálsamo de Colombia), del cual Henri Etienne Sainte-Claire Deville lo obtuvo por primera vez en 1844 mediante destilación seca. Existe en forma natural en el petróleo crudo y en el árbol de tolú. Se produce durante la manufactura de la gasolina y de otros combustibles a partir del petróleo crudo y en la manufactura del coque a partir del carbón. También está presente en el humo de los cigarrillos^(24,25).

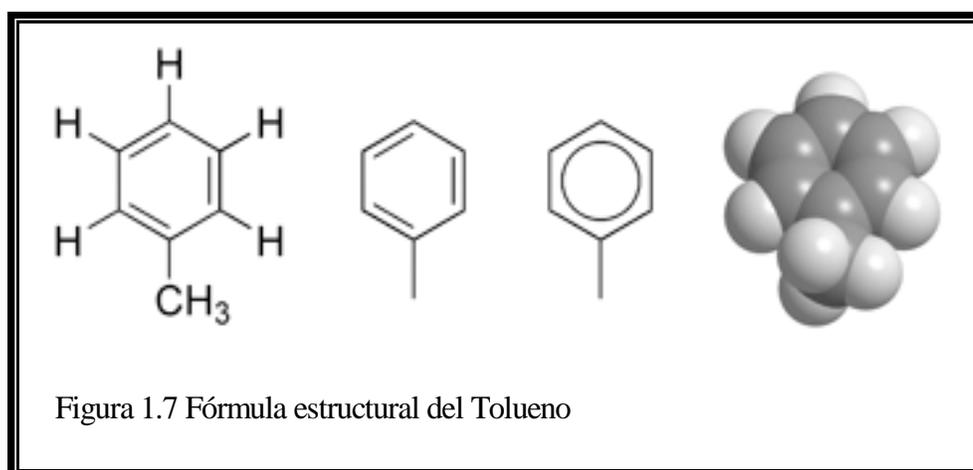
La toxicidad de este producto es similar a la del Benceno, sin embargo el Tolueno no genera los trastornos crónicos a la sangre que se han presentado con el uso del primero. Su toxicidad es moderada. Su principal metabolito es el ácido benzoico, el cual se conjuga con la glicina en el hígado y se excreta por medio de la orina como ácido hipúrico. El seguimiento de este último producto, sirve para determinar niveles de exposición en los trabajadores.

3. **REGISTRO DEL CAS (Chemical Abstract Service):** 108-88-3.
4. **SINÓNIMOS:** Metilbenceno, fenilmetano, toluol.
5. **PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS** (Ver cuadro 1.5)⁽¹⁵⁾:

Cuadro 1.5 Propiedades físico químicas del Tolueno	
Estado físico	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Azucarado
Inflamabilidad	Sí
Explosividad	Sí
Reactividad	No
Liposolubilidad	Sí
Solubilidad en agua	No
Peso Molecular	92.13
Presión de vapor (volatilidad)	3.2 kPa (24 mm Hg a 20° C
Densidad Relativa de Vapor (aire =1)	0.87
Punto de fusión	-95° C
Punto de ebullición	110.6° C
Punto de inflamación	4.4° C

Fuente: Manual de Toxicología Industrial de Petróleos Mexicanos (en prensa)

6. **FÓRMULA ESTRUCTURAL** (Figura 1.7):



7. **FÓRMULA CONDENSADA:** $C_6H_5CH_3$

8. **OBTENCIÓN INDUSTRIAL:** Se encuentra contenido en los aceites de alquitrán ligeros que destilan a $180^\circ C$. Así obtenido, raramente es puro y contiene cierta proporción de Benceno, que puede alcanzar hasta un 25% y dar por resultado una concentración de hasta un 50% de sus vapores. Si procede de fuentes petroquímicas, puede ser casi puro y se obtiene por ciclización y deshidrogenación del n-heptano; algunas de estas formas de obtención se pueden observar en la Figura 1.3.

9. **USOS INDUSTRIALES (Figura 1.8):**

- Diluyente de tintas para fotograbado.
- Disolvente de grasas, caucho, resinas sintéticas, pinturas, lacas nitrocelulósicas, acetocelulósicas (mezclado con alcohol etílico en caliente) y alquitrán de hulla.
- Fabricación de explosivos (trinitrotolueno)
- Poder esmerilante al mezclarlo con agua.
- Intermediario en la fabricación de Cloruro de Bencilo y Bencilideno.
- Obtención de la Sacarina, Cloramina T y Di-isocianato de Tolueno.
- Constituyente en las gasolinas de avión y automóvil.

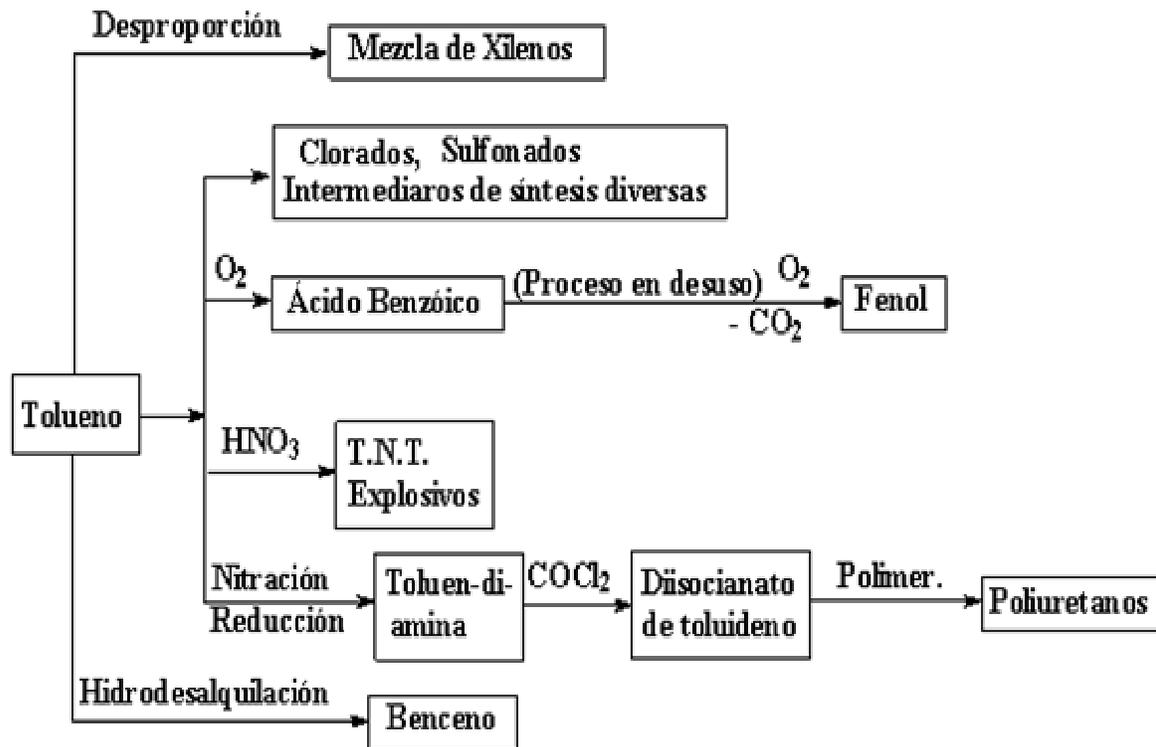


Figura 1.8 Usos Industriales

10. VÍAS DE ABSORCIÓN

- Respiratoria.
- Cutánea.
- Ocular.
- Digestiva.

11. **DISTRIBUCIÓN:** En órganos ricos en lípidos y tejido adiposo, en tejido celular subcutáneo, epiplón, tejido nervioso y médula ósea.

12. **BIOTRANSFORMACIÓN (figura 1.9)₍₂₆₎**: Su absorción se produce por vía respiratoria, por inhalación de sus vapores, aunque su menor volatilidad lo hace menos tóxico.

Una proporción del Tolueno absorbido es eliminado por el aire espirado, pero en su mayor proporción es oxidado a Ácido Benzoico, que se conjuga rápidamente con la glicina, formando Ácido hipúrico, el que es eliminado por la orina.

La concentración de Ácido hipúrico que normalmente existe en la orina humana, varía individualmente con la dieta alimenticia; su cantidad normal es de 0.7 gr/día.

La cantidad de Ácido hipúrico excretada en orina de 24 hrs. De los trabajadores expuestos a Tolueno es proporcional a la concentración de Tolueno en el aire del lugar de trabajo.

Su mecanismo de acción toxicológico, se centra sobre la célula hepática y particularmente en riñón, con aparición de lesiones glomerulares y tubulares. Su afinidad para los lipoides es capaz de afectar el sistema nervioso central en forma de encefalopatía tóxica.

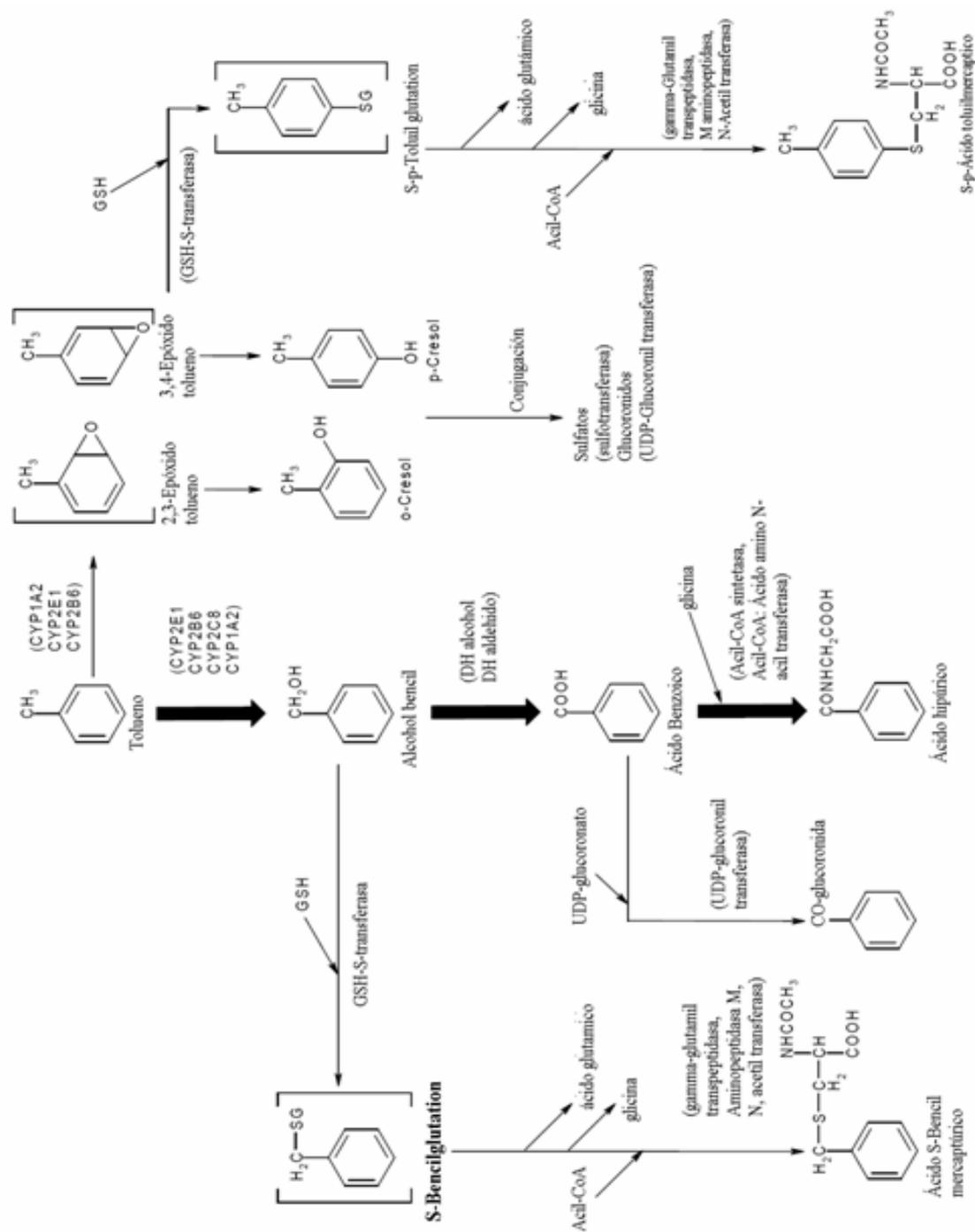


Figura 1.9 Ruta Metabólica del Tolueno. Modificado de Flower Lynn, et. al. "Toxicological Review of Toluene". U. S. Environmental Protection Agency; p. 8; Washington D. C. Septiembre, 2003.

13. EFECTOS A LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN LABORAL AL TOLUENO

♠ Efectos en exposiciones agudas₍₁₅₎:

LEVE:

- Respiratoria: Irritación en ojos, nariz, garganta y tracto respiratorio superior, tos, mareo.
- Cutánea: Irritación localizada en el sitio de exposición.
- Ocular: Conjuntivitis leve, inflamación de párpados, lagrimeo.
- Ingestión: Irrita las membranas mucosas orales, de la garganta, del esófago y del estómago.

MODERADO:

- Respiratoria: Se puede afectar el SNC dando como resultado dolor de cabeza, vértigos, náusea, intoxicación, visión borrosa, hablar confuso, palidez, confusión, debilidad y fatiga.
- Ingestión: Sensación de ardor en la boca y el esófago y depresión del sistema nervioso central. Los síntomas de la depresión del SNC pueden incluir náusea, vómito, vértigos, paso tambaleante, somnolencia, pulso rápido de baja intensidad, diarrea, inquietud, sedación.
- Cutánea: Dolor, enrojecimiento, prurito.
- Ocular: Conjuntivitis severa, disminución de la agudeza visual.

SEVERO:

- Respiratoria: Dependiendo de la concentración y/o de la duración de la exposición se presentará pérdida del estado de alerta, convulsiones, arritmia cardiaca, coma, y muerte.
- Ingestión: Si existe depresión progresiva del SNC, la insuficiencia respiratoria, y la fibrilación ventricular pueden también dar lugar a la muerte, además existe el riesgo de broncoaspiración secundaria a vómito ocasionando neumonitis química.
- Cutánea: Ulceraciones severas, y penetración a la circulación sanguínea, aumentando la sintomatología del SNC.
- Ocular: Disminución permanente de la agudeza visual por lesión en conjuntiva y córnea.

▲ Efectos en exposiciones crónicas^(15,23):

- Daño neoplásico: No.
- Daño teratogenico: Si.
- Daño sistémico: En pulmón con la formación de neumatocele y EPOC, hígado, riñón, Sistema Nervioso Central (SNC), corazón, sistema auditivo, ojos y piel.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL XILENO⁽¹⁵⁾

1. **NOMBRE CIENTÍFICO DEL AGENTE QUÍMICO:** Xileno (o-xileno, m-xileno y p-xileno).

2. **ANTECEDENTES:** Los Xilenos se encuentran en los gases de coque, en los gases obtenidos por destilación seca de la madera (de allí su nombre, ya que xilon significa madera en griego) y en algunos petróleos. Tienen muy buen comportamiento a la hora de su combustión en un motor de gasolina⁽²⁷⁾.

Hay tres formas de Xileno en las que la posición de los grupos metilos en el anillo de Benceno varía: *meta*-xileno, *orto*-xileno y *para*-xileno (*m*-, *o*- y *p*-xileno). Estas formas se conocen como isómeros⁽²⁸⁾.

En química orgánica son importantes productos de partida en la obtención de los ácidos ftálicos que se sintetizan por oxidación catalítica. Un inconveniente es la dificultad en la separación de los isómeros, ya que tienen puntos de ebullición casi idéntico.

3. **REGISTRO DEL CAS (Chemical Abstract Service):** o-Xileno (95-47-6), m-Xileno (108-38-3) y p-Xileno (106-42-3).

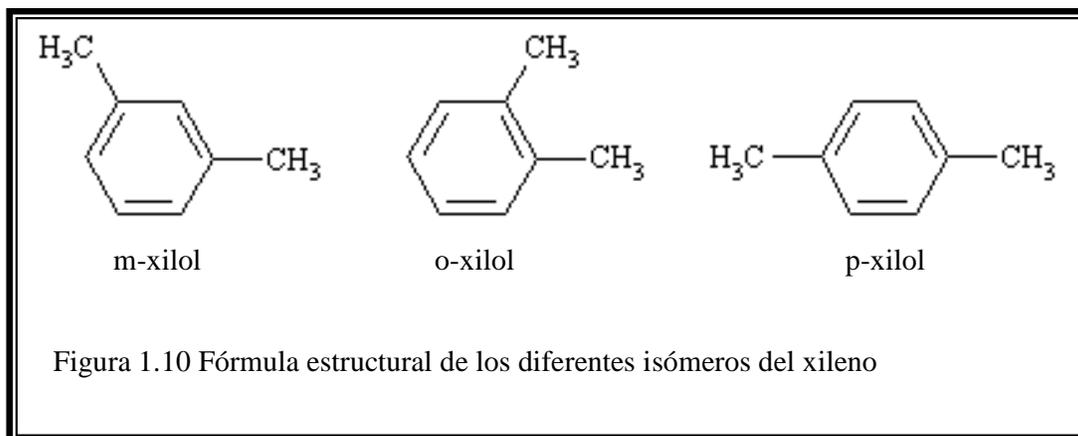
4. **SINÓNIMOS:** 1,2-Dimetilbenceno, 1,3-Dimetilbenceno, 1,4-Dimetilbenceno, o-xilol, m-xilol, p-xilol.

5. **PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS** (Ver cuadro 1.6)(15, 29):

Cuadro 1.6 Propiedades físico químicas del Xileno		
Estado físico	Líquido	
Color	Incoloro	
Olor	Aroma dulce	
Inflamabilidad	Sí	
Explosividad	Sí	
Reactividad	Sí	
Liposolubilidad	Sí	
Solubilidad en agua	0.00003%	
Peso Molecular	106	
Densidad Relativa de Vapor (aire =1)	3.7	
Presión de vapor a 20° C (volatilidad)	o-xileno	7
	m-xileno	8
	p-xileno	9
Punto de fusión	o-xileno	-25° C
	m-xileno	-18° C
	p-xileno	13° C
Punto de ebullición	o-xileno	144° C
	m-xileno	139° C
	p-xileno	138° C
Punto de inflamación	o-xileno	32° C
	m-xileno	27° C
	p-xileno	27° C

Fuente: Manual de Toxicología Industrial de Petróleos Mexicanos (en prensa)

6. **FÓRMULA ESTRUCTURAL** (figura 1.10):



7. **FÓRMULA CONDENSADA:** $C_6H_4(CH_3)_2$ / C_8H_{10}

8. **OBTENCIÓN INDUSTRIAL:** Se obtiene a partir del alquitrán de hulla, que se forma durante el procesado de carbón y aromatización de las fracciones intermedias del petróleo, principalmente el keroseno; algunas de estas formas de obtención se pueden observar en la Figura 1.3.

9. **USOS INDUSTRIALES** (Figura 1.11):

- Disolvente de pinturas, barnices, parafina, bálsamo de Canadá y poliestireno.
- Imprenta de grabado a colores.
- Preparaciones farmacéuticas.
- Manufactura de espejos y objetos de cristal de cuarzo.
- Agente desengrasante y limpiador de los espejos.
- Eleva el octanaje de las gasolinas, sobre todo para aviones.

- Obtención de ácido ftálico y teraftálico para la manufactura de materias plásticas y fabricación de fibras textiles sintéticas.
- Producción de resinas epóxicas.

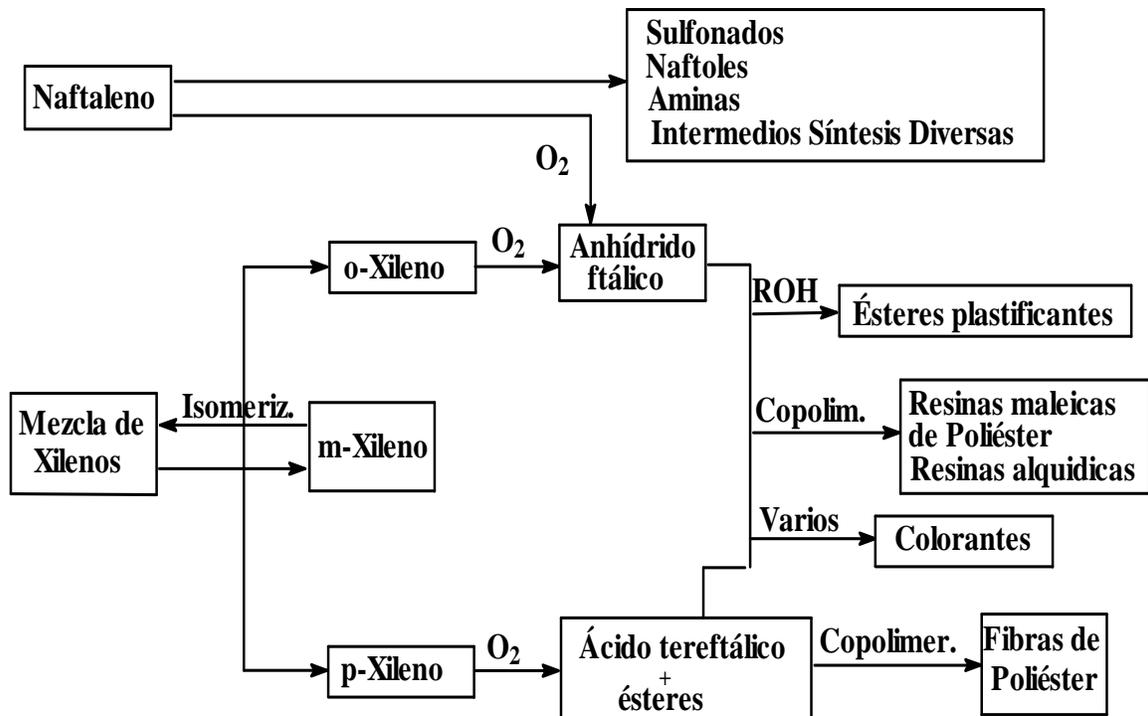


Figura 1.11 Usos Industriales del Xileno

10. VÍAS DE ABSORCIÓN

- Respiratoria.
- Cutánea.
- Digestiva.

11. **DISTRIBUCIÓN:** El Xileno debido a su liposolubilidad se almacena en tejidos con mayor contenido de grasas.

12. **BIOTRANSFORMACIÓN** (figura 1.12)₍₃₀₎: La biotransformación experimentada por los isómeros del Xileno se puede resumir de la siguiente manera. La oxidación (ácidos metilbenzoicos) constituye la principal vía de biotransformación. En el hombre, estos ácidos se conjugan con la glicina para formar los ácidos orto, meta o parametilhipúricos (ácidos metilhipúricos), que son excretados por vía urinaria.

Menos del 2% del Xileno se hidroxila en su núcleo bencénico con formación de xilenoles, los metabolitos del Xileno son rápidamente excretados por vía urinaria y su concentración en orina alcanza su valor máximo al final del periodo de exposición. Las pruebas biológicas válidas para valorar la exposición al Xileno son: ácidos metilhipúricos urinarios y Xileno en sangre.

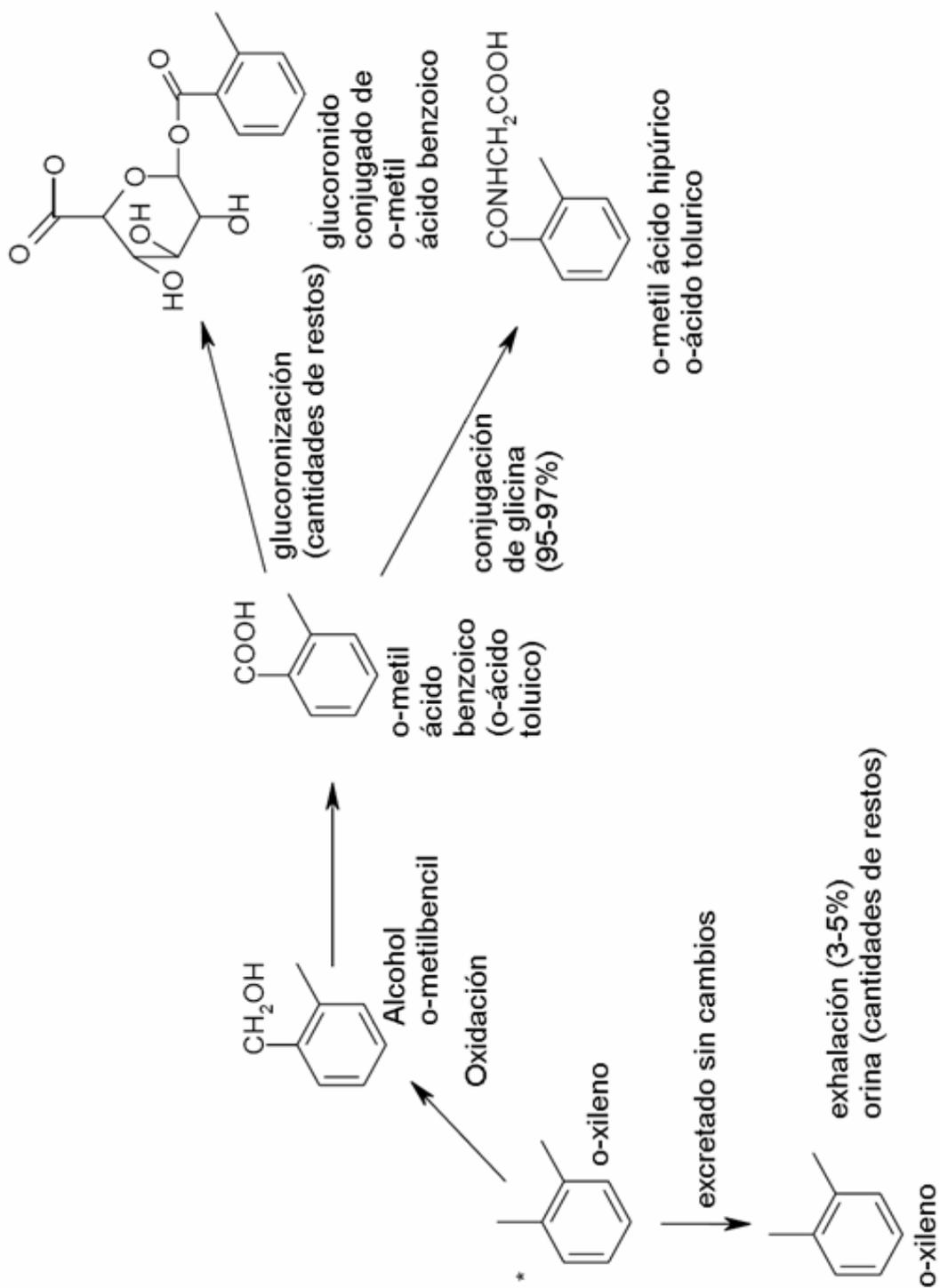


Figura 1.12 Ruta Metabólica del Xileno. Modificado de Flower Lynn, et. al. "Toxicological Review of Xilenes". U. S. Environmental Protection Agency; p. 10; Washington D. C. Enero, 2003.

13. EFECTOS A LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN LABORAL AL XILENO

♠ Efectos en exposiciones agudas⁽¹⁵⁾:

LEVE:

- Respiratoria: Contracciones musculares de piernas, dolor opresivo a nivel de senos frontales, vértigo.
- Cutánea: Piel seca, enrojecimiento.
- Ocular: Conjuntivitis leve, lagrimeo.
- Ingestión: Dolor abdominal, dolor de garganta.

MODERADO:

- Respiratoria: “Borrachera bencénica”, o fase de excitación, manifestada por confusión mental, síntomas histéricos (risas, gritos, cantos).
- Cutánea: Dolor.
- Ocular: Conjuntivitis severa.
- Ingestión: Dolor abdominal, vómito.

SEVERO:

- Respiratoria: Fase depresiva con cefalea, fatiga, parestesias en manos y pies, disartria, pérdida de la conciencia y paro respiratorio.

▲ **Efectos en exposiciones crónicas**^(15,23):

- Daño neoplásico: No.
- Daño teratogenico: No.
- Daño reproductivo: No.
- Daño sistémico: Nefrotoxicidad, neurotoxicidad.

MONITOREO BIOLÓGICO

El Monitoreo Biológico, en general, se definió en 1980 en un seminario, patrocinado conjuntamente por la Comunidad Económica Europea (CEE), el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) y la Occupational Safety and Health Administration (OSHA), (Berlín, Yodaiken y Henman, 1984) celebrado en Luxemburgo, como la ***“determinación y evaluación de los agentes o de sus metabolitos presentes en tejidos, secreciones, excretas, aire espirado o cualquier combinación de los mismos con objeto de evaluar la exposición y el riesgo para la salud en comparación con una referencia adecuada”***⁽³¹⁾.

De lo anterior, podemos considerar como un punto de interés del Monitoreo Biológico (para la Protección de la Salud Humana), los resultados obtenidos, los cuales se comparan con Valores de Referencia para determinar la posible sobre-exposición y el riesgo que tiene el trabajador de sufrir un daño, a fin de prevenir y controlar la exposición^(32,33,34).

TIPOS DE MONITOREO BIOLÓGICO⁽³⁵⁾

Los tipos de monitoreo biológico a nivel laboral son:

- A. Monitoreo Biológico de Exposición Laboral a Agentes Químicos (MBELAQ).
- B. Monitoreo Biológico de Daño Precoz o de Efecto (MBDPE).
- C. Monitoreo Biológico de Efecto Genético Temprano (MBEGT).
- D. Monitoreo Biológico de Susceptibilidad Genética (MBSG).

A. El **Monitoreo Biológico de Exposición Laboral a Agentes Químicos (MBELAQ)**, mide los agentes químicos o sus metabolitos en el organismo del trabajador para determinar la exposición a diferentes agentes químicos, no mide daño ni enfermedad, solo exposición. Forma parte de la Vigilancia de la Salud de los Trabajadores y se establece a partir del conocimiento del análisis de los procesos de trabajo, reconocimiento sensorial, mapas de riesgos y el Monitoreo Ambiental Laboral Personal (MALP).

En el caso del MBELAQ, sólo mide el grado de exposición, es decir, la concentración del agente químico sin biotransformar en el caso de los metales o de sus metabolitos en el caso de los agentes químicos orgánicos. Los metabolitos son compuestos provenientes de la biotransformación del compuesto original por parte del organismo del trabajador. En general, el MBELAQ busca prevenir los efectos nocivos causados por los agentes químicos que pueden conducir a un proceso de enfermedad o patología laboral. En el caso de los compuestos derivados de los hidrocarburos, específicamente en el Benceno, se utilizan muestras urinarias para

medir las concentraciones de los metabolitos bioindicadores de la exposición a los agentes químicos y compararlas con valores normales o de referencia, establecidos por la normatividad nacional y/o internacional.

En la planeación del MBELAQ se deben tener las siguientes consideraciones:

- ◆ Inventariar todos los agentes químicos que utiliza el trabajador en su proceso laboral.
- ◆ Describir estado químico del agente: líquido, sólido y/o gaseoso.
- ◆ Describir en qué parte del proceso de trabajo se usan (limpieza, síntesis química, etc.).
- ◆ Describir cantidad aproximada utilizada por día, semana o mes (de acuerdo a como se le facilite la descripción cuantitativa al trabajador utilizando unidades conocidas como litros, galones, kilos, gramos, miligramos, etc.).

El Monitoreo Ambiental Laboral Personal (MALP) mide lo que penetra al organismo a través de la vía respiratoria; se mide en partes por millón (ppm) o en miligramos por metro cúbico (mg/m^3) debe ser normativo (tener sustentación en la NOM vigente), ser indirecto (identificación y cuantificación en un laboratorio certificado y acreditado), ser personal (en el área respiratoria de cada trabajador), ser representativo de la exposición (se debe de tomar en cuenta los niveles de presión atmosférica, fluctuaciones en las emisiones, condiciones normales de operación, trabajos de mantenimiento mayor o menor, volúmenes de producción, estación del año, etc.)⁽³⁵⁾.

B. El **Monitoreo Biológico de Daño Precoz o de Efecto (MBDPE)**, tiene como objeto reconocer, medir o evaluar los cambios enzimáticos, bioquímicos y/o fisiológicos a nivel molecular, pero sin referencia al daño genético. Estos cambios moleculares generalmente son reversibles y preclínicos.

C. El **Monitoreo Biológico de Efecto Genético Temprano (MBEGT)** tiene la posibilidad de identificar precozmente las exposiciones genotóxicas de un grupo de personas y permite la identificación de poblaciones de alto riesgo y, por tanto, de prioridades de intervención, lo que puede evitar efectos finales innecesarios, como el cáncer. No permite una predicción del riesgo individual de cáncer, aunque sí la posibilidad de enfermedad neoplásica a nivel poblacional. Se puede subdividir en:

- Efectos a nivel citogenético. Micronúcleos, Intercambio de Cromátides Hermanas, Aberraciones Cromosómicas y la Prueba de Cometa.
- Efectos a nivel de la formación de aductos con el ADN, también conocida como dosimetría molecular. La presencia de aductos no necesariamente confirma la existencia de una situación precancerígena, ya que como se sabe, existen sistemas de reparación y protección del ADN.

El cáncer de origen ocupacional ocurre por exposición directa a agentes genotóxicos, mutagénicos y/o epigenéticos de manera crónica. En la literatura internacional se recomienda que los países en desarrollo deben hacer énfasis en las medidas de prevención de exposición a agentes cancerígenos, con tres premisas básicas:

- Identificar marcadores de exposición (Monitoreo Biológico).
- Identificación de sujetos de alto riesgo (Vigilancia Médica de la Salud en el Trabajo).
- Identificación temprana de signos de enfermedad (Vigilancia Médica de la Salud en el Trabajo)⁽³⁶⁾.

D. ***El Monitoreo Biológico de Susceptibilidad Genética (MBSG)***, se refiere al estudio de las características genotípicas y/o fenotípicas que facilitan el desarrollo de un posible daño biológico a nivel genético. Entre ellos se puede mencionar: identificación de genotipos polimórficos a nivel de nucleótidos singulares en los genes, estudio de la cuantificación del ARNm de los diferentes tipos de isoformas de citocromo p450 (entre ellos los citocromo p450 2E1 y p450 1A1).

HIPÒTESIS

- La exposición laboral a Benceno, Tolueno y Xilenos en trabajadores de una Planta Petroquímica de México, conduce a la formación de metabolitos en orina (fenoles, ácido hipúrico y ácido metilhipúrico respectivamente).
- Los valores de metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos encontrados en la muestra de orina de trabajadores de la PPQ, tiene relación con el departamento donde desempeñan sus actividades.
- Los valores de los metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en la orina de trabajadores de la PPQ, será igual o menor al final de la jornada laboral que los valores iniciales debido al uso de EPP adecuado.
- Los valores de los metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en la orina de trabajadores de la PPQ, será mayor en los que por sus actividades se encuentren en contacto directo con estos agentes que en los que no presentan un contacto directo en su jornada laboral.

HIPOTESIS NULA

- La exposición laboral a Benceno, Tolueno y Xilenos en trabajadores de una Planta Petroquímica (PPQ) de México, no induce la formación de metabolitos en orina (fenoles, ácido hipúrico y ácido metilhipúrico respectivamente).

- Los valores de metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos encontrados en la muestra de orina de trabajadores de la PPQ, no tiene relación con el departamento donde desempeñan sus actividades.
- Los valores de los metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en la orina de trabajadores de la PPQ, será superior al final de la jornada laboral que los valores iniciales a pesar del uso de un EPP adecuado.
- Los valores de los metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en la orina de trabajadores de la PPQ, no presenta diferencias entre quienes por sus actividades se encuentran en contacto directo con estos agentes que en quienes no presentan un contacto directo en su jornada laboral.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿La actividad que desempeña el trabajador (determinada por el área donde labora) dentro de una Planta Petroquímica influye en el grado de exposición a Benceno, Tolueno y Xilenos a pesar de las medidas de seguridad que existen incluyendo la efectividad del Equipo de Protección Personal?

Los niveles de metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en la orina de trabajadores con exposición laboral, ¿presenta diferencia significativa entre el inicio y el final de la jornada laboral?

OBJETIVOS

Determinar la existencia de correlación entre los niveles de metabolitos en orina en Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos a Benceno, Tolueno y Xilenos, en una Planta Petroquímica de México y el área donde regularmente desempeñan sus actividades; así mismo, valorar el efecto acumulativo del Benceno en estos mismos trabajadores vs. el uso de Equipo de Protección Personal, comparando los niveles de los metabolitos al inicio y al final de la jornada laboral de un día.

1. Investigar la presencia y los niveles de metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en orina (fenoles, ácido hipúrico y ácido metilhipúrico respectivamente) al inicio y al final de la jornada laboral, en trabajadores de una Planta Petroquímica. Dichos valores, se solicitarán al Laboratorio de Toxicología Industrial del Hospital de Nanchital de un Monitoreo Biológico a Agentes Químicos (MBELAQ) realizado en el 2006.
2. Formar grupos de edad entre los trabajadores seleccionados.
3. Investigar el área laboral en la que los trabajadores realizan la mayor parte de sus actividades.
4. Investigar el uso de EPP específico durante su jornada laboral.
5. Investigar el manejo directo de disolventes (BTX) como parte de las actividades cotidianas de los trabajadores de la PPQ.
6. Proponer medidas de prevención y control de la exposición.
7. Proponer nuevas investigaciones.

METODOLOGÍA

1. Se solicitará al Laboratorio de Toxicología Industrial del Hospital de Nanchital los resultados de su Monitoreo Biológico de Exposición a Agentes Químicos de una Planta Petroquímica en el año 2006, así como algunos datos que se consideren de relevancia para determinar:

- Área donde labora principalmente el trabajador.
- Niveles de fenoles urinarios al inicio y al final de la jornada laboral.
- Edad de los trabajadores.
- Género de los trabajadores.
- Uso de EPP.
- Manejo de disolventes (BTX) durante la jornada laboral.

2. Una vez obtenidos los resultados, se realizará un análisis inicial, donde se obtendrá:

- La determinación de la población a estudiar.
- El porcentaje general que existe según el género.
- Agrupación de los trabajadores por grupos de edad.
- Agrupación de los trabajadores por departamento (área donde realizan sus actividades).

2. De estos datos se realizará una descripción general, para posteriormente, realizar un análisis más específico, donde se tomará en consideración las siguientes relaciones:

CORRELACIÓN	
Niveles de metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en orina (fenoles, ácido hipúrico y ácido metilhipúrico respectivamente).	Departamento donde se desempeñan las actividades regularmente.
Niveles de metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en orina (fenoles, ácido hipúrico y ácido metilhipúrico respectivamente).	Edad de los trabajadores.
Niveles de metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en orina (fenoles, ácido hipúrico y ácido metilhipúrico respectivamente).	Uso de Equipo de Protección Personal específico para manejo de estos agentes.
Niveles de metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en orina (fenoles, ácido hipúrico y ácido metilhipúrico respectivamente) al inicio de la jornada laboral.	Niveles de metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en orina (fenoles, ácido hipúrico y ácido metilhipúrico respectivamente) al final de la jornada laboral
Niveles de metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en orina (fenoles, ácido hipúrico y ácido metilhipúrico respectivamente).	Exposición directa e indirecta a disolventes (mezcla de BTX)

En base a los resultados que se obtengan de estas correlaciones, cabe la posibilidad de realizar una estratificación de las variables para un análisis más específico.

TIPO DE ESTUDIO

Transversal. Se considerará como variable independiente la exposición laboral a la mezcla de BTX.

DISEÑO

Comparativo. Debido a que se correlacionará los niveles de metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en orina (fenoles, ácido hipúrico y ácido metilhipúrico respectivamente) al inicio de la jornada laboral ante diversas variables. Así mismo, se considerará de *efecto a causa*.

Observacional. Debido a que sólo se realizará la descripción de la relación en estudio, sin intervención de los investigadores en factores involucrados en el proceso.

DEFINICIÓN DEL UNIVERSO

Total de la población: 83 trabajadores.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

1. Ser trabajador de una Planta Petroquímica de PEMEX.
 - a) Haber laborado una jornada de por lo menos 8 hrs. el día del Monitoreo Biológico de Exposición laboral.
 - b) Con Monitoreo Biológico de Exposición Laboral a la mezcla de BTX durante el año 2006.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

1. No ser trabajador de una Planta Petroquímica de PEMEX, y en caso de serlo:
 - a) No haber laborado una jornada de por lo menos 8 hrs. el día del Monitoreo Biológico de Exposición laboral.
 - b) Sin un Monitoreo Biológico de Exposición Laboral a la mezcla de BTX.
 - c) Con Monitoreo Biológico de Exposición Laboral a la mezcla de BTX en un año diferente al 2006.

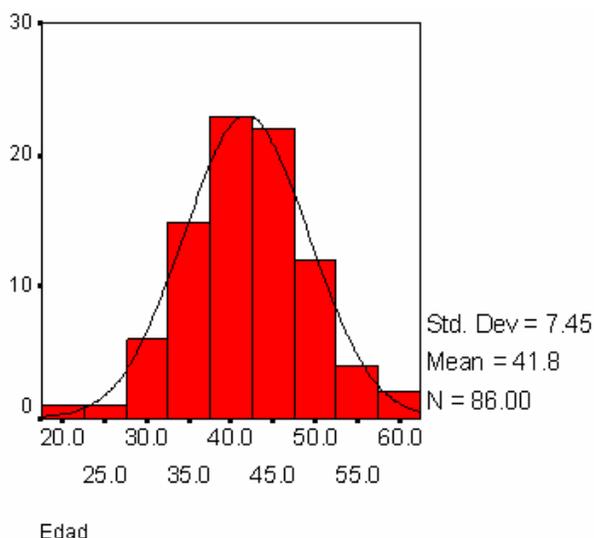
SELECCIÓN DE LA MUESTRA

La selección de la muestra, así como la distribución en diferentes grupos, se realizará en base a los resultados proporcionados por el Laboratorio de Toxicología Industrial de Nanchital de un Monitoreo Biológico de Exposición a la mezcla de BTX.

DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

Variable Independiente	Exposición laboral a Benceno, Tolueno y Xilenos.
Variable dependiente	Presencia de Metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en orina.
Variable cuantitativa	Presencia de Metabolitos de Benceno, Tolueno y Xilenos en orina.

RESULTADOS



Gráfica 1. Distribución de trabajadores por edad

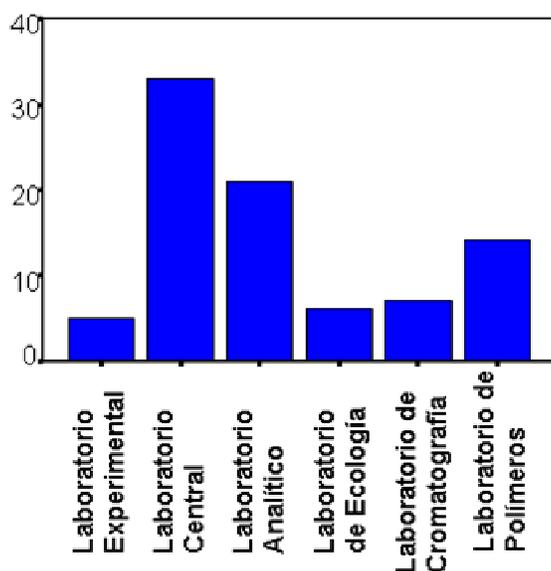
El grupo en general fue de 86 trabajadores, con 58 hombres (67.4%) y 28 mujeres; con una media de edad de 43 ± 6.9 y 37 ± 7.1 respectivamente. Con una edad mínima de 30 y máximo de 62 años para los hombres, mientras que para las mujeres fue de 20 como mínimo y 52 años como máximo. Como se puede

observar en la gráfica 1, la distribución fue de tipo gaussiana en cuanto a la edad.

En la tabla 1.1, se observa que en el laboratorio Experimental se ubicó el 5.8% del personal monitorizado, en el laboratorio Central se ubicó el 38.4%, en el laboratorio Analítico el 24.4%, en el laboratorio de Ecología el 7.0%, en el laboratorio de Cromatografía el 8.1% y en el laboratorio de Polímeros al 16.3%.

	Frecuencia	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Lab. Experimental	5	5.8	5.8	5.8
Lab. Central	33	38.4	38.4	44.2
Lab. Analítico	21	24.4	24.4	68.6
Lab. de Ecología	6	7.0	7.0	75.6
Lab. de Cromatografía	7	8.1	8.1	83.7
Lab. de Polímeros	14	16.3	16.3	100.0
Total	86	100.0	100.0	

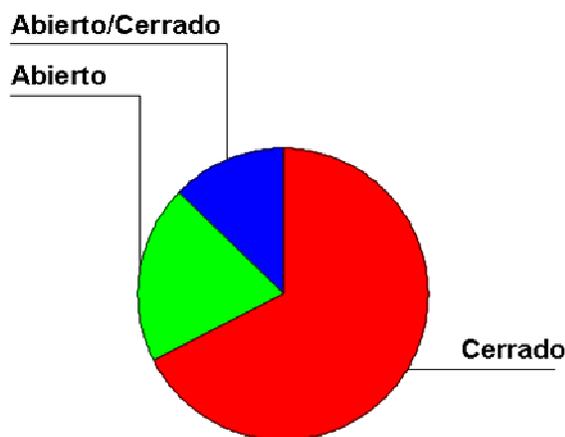
Tabla 1.1. Distribución de los trabajadores monitorizados por departamento



Gráfica 2. Distribución de trabajadores por departamento

Lo anterior se puede apreciar mejor en la gráfica 2, donde se observa con claridad que los tres departamentos donde se distribuyeron con mayor frecuencia los trabajadores fue, en primer lugar, el laboratorio Central; en segundo lugar, el laboratorio Analítico y en tercero, el laboratorio de Polímeros

La mayor parte de los trabajadores, como se puede ver en la gráfica 3, labora en un ambiente cerrado (67%), mientras que un 19% desempeña sus actividades en un ambiente abierto y el resto, refiere desempeñar sus actividades en ambos ambientes.



Gráfica 3. Ambiente laboral

En el caso de las mezclas BTX, cada uno de sus componentes (Benceno, Tolueno y Xilenos), representa un riesgo para la salud, cuyas características clínicas difieren de uno a otro agente debido a su distinto mecanismo de acción, además de sus

diversas características físico químicas, como se vio en el marco teórico del presente proyecto. Por tal motivo, se decidió analizar de manera independiente cada uno de ellos.

Los fenoles urinarios iniciales, como se puede observar en la tabla 1.2, tuvieron un valor promedio de 7.16 ± 6.71 mg/g de creatinina, con una mediana de 5.08 con rango mínimo de 0.45 y máximo de 36.96.

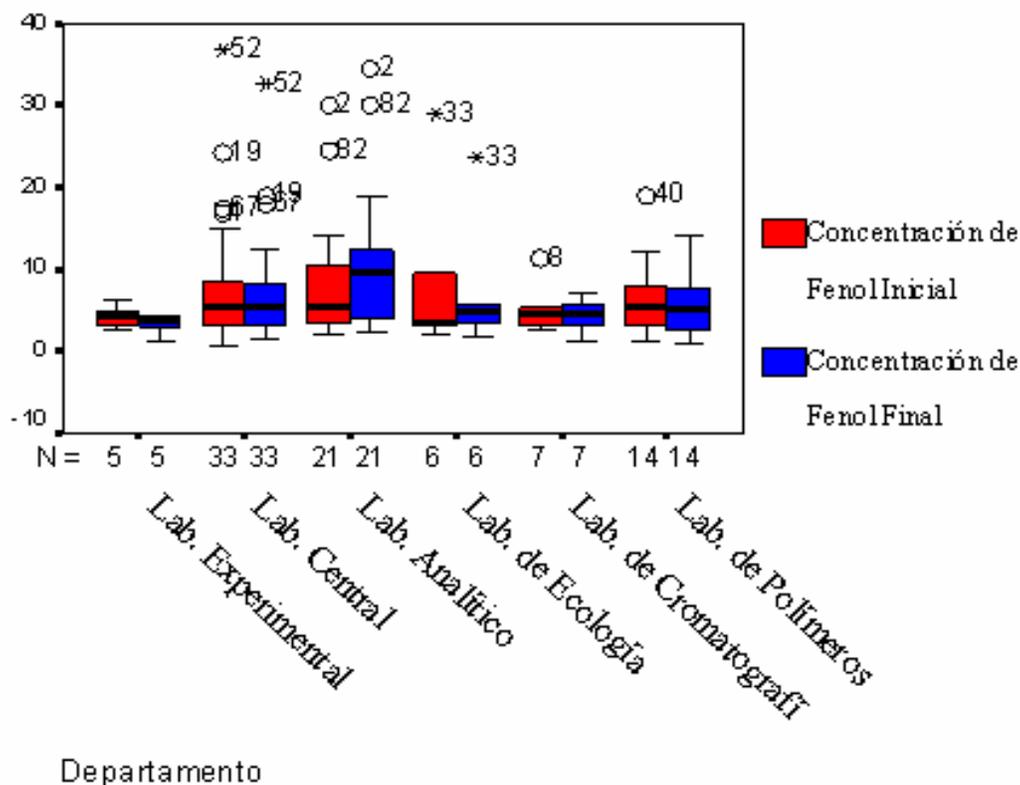
	Sum	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Median
Concentración de Fenoles Urinarios Inicial	616.45	86	7.1680	6.7101	.45	36.96	5.0800
Concentración de Fenoles Urinarios Final	627.10	86	7.2919	6.6123	.87	34.55	4.9050

Tabla 1.2. Análisis de las concentraciones de Fenoles urinarios al inicio y final de la jornada laboral.

Entre tanto, los fenoles urinarios finales tuvieron un promedio de 7.29 ± 6.69 mg/g de creatinina, con una mediana de 4.90 y un rango mínimo de 0.87 y máximo de 34.55.

En la gráfica 4, se observa que el departamento que obtuvo las concentraciones más altas de fenoles al inicio y final de la jornada laboral, fue el laboratorio Analítico, donde también se observa que las concentraciones de fenoles fueron mayores al final de la jornada; mientras que en el laboratorio Experimental se encuentran las concentraciones más bajas de este metabolito. Así mismo, llama la atención las diferencias amplias entre los valores máximos y mínimos de las concentraciones de

fenol, así como la cantidad de sujetos que se salen de la media por sus cifras elevadas.



Gráfica 4. Distribución de las concentraciones de Fenoles al inicio y al final de la jornada laboral por departamento

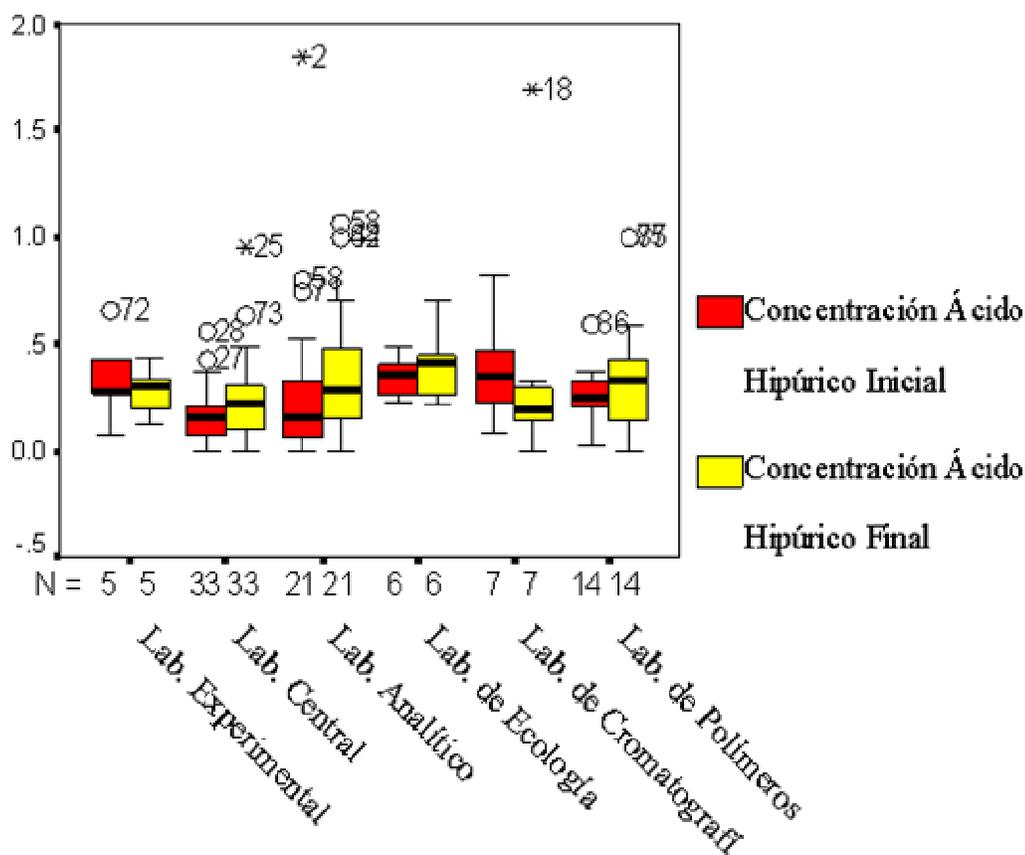
En el caso del ácido hipúrico, como se observa en la tabla 1.3, el promedio fue de 0.25 ± 0.25 g/g de creatinina, con una mediana de 0.20 y un rango mínimo de 0.00 con un máximo de 1.84 g/g de creatinina.

	Sum	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Median
Concentración de Ácido Hipúrico inicial	21.6422	86	.251653	.253281	.0000	1.8491	.203350
Concentración de Ácido Hipúrico final	27.0353	86	.314364	.293712	.0000	1.6929	.259450

Tabla 1.3. Análisis de las concentraciones de Ácido Hipúrico urinario al inicio y final de la jornada laboral.

Al final de la jornada, el ácido hipúrico tuvo un promedio de 0.314 ± 0.29 con una mediana de 0.25 y rango mínimo de 0.00 y máximo de 1.69.

La distribución de las medias de las concentraciones de ácido hipúrico tanto al inicio como al final de la jornada laboral, como se puede observar en la gráfica 5, presentan valores más altos al final de la jornada, excepto en dos departamentos (laboratorio experimental y de cromatografía).



Gráfica 5. Distribución de las concentraciones de Ácido Hipúrico al inicio y al final de la jornada laboral por departamento

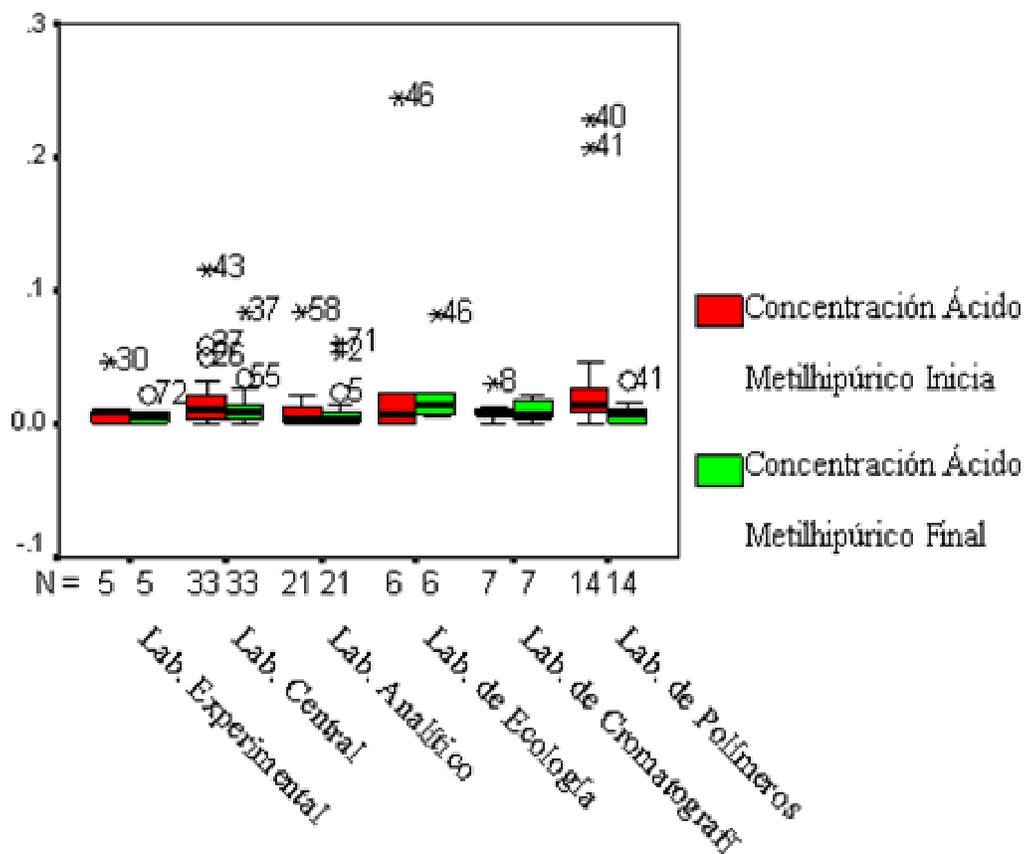
Finalmente, como se puede apreciar en la tabla 1.4 el promedio del ácido metilhipúrico inicial fue de 2.13 ± 4.33 , con una mediana de 9.45, con rango mínimo de 0.00 y un máximo de 0.24.

	Sum	N	Mean	Std. Deviatio	Minimum	Maximur	Median
Concentración de Acido Metilhipúrico inicial	1.8280	86	2.13E-02	4.32563E-02	.0000	.2439	9.45E-03
Concentración de Acido Metilhipúrico final	.9814	86	1.14E-02	1.55539E-02	.0000	.0825	7.00E-03

Tabla 1.4. Análisis de las concentraciones de Ácido Metilhipúrico urinario al inicio y al final de la jornada laboral.

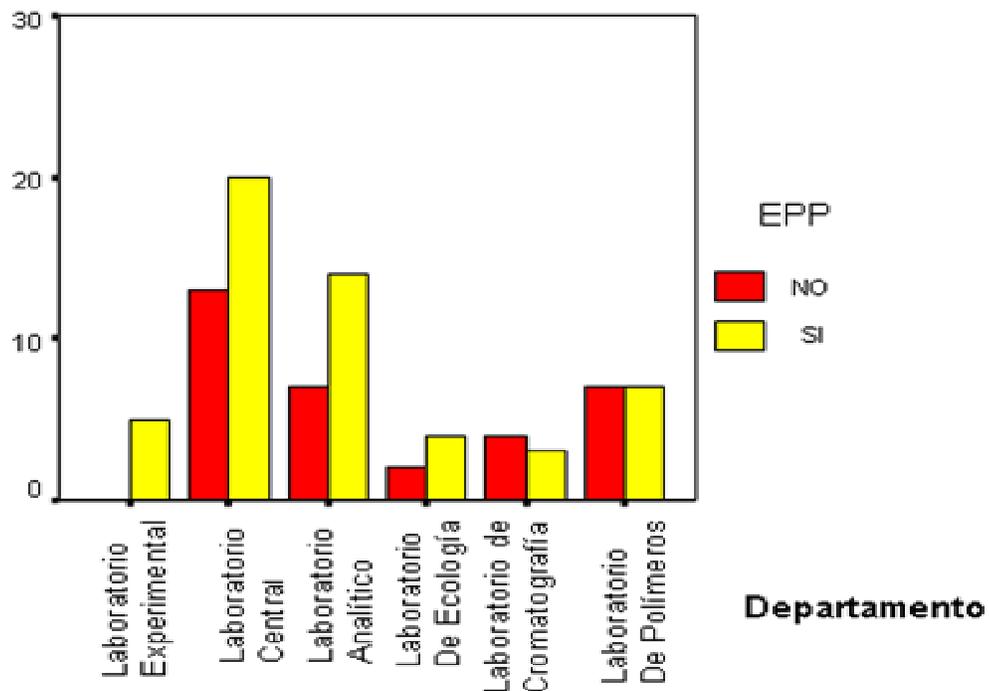
Así mismo, el promedio de ácido metilhipúrico final fue de 1.14 ± 1.56 , con una mediana de 2.00, con un rango mínimo de 0.00 y un máximo de 0.0825 g/g de creatinina.

En la gráfica 6, se observa que las medias de las concentraciones de Ácido Metilhipúrico al inicio y al final de la jornada laboral son similares, aún en los diferentes departamentos; observándose que en la mayoría de ellos (a excepción del de Cromatografía), una concentración mayor de ácido metilhipúrico al inicio de la jornada laboral. Llama la atención la diferencia mínima entre los valores máximos y mínimos en las concentraciones de ácido metilhipúricol en los trabajadores y la presencia de sujetos con valores altos que salen de la media.



Gráfica 6. Distribución de las concentraciones de Ácido Metilhipúrico al inicio y al final de la jornada laboral por departamento

Haciendo referencia al uso de Equipo de Protección Personal en los diferentes departamentos, podemos apreciar en la gráfica 7, que en el laboratorio Experimental, todos los trabajadores monitorizados ocuparon su EPP; en el resto de los departamentos los porcentajes variaban, con una tendencia mayor a usarlo; aunque en el caso del departamento de Polímeros la tendencia entre usar y no usar el EPP fue la misma, e incluso en el laboratorio de Cromatografía la tendencia fue no utilizarlo.



Gráfica 7. Uso de EPP en los diferentes departamentos

Se decidió posteriormente, hacer un análisis bivariado mediante la prueba de U de Mann-Witney encontrándose lo siguiente:

- Para la relación entre la presencia o no de EPP y los valores de los fenoles urinarios finales se encontró una $p = .28$ no significativa.

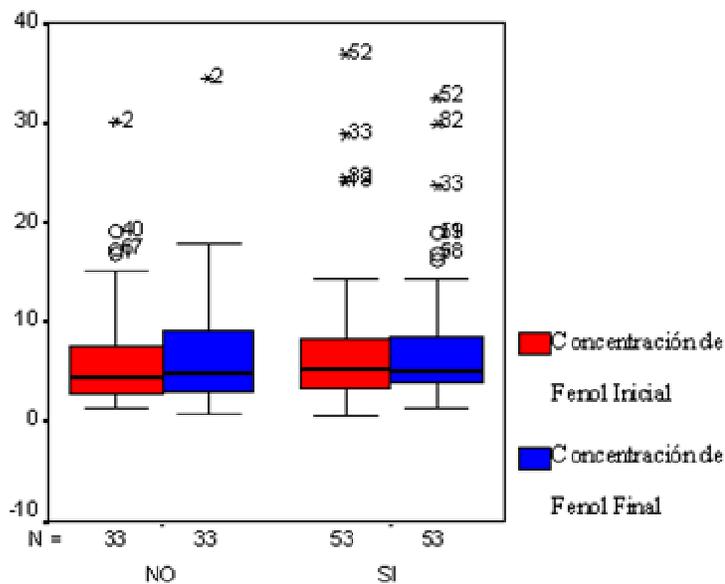
Ranks

	Equipo de protección personal	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Concentración de Fenoles Urinarios Final	NO	33	39.85	1315.00
	SI	53	45.77	2426.00
	Total	86		

Test Statistics

	Concentración de Fenoles Urinarios Final
Mann-Whitney U	754.000
Wilcoxon W	1315.000
Z	-1.070
Asymp. Sig. (2-tailed)	.285

a Grouping Variable: Equipo de protección personal



Gráfica 8. Concentración de Fenoles con el uso de EPP

no cambia de manera importante el nivel inicial que el final.

Al descartar los sujetos con valores muy elevados de fenoles, la distribución de las concentraciones es como se observa en que al no ocupar EPP incrementan los valores de fenoles al final de la jornada, mientras que el utilizarlo,

- Para la relación entre la presencia o no de EPP y los valores del ácido hipúrico finales se encontró una $p = .167$ no significativa.

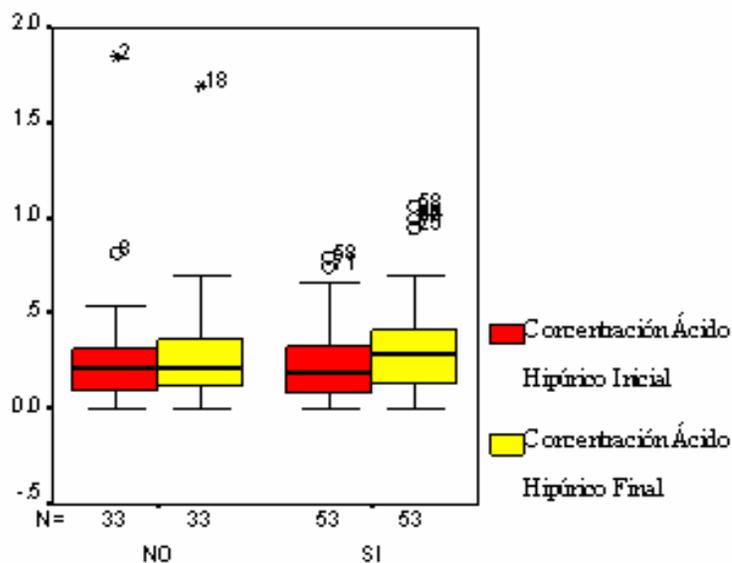
Ranks

	Equipo de protección personal	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Concentración de Ácido Hipúrico Final	NO	33	38.79	1280.00
	SI	53	46.43	2461.00
	Total	86		

Test Statistics

	Concentración de Ácido Hipúrico Final
Mann-Whitney U	719.000
Wilcoxon W	1280.000
Z	-1.381
Asymp. Sig. (2-tailed)	.167

a Grouping Variable: Equipo de protección personal

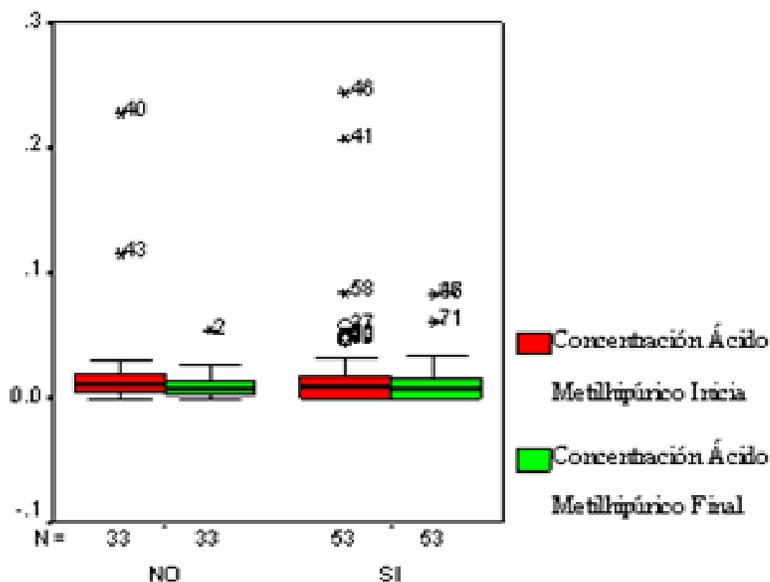


Gráfica 9. Concentración de Ácido Hipúrico con el uso de EPP

anterior.

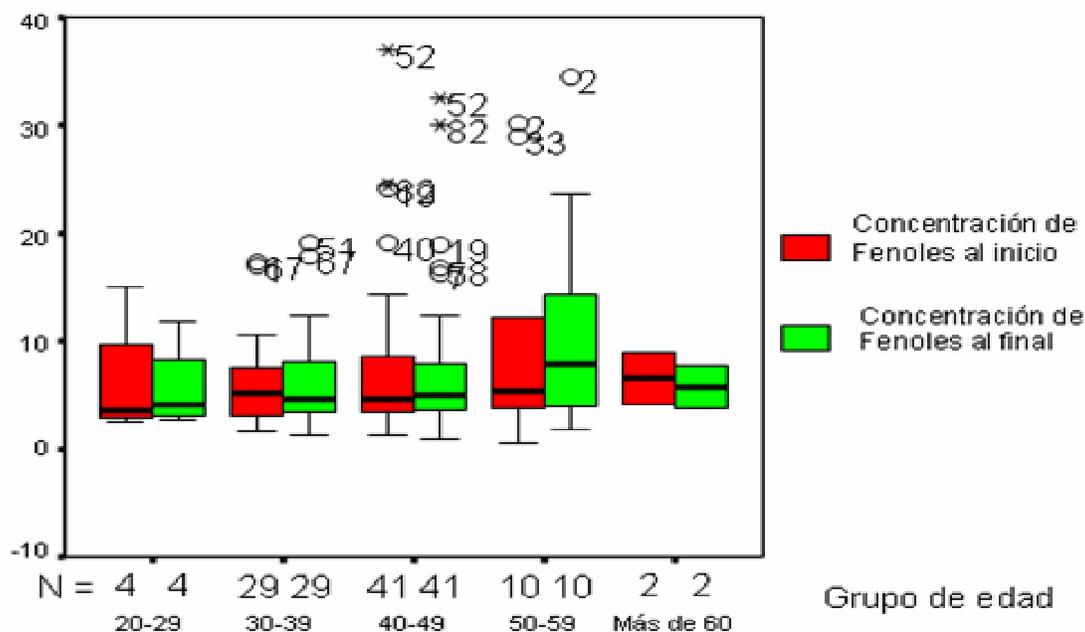
Al realizar la distribución gráfica, se observa que sin el uso de EPP aumentó las concentraciones finales, sin embargo, al utilizar el EPP, incluso llegó a niveles más altos al final de la jornada, en comparación con el grupo

- Finalmente para la relación entre la presencia o no de EPP y los valores finales del ácido metilhipúrico se encontró una $p = .677$ no significativa.



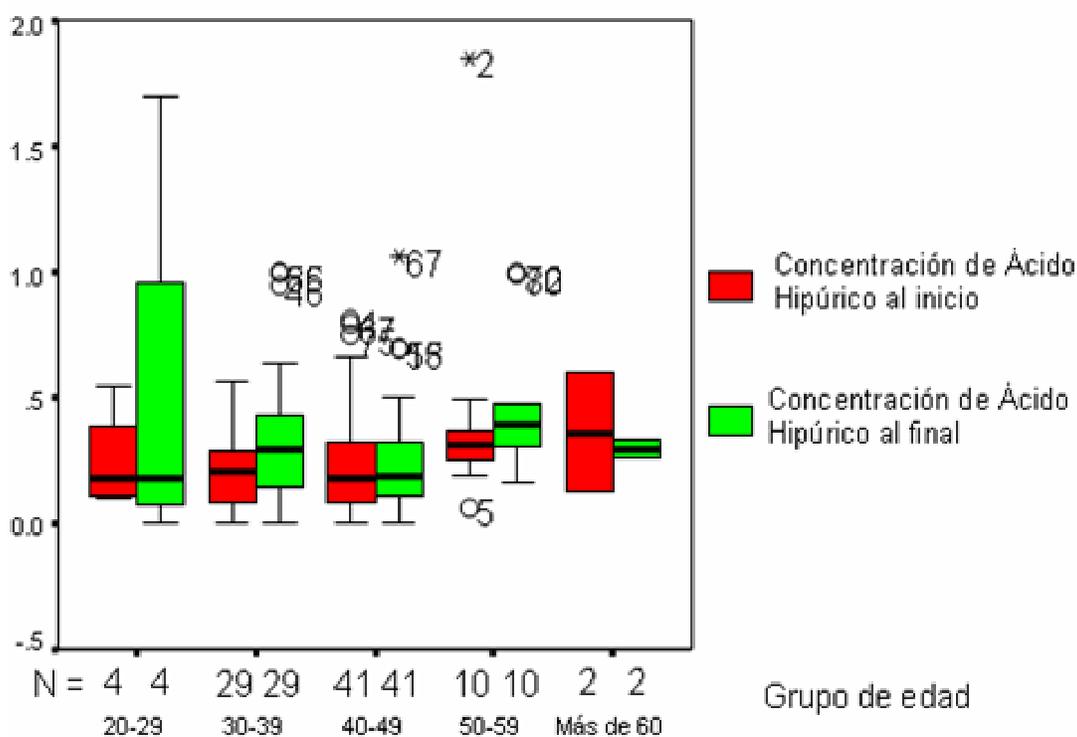
En esta ocasión la tendencia de las concentraciones al final de la jornada laboral es a decrecer, sin embargo, esto es más notable en los trabajadores que no utilizaron EPP que los que sí lo usaron.

Gráfica 10. Concentración de Ácido Metilhipúrico con el uso de EPP



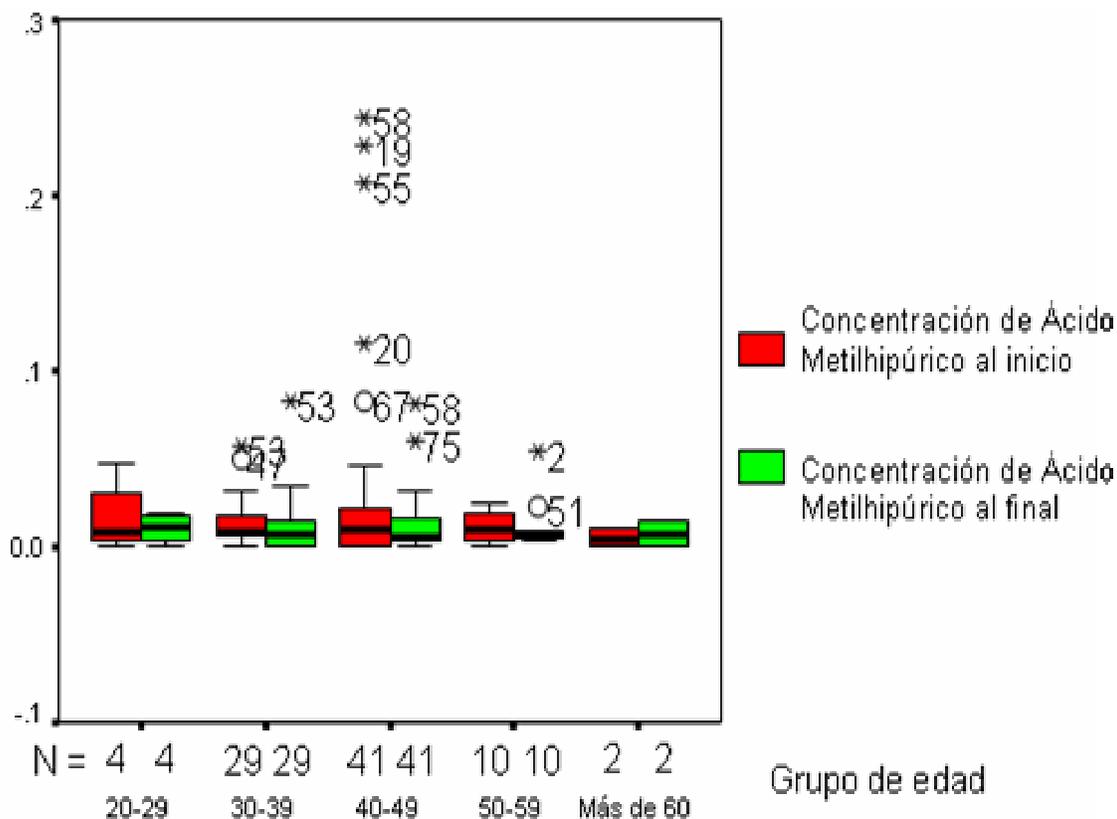
Gráfica 11. Correlación entre grupo de edad y concentraciones de Fenoles al inicio y al final de la jornada laboral

En el caso de la correlación entre la concentración de fenoles al inicio y al final de la jornada laboral por grupo de edad, representado en la gráfica 11, se observa cierta tendencia del grupo de 50 a 59 años a presentar mayores valores de fenoles principalmente al final de la jornada, sin embargo, el grupo que aparentemente reúne al mayor número de sujetos con niveles muy superiores a la media, es el de 40 a 49 años.



Gráfica 12. Correlación entre grupo de edad y concentraciones de Ácido Hipúrico al inicio y al final de la jornada laboral

En lo que respecta al Ácido Hipúrico, este metabolito lo presenta de manera más predominante el grupo de 20 a 29 años de edad, sobre todo al final de la jornada laboral, al igual que el grupo de 30 a 39 años, aunque en menor proporción.



Gráfica 13. Correlación entre grupo de edad y concentraciones de Ácido Metilhipúrico al inicio y al final de la jornada laboral

En este caso, se observa que las medias tanto al inicio como al final de la jornada, son muy similares para las concentraciones del Ácido Metilhipúrico en todos los grupos de edad, sin embargo, es de llamar la atención que los sujetos con mayor cifras de concentración en orina de este metabolito se concentran principalmente en el grupo de 40 a 49 años; en estos sujetos, sus valores no son incluidos en las medias, debido a que por sus cifras tan altas ocasionan un sesgo en la interpretación de los resultados.

Por sus actividades laborales diarias, los trabajadores pueden estar en contacto con disolventes, entre ellos, la mezcla BTX, al realizar tareas que no se consideran como de riesgo y que sin embargo interfiere en la interpretación de los resultados obtenidos, por lo que se decidió realizar una correlación a este respecto.

En la figura 14 se observa que los trabajadores que negaron haber estado en contacto directo con algún tipo de solvente presentan una concentración de fenoles superior al grupo que confirmo esta exposición, aunque cabe resaltar que en ambos grupos la concentración fue de menos (al inicio de la jornada) a más (final de la jornada).

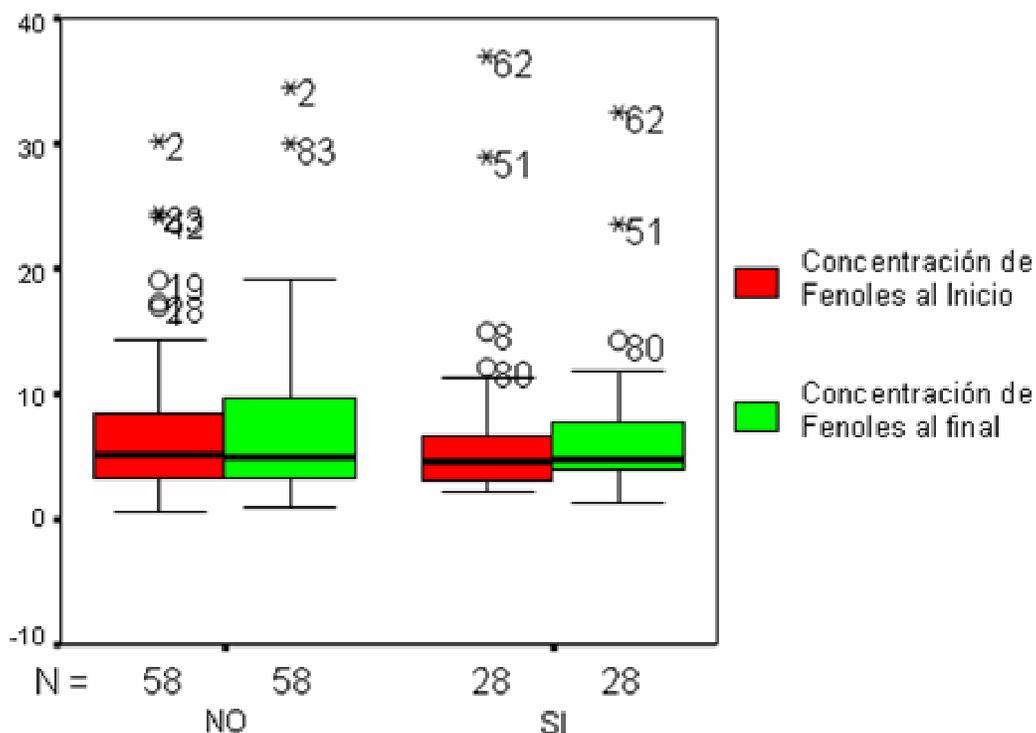


Figura 14. Correlación entre exposición a disolventes y concentraciones urinarias de Fenol al inicio y al final de la jornada laboral

En la figura 15, con el ácido hipúrico, el comportamiento es similar en quienes negaron estar en contacto directo con algún disolvente, mientras que, quienes si estaban seguros de la exposición tuvieron una tendencia a disminuir sus cifras al final de la jornada. Incluso llama la atención que la mayoría de los sujetos que tienen los valores más altos a la media se concentren al final de la jornada laboral en el grupo que negó el contacto.

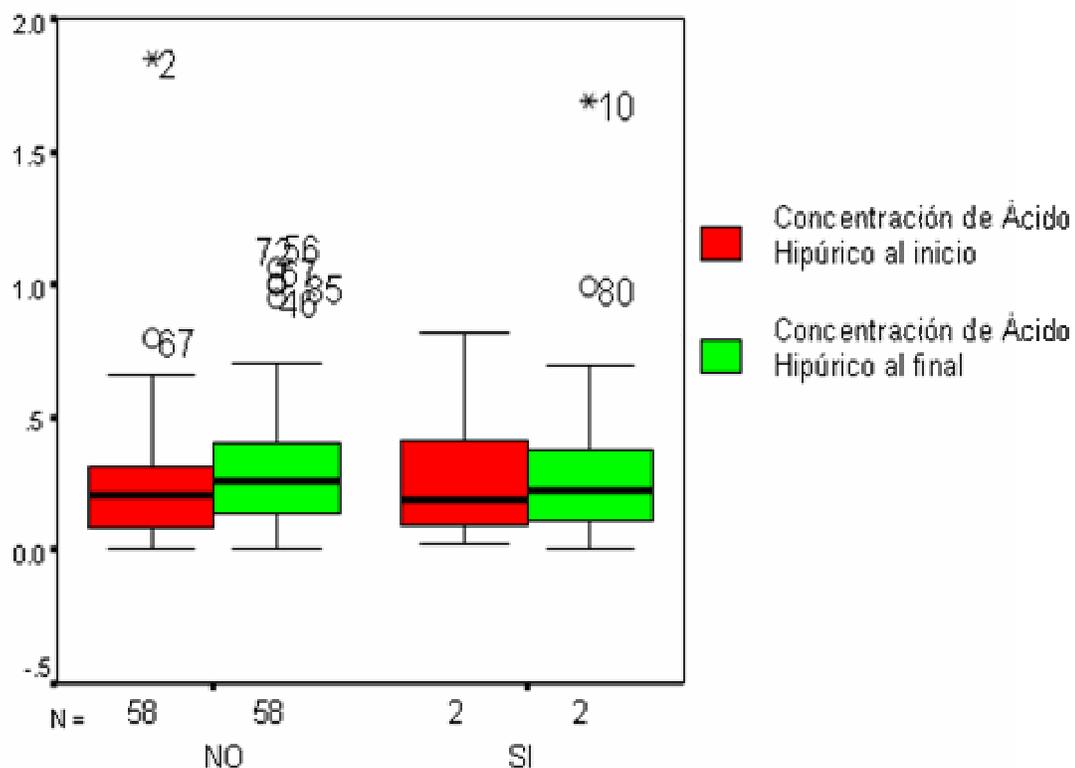


Figura 15. Correlación entre exposición a disolventes y concentraciones urinarias de Ácido Hipúrico al inicio y al final de la jornada laboral

En la figura 16 se observan medias muy similares en ambos grupos, sin embargo, aunque muy discreto, se observa un descenso en la concentración de ácido metilhipúrico al final de la jornada laboral en quienes negaron algún contacto con disolventes, mientras que en el grupo acepto dicha exposición se observan cifras muy similares. En este caso, el grupo que concentra a la mayoría de sujetos con niveles muy superiores a la media, nuevamente es el que negó la exposición a disolventes, solo que en esta ocasión se concentraron al inicio de la jornada.

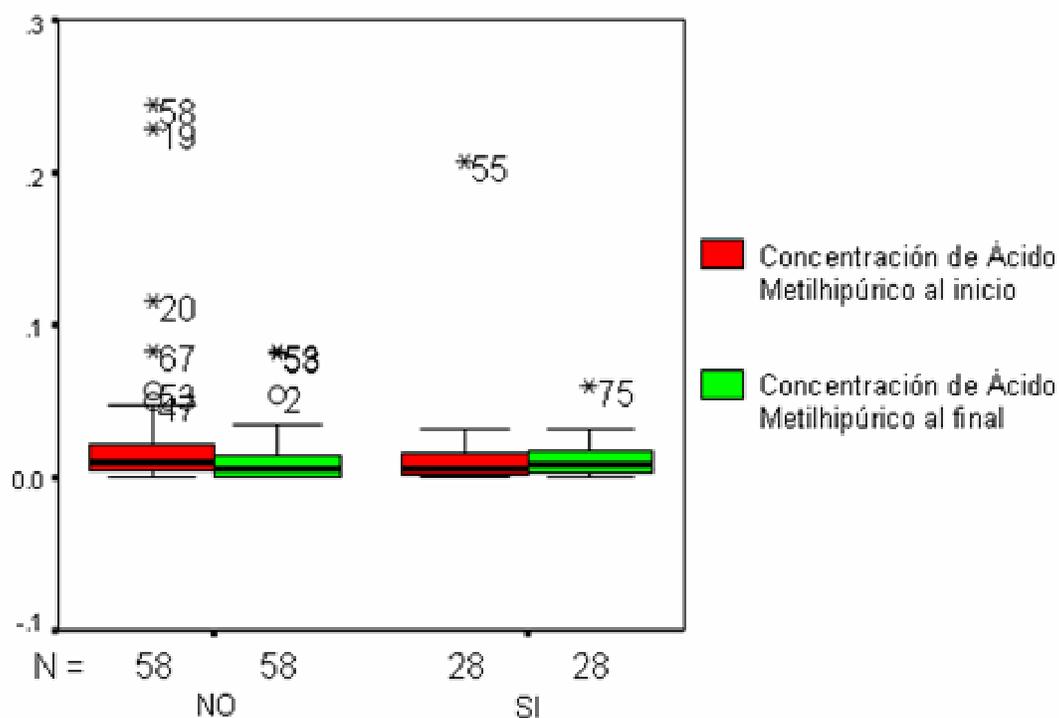


Figura 16. Correlación entre exposición a disolventes y concentraciones urinarias de Ácido Metilhipúrico al inicio y al final de la jornada laboral

DISCUSIÓN

Entre los objetivos planteados para este estudio, se encontraban el relacionar los niveles de metabolitos de la mezcla BTX en orina (fenoles, ácido hipúrico y ácido metilhipúrico respectivamente), de un Monitoreo Biológico de Exposición Laboral realizado en el año 2006, y el área donde regularmente desempeñaban sus labores los trabajadores; para determinar si existía una exposición importante se comparó los niveles de fenoles urinarios al inicio de la jornada laboral y al final de la misma (8 horas después). Entre los resultados que se obtuvieron, de los 6 grupos que se formaron, tuvieron un comportamiento variable, ya que se esperaba una relación constante entre las concentraciones de los diferentes metabolitos, sin embargo esto puede explicarse debido a la susceptibilidad personal, a las concentraciones diferentes de los agentes aunque se encuentren en una misma mezcla, factores ambientales y de manera muy importante, factores de confusión, como es el tabaquismo (pasivo o activo), ingesta de cierto tipo de alimentos, consumo de medicamentos, uso adecuado del EPP, etc. Dentro del monitoreo se trata de contemplar la interferencia de estas variables de confusión, sin embargo es muy amplio su repertorio y su control se basa a un factor subjetivo, que es la información proporcionada por el mismo trabajador. Cabe mencionar que entre los departamentos, el que conservó cierta relación de las concentraciones de los tres metabolitos, fue el laboratorio experimental, llamándonos la atención debido a que todos los trabajadores monitorizados de este departamento refirieron el uso de su EPP.

En este aspecto, al referirnos al uso del EPP y aplicar la prueba de U de Mann-Withney, nos encontramos que las relaciones entre el uso del EPP y la concentraciones de los metabolitos de BTX resultó no significativa. Al realizar las gráficas correspondientes, no arrojo datos concluyentes. Nuevamente se puede sospechar la interferencia de factores de confusión, ya que, incluso quienes referían el uso de su EPP, al final de la jornada laboral presentaban concentraciones más altas de los metabolitos que cuando iniciaron sus actividades.

Al analizar la correlación con los grupos de edad, nos percatamos que existís una consistencia en el grupo de edad de 30 a 39 años de edad para los tres metabolitos; en los demás grupos se puede sospechar que existe cierta relajación acerca de las normas de seguridad, en los grupos más jóvenes por su propia inexperiencia y en el grupo opuesto tal vez, por exceso de confianza; sin embargo, el realizar este tipo de conclusiones es aventurado, ya que insistimos, es necesario considerar el mayor número de variables involucradas.

Un punto más que consideramos relevante, fue la exposición rutinaria para tareas que no se consideran de riesgo, como el pintar (con el empleo de disolventes), realizar trabajos de limpieza con estos agentes, el transporte de pequeñas cantidades para su deshecho, etc. dichas actividades no pondrían en riesgo inminente al trabajador, pero provocaría que en los resultados del monitoreo resulte con falsos positivos. De esta manera, se pregunto a los trabajadores si habían realizado alguna actividad que no considerasen de riesgo y que involucrara el uso de algún disolvente. Los que respondieron que no, presentaron niveles más altos al

final de la jornada laboral en la concentración de fenoles y ácido hipúrico; mientras los que contestaron que sí, presentaron concentraciones variables en los metabolitos, ya que en los fenoles se observa un aumento de estos al final de la jornada; en el caso del ácido hipúrico, presentó descenso al final de la jornada, mientras que en el ácido metilhipúrico se aprecian niveles similares. En esta correlación podría achacarse la variabilidad de los resultados, al hecho de que la pregunta sea tan subjetiva.

De este Monitoreo Biológico de Exposición Laboral para BTX, ningún trabajador resultó con concentraciones de metabolitos urinarios al final de la jornada laboral arriba de lo especificado por la NOM-047-SSA1-1993, sin embargo, algunos trabajadores se encontraron por arriba de los LMPE especificados por PEMEX como marco de seguridad; en estos trabajadores, es conveniente mantenerlos alejados de sus áreas de trabajo, no necesariamente incapacitados, se pueden mantener en departamentos donde se conozca que no hay exposición ambiental a BTX o algún otro disolvente; posteriormente, es conveniente realizar un seguimiento semanal de estos trabajadores, monitorizando la concentración del metabolito urinarios en cuestión para asegurarse de que se esté metabolizando y eliminando. Posteriormente, se puede reincorporar al trabajador en sus actividades previas, vigilando los posibles errores en el uso del equipo de protección ambiental y las desviaciones en las medidas de seguridad.

CONCLUSIONES

Lamentablemente, en el presente estudio no es posible determinar si los resultados obtenidos son consecuencia de factores relacionados a la concentración del agente en el ambiente, a la actividad laboral, el uso inadecuado del EPP o falta en el seguimiento de las indicaciones de seguridad en el trabajo y finalmente, si son condicionados por otras variables. En caso de decidirse un análisis posterior de estas variables, se sugiere realizar un ajuste estadístico de Bonferroni, lo que permitiría resolver la existencia de sesgo en cada una de ellas en relación con las cifras de metabolitos urinarios.

Los hallazgos realizados en el presente estudio, pueden ser utilizados como referencia para otras investigaciones, considerando las variables que puedan condicionar desviaciones importantes en los resultados. Sin embargo, es conveniente sugerir el uso algún otro metabolito, ya que en el caso de los fenoles, a pesar de ser muy utilizado aún, es poco específico, por lo que la cantidad de variables que se deben manejar para un estudio de este tipo es muy amplia, a diferencia del ácido fenil-mercaptúrico y el ácido mucónico.

De lo obtenido en los resultados, se puede considerar que es un factor positivo el hecho de que las concentraciones de los fenoles urinarios, principalmente al final de la jornada laboral, en la mayoría de los trabajadores, es menor a los LMPE considerados por PEMEX, ya que esto refleja las medidas de seguridad adecuadas, incluyendo el uso del EPP.

A pesar de lo mencionado anteriormente, la tendencia de las actividades deben estar encaminadas a reducir aún más la exposición personal a BTX, ya que dentro de este análisis se observa que hay algunos trabajadores en el límite de los LMP de exposición. Incluso, los valores contemplados a nivel internacional por la NIOSH, son más bajos que los referidos por la NOM-047-SSA1-1993.

Los resultados obtenidos deben tomarse bajo reserva de las diferentes variables externas ya comentadas. Sin embargo, por el número reducido de trabajadores que presentaron concentraciones de metabolitos urinarios elevados (por arriba de los LMPE en PEMEX), valdría la pena la realización de análisis de puestos que puedan arrojar más datos acerca de los factores laborales que influyen en la exposición a BTX. Lo anterior puede dar fortaleza a este tipo de estudios cuando no es posible abarcar la mayoría de las variables externas y cuando no es posible el manejo de otros metabolitos más específicos para el Monitoreo Biológico de Exposición Ambiental a BTX o en determinado momento, a cualquier otro agente que se quiera estudiar.

Por último, cabe mencionar que las medidas tomadas por esta empresa en cuanto a la seguridad de los trabajadores para este tipo de exposición, se refleja en los resultados de este monitoreo, sin embargo, es necesario tratar de disminuir estos niveles aún cuando se encuentran dentro de los límites permitidos, dado que consiguiendo esto, se disminuye aún más los riesgos de presentar complicaciones a la salud a largo plazo.

GLOSARIO

Ácido s-fenilmercaptúrico: Metabolito utilizado en el Monitoreo Biológico de Exposición al Benceno. Su eliminación del cuerpo es por vía urinaria y tiene un límite máximo de 25mcg/g de creatinina.

Ácido t,t-mucónico: Metabolito urinario utilizado en el Monitoreo Biológico de Exposición al Benceno. Se forma en la ruta de oxidación del fenol hacia la formación de dihidroxibencenos, con la apertura del anillo aromático. Se considera como una ruta tóxica y tiene un límite máximo de 500 mcg/g de creatinina.

Alquilación: Proceso en donde a las cargas gaseosas se les sustituye un hidrógeno por un radical alquilo.

Alquilo, radical: Es, en química orgánica, un grupo como el CH_3^- , el cual es el derivado de un alcano o hidrocarburo, y que ha perdido un hidrogeno, este seria el grupo funcional METILO. Es una de las bases para continuar la construcción natural o sintética de mayores moléculas, o sustitución de componentes en moléculas orgánicas.

Anemia Aplástica: Es la depresión de todas las líneas celulares de la sangre debido a hipocelularidad de la médula ósea, la cual puede ser constitucional, adquirida, o iatrogénica.

Aromatización: Proceso por el que un compuesto alifático se transforma en otro aromático; en la química del petróleo tiene especial importancia la aromatización de alcanos, que originan benceno.

Benceno: Es un hidrocarburo poliinsaturado de fórmula C_6H_6 , con forma de anillo (denominado anillo bencénico), incoloro, de olor agradable, empleado en la elaboración de otras sustancias químicas, de plásticos y como disolvente.

Cáncer: Es un crecimiento tisular producido por la proliferación continua de células anormales con capacidad de invasión y destrucción de otros tejidos.

Centro de trabajo: Áreas, edificadas o no, en las que los trabajadores deban permanecer o a las que puedan acceder en razón de su trabajo.

Combustible: Es todo aquel material susceptible de arder al mezclarse con un comburente y ser sometido a una fuente de calor.

Connotación A2: Es la referencia a la clasificación de cancerígenos; en este caso específicamente hace referencia a un agente cancerígeno humano sospechoso.

Cristalización fraccionada: Técnica de separación de disoluciones en la que las condiciones se ajustan de tal forma que sólo puede cristalizar alguno de los solutos permaneciendo los otros en la disolución. Esta operación se utiliza con frecuencia

en la industria para la purificación de las sustancias que, generalmente, se obtienen acompañadas de impurezas.

Densidad Relativa de Vapor: Medida de la densidad relativa de un vapor comparado con el aire. Una densidad de vapor menor a 1 indica que el vapor es más ligero que el aire y que tendera a elevarse. Una densidad de vapor mayor a 1 indica que el vapor es más pesado que el aire y tendera a descender hacia el suelo.

Destilación: Es la operación de separar, comúnmente mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla, aprovechando las diferencias de volatilidades de los compuestos a separar.

Disolvente: Líquidos utilizados para disolver materiales tales como grasa y aceite. Los disolventes son frecuentemente utilizados en las actividades de limpieza, pintura y adhesivos.

Explosividad: Capacidad de ciertas sustancias, sólidas, líquidas, gaseosas, mezcla o combinación de ellas, por la cual pueden por si mismas emitir, mediante reacción química, un gas a temperatura, presión y velocidad tales que las hace susceptibles de provocar daños a la salud, zona circundante y/o al ambiente en general.

Fenol: Es un sólido cristalino color blanco-incoloro a temperatura ambiente. Su fórmula química es C_6H_5OH , y tiene un punto de fusión de $43^{\circ}C$ y un punto de ebullición de $182^{\circ}C$. Es un alcohol; puede sintetizarse mediante la oxidación parcial

del Benceno. Tiene un olor dulce y alquitranado; aunque no es un parámetro sensible en el Monitoreo Biológico de Exposición Laboral al Benceno, se le puede utilizar como alternativa.

Híbrido de Resonancia: Es la forma estructural de representar al Benceno, caracterizada como un hexágono con un círculo dentro para indicar que los tres dobles enlaces del benceno están deslocalizados y estabilizados por resonancia.

Hidrocarburo: Son compuestos orgánicos que sólo contienen carbono e hidrógeno en su estructura, los cuales pueden ser lineales o ramificados.

Hidrocarburo aromático: Compuesto orgánico formado por átomos de carbono e hidrógeno ordenados en una estructura anular específica.

Inflamabilidad: Característica de ciertas sustancias, sólidas, líquidas, gaseosas, mezcla o combinación de ellas, fácilmente combustibles o que, por fricción o variación de temperatura, pueden causar incendio o contribuir a agudizarlo.

Jornada Laboral: Horas fijadas por la autoridad competente, dentro del máximo legal, durante la cual se encuentra el trabajador, al servicio o a las órdenes del empleador, con el fin de cumplir la prestación laboral estipulada o exigible.

Leucemia: Son neoplasias derivadas de las células hematopoyéticas, proliferando de manera inicial en la médula ósea antes de diseminarse a sangre periférica, bazo, ganglios linfáticos y demás tejidos.

Leucemia Mieloblástica Aguda: Se caracteriza por la proliferación de clones de las células hematopoyéticas inmaduras. Surge tras la transformación maligna de un solo progenitor hematopoyético, seguida de la replicación celular y la expansión del clon transformado. La característica más destacada es un defecto en la maduración más allá de la fase de mioblasto o promielocito.

Límite Máximo Permissible de Exposición (LMP): Es la concentración de un contaminante del medio ambiente laboral, que no debe superarse durante la exposición de los trabajadores en una jornada de trabajo en cualquiera de sus tres tipos. El límite máximo permissible de exposición se expresa en mg/m³ o ppm, bajo condiciones normales de temperatura y presión.

Límite Máximo Permissible de Exposición de Corto Tiempo (LMPE-CT): Es la concentración máxima del contaminante del medio ambiente laboral, a la cual los trabajadores pueden estar expuestos de manera continua durante un periodo máximo de quince minutos, con intervalos de al menos una hora de no exposición entre cada periodo de exposición y un máximo de cuatro exposiciones en una jornada de trabajo y que no sobrepase el LMPE-PPT.

Límite Máximo Permissible de Exposición-Promedio Ponderado en Tiempo

(LMPE-PPT): Es la concentración promedio ponderada en tiempo de un contaminante del medio ambiente laboral para una jornada de ocho horas diarias y una semana laboral de cuarenta horas, a la cual se pueden exponer la mayoría de los trabajadores sin sufrir daños a su salud.

Metabolito: Cualquier sustancia producida por un proceso metabólico.

Monitoreo Ambiental Laboral Personal (MALP): Es la medición de un agente que penetra al organismo a través de la vía respiratoria, entre sus características es que debe ser normativo, indirecto, personal y representativo de la exposición.

Monitoreo Biológico: Es la determinación y evaluación de los agentes o de sus metabolitos presentes en tejidos, secreciones, excretas, aire espirado o cualquier combinación de los mismos con objeto de evaluar la exposición y el riesgo para la salud en comparación con una referencia adecuada.

Monitoreo Biológico de Daño Precoz o de Efecto (MBDPE): Es el reconocimiento, medición o evaluación de los cambios enzimáticos, bioquímicos y/o fisiológicos a nivel molecular, pero sin referencia al daño genético.

Monitoreo Biológico de Efecto Genético Temprano (MBEGT): Es la identificación precoz de las exposiciones genotóxicas de un grupo de personas y

permite la evaluación de poblaciones de alto riesgo y, por tanto, de prioridades de intervención.

Monitoreo Biológico de Exposición Laboral a Agentes Químicos (MBELAQ):

Es la evaluación de los agentes químicos o sus metabolitos en el organismo del trabajador para determinar la exposición a diferentes agentes químicos, no mide daño ni enfermedad, solo exposición.

Monitoreo Biológico de Susceptibilidad Genética (MBSG): Es el estudio de las características genotípicas y/o fenotípicas que facilitan el desarrollo de un posible daño biológico a nivel genético.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Instituto Nacional para la Salud y Seguridad en el Trabajo. Es la agencia federal estadounidense encargada de hacer investigaciones y recomendaciones para la prevención de enfermedades y heridas asociadas con el trabajo. El Instituto es parte de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC).

Norma Oficial Mexicana: Son criterios que deben tomarse en cuenta para dar cumplimiento al Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, validos solamente en la República Mexicana.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA): Administración de Seguridad y Salud en el Trabajo. Es la agencia encargada de asegurar la seguridad

y salud de los trabajadores en EUA, estableciendo y haciendo cumplir normas, ofreciendo adiestramientos y educación, estableciendo asociaciones y motivando a un mejoramiento continuo en la seguridad y salud en el lugar de trabajo.

PEMEX petroquímica: A través de sus siete empresas filiales (Petroquímica Camargo, Cangrejera, Cosoleacaque, Éscolín, Morelos, Pajaritos y Tula), elabora, distribuye y comercializa una amplia gama de productos petroquímicos secundarios.

Peso Molecular: Es la suma de los pesos atómicos de cada átomo en su fórmula química.

Polimerización: Es un proceso químico por el que los reactivos, monómeros (compuestos de bajo peso molecular) se agrupan químicamente entre sí dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero, bien como una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

Polímero: Son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

Punto de ebullición: Es la temperatura que debe alcanzar este para pasar del estado líquido al estado gaseoso; para el proceso inverso se denomina punto de condensación.

Punto de fusión: Es la temperatura del momento en el cual una sustancia pasa del estado sólido al estado líquido. En las sustancias puras, el proceso de fusión ocurre a un momento determinado. Este punto no depende de la presión, siendo esta tan alta como soporte el sólido.

Punto de inflamación: Se trata de la temperatura mínima necesaria para que un material inflamable desprenda vapores que mezclados con el aire se inflamen en presencia de una fuente ígnea, para volverse a extinguir rápidamente por sí sola.

Quinol: Es una sustancia blanca y cristalina, con fórmula $C_6H_4(OH)_2$, obtenido por la reducción de una quinona.

Reactividad: Es la capacidad de reacción química que presenta ante otros reactivos. Se puede distinguir entre reactividad termodinámica y reactividad cinética.

Refinería: Es una planta industrial destinada a la refinación de petróleo la cual, mediante un proceso adecuado, obtiene diversos combustibles fósiles capaces de ser utilizados en motores de combustión: gasolina, gasóleo, etcétera. Adicionalmente, y como parte natural del proceso, obtiene diversos productos tales como aceites minerales y asfaltos.

Reformado catalítico: Es un proceso químico utilizado en la refinación del petróleo. Es fundamental en la producción de gasolina. Su objetivo es aumentar el número de octano de la nafta pesada obtenida en la destilación atmosférica del crudo. Esto se

consigue mediante la transformación de hidrocarburos parafínicos y nafténicos en isoparafínicos y aromáticos. Estas reacciones producen también hidrógeno, un subproducto valioso que se aprovecha en otros procesos de refinación.

Threshold Limit Value (TLV): Valor Umbral Límite. Es el nivel límite de exposición permisible a productos químicos establecido por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno anualmente.

Tolueno: Es un líquido claro y volátil con olor aromático dulzón, poco soluble en agua y muy liposoluble. Es uno de los disolventes de abuso más utilizados. Se usa en la manufactura del benceno y productos tales como detergentes, adhesivos, explosivos, pegamentos, colas, lacas, etc. Su fórmula es (C₆H₅CH₃).

Volatilidad: Es la capacidad de una sustancia de evaporarse a una temperatura determinada y con una presión determinada.

Xileno: Es el nombre de los dimetilbencenos. Según la posición relativa de los grupos metilo en el anillo de benceno. Se diferencia entre orto-, meta-, y para-Xileno (o con sus nombres sistemáticos 1,2-; 1,3-; y 1,4-dimetilbenceno. Se trata de líquidos incoloros e inflamables con un característico olor parecido al tolueno.

BIBLIOGRAFÍA

1. López Bahamonde J. M. La industria petroquímica de los aromáticos en el siglo XXI. Ingeniería Química; Vol. 31, No. 357: pp. 99-102. Madrid, España. Mayo, 1999.
2. Francisco Mercado Calderón. Nuevos Datos Sobre la Toxicocinética del Tolueno para el Monitoreo Biológico de Exposición Ocupacional. Revista Latino Americana de la Salud en el Trabajo. Vol. 4; 2: 52-55. México, 2004.
3. Dirección de Vigilancia Epidemiológica de Enfermedades No Transmisibles. La Transición Epidemiológica (Cinco causas de Muerte en México). WWW.DGE. Dirección General de Epidemiología. México, 24 de Junio del 2006.
4. Alejandro Mohar, Mauricio Frías-Mendivil, et. al. Epidemiología Descriptiva del Cáncer, Instituto Nacional de Cancerología de México. Salud Pública; 39: 253-258. México, 1997.
5. Fusun Yaris, Mustafá Dikici, Turhan Akbulut, Ersin Yaris and Hismi Sabuncu. Story of Benzene and Leukemia: Epidemiologic Approach of Muzaffer Aksoy. Journal of Occupational Health; 46: 244-247, 2004.

6. Yung-Hwang Chen, Wen-Lin Su and Saou-Hsing Liou. Benzene-Induced Myelodysplastic Syndrome. JABFP Taiwan. Vol. 14, No. 1, 2001.
7. Gerhard K. Raabe y Otto Wong. Leukemia Mortality by Cell Type in Petroleum Workers with Potential Exposure to Benzene. Environmental Health Perspectives. Vol.104, Supplement 6; p. 1381-1392, December 1996.
8. Rillo Arturo G., Castilla Serna L., Reyes Vázquez C. Efectos de la inhalación de tolueno sobre el sistema nervioso central / Toluene inhalation effects on central nervous system. Acta pediátr. Méx; 13 (5): 192-197, Sept.-Oct. 1992.
9. Lauwerys R. Indicadores Biológicos para la Valoración de la Exposición Humana a Compuestos Químicos Industriales: Xileno. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Bruselas, Luxemburgo, 1984.
10. Instituto Superiore Di Sanità. Biomarkers for Environmental and Occupational Exposure to Aromatic Mutagens and Carcinogens from Emissions of Oil Shale Petrochemistry. Report of the EC PECO programme Project CIPA-CT92-3016. Serie Relazioni 98/1. Roma 1998.
11. Pitarque, M., Vaglenov, A., Nosko, M., Hirvonen, A., Norppa, H., Creus, A., and Marcos, R. Evaluation of DNA damage by the Comet Assay in Shoe Workers Exposed to Toluene and Other Organic Solvents. Mutation

- Research. *Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*; 441(1): 115-127, 1999.
12. Roma T. J., Teixeira J. P., Silva S., Laffón B., Cunha L. M., Méndez J. and Mayan O. Evaluation of Genotoxicity in a Group of Workers from a Petroleum Refinery Aromatic Plant. *Mutation Research*; 604: 19-27. Portugal, 2006.
 13. Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1999, Referente a las Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen Sustancias Químicas capaces de generar contaminación en el Medio Ambiente Laboral.
 14. Norma Oficial Mexicana NOM-047-SSA1-1993, que establece los Límites Biológicos Máximos Permisibles de Disolventes Orgánicos en el personal Ocupacionalmente Expuesto.
 15. Manual de Toxicología en la Industria de Petróleos Mexicanos (en prensa).
 16. Lauwerys, Robert R. Hoet, Perrine. "Industrial Chemical Exposure: Guidelines for Biological Monitoring. Lewis Publisher; Boca Raton; p. 202-214; Florida, 2001.
 17. Blank, I. H. and McAuliffe, D. J. Penetration of Benzene through Human Skin. *J. Invest. Dermatology*; 85: 522, 1985.

18. Susten, A. S. et al. Percutaneous Penetration of Benzene in Hairless Mice: an Estimate of Dermal Absorption during tire-building operation. *Am. J. Ind. Med.*; 7: 323, 1985.
19. Brugnone, F. et al. Reference Values for Blood Benzene in the Occupationally Unexposed General Population. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*; 64: 179, 1992.
20. Inoue, O. et al. Quantitative Relation of Urinary Phenol Levels to Breath Zone Benzene Concentrations: a Factory Survey. *Br. J. Ind. Med.*; 43: 692, 1986.
21. van Sittert, N. J., Boogaard, P. J. and Beulink, G. D. Application of the urinary S-phenylmercapturic acid test as a Biomarkers for low levels of exposure to Benzene in Industry. *Br. J. Ind. Med.*; 50; 460, 1993.
22. Hoja Informativa Sobre Sustancias Peligrosas. Benceno. Departamento de Salud y Servicios para Personas Mayores de New Jersey; p. 1-6, 2001.
23. Fernando Gil Hernández. *Tratado de Medicina del Trabajo*. Ed. Masson; p. 792-795. España, 2005.
24. Tolueno, <http://www.wikipedia>, la enciclopedia libre. México, 09 de Agosto del 2007.

25. Tolueno. Riesgo químico-accidentes graves. Consejería de sanidad, Dirección General de Salud Pública, Servicio de Sanidad Ambiental. Región de Murcia, Marzo, 2007.
26. Flower Lynn, et. al. "Toxicological Review of Tolune". U. S. Environmental Protection Agency; p. 8; Washington D.C. Septiembre, 2005.
27. Xileno, <http://www.wikipedia>, la enciclopedia libre. México, 10 de Agosto del 2007.
28. Xileno. División de Toxicología y Medicina Ambiental. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Departamento de Salud y Servicio Humanos de los EE. UU. Septiembre, 2005.
29. Xileno. Riesgo químico – accidentes graves. Consejería de sanidad, Dirección General de Salud Pública, Servicio de Sanidad Ambiental. Región de Murcia, Mayo, 2007.
30. Flower Lynn, et. al. "Toxicological Review of Xilenes". U. S. Environmental Protection Agency; p. 10; Washington D.C. Enero, 2003.
31. Foá Vito, Alessio Lorenzo. Control Biológico (Principios Generales). Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Enciclopedia de la OIT en

formato electrónico. Copyright de la Tercera Edición Española. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales; 27: 27.2-27.6, 2001.

32. Gonsebatt María E., Salazar Ana M., Montero Regina, Díaz Barriga Fernando, Yáñez Leticia, Gómez Roberto, Ostrosky-Wegman Patricia. Genotoxic Monitoring of Workers at a Hazardous waste disposal site in México. *Environmental Health Perspectives*; 103 (Suppl. 1): 111-113, 1995.
33. Albertini R. J., Anderson D., Douglas G. R., Hagmar L., Hemminki K., Merlo F., Natarajan A. T., Norppa H., Shuker D. E. G., Tice R., Watters M. D. and Aitio A. IPCS Guidelines for the Monitoring of Genotoxic Effects of Carcinogens in Humans; Chromosome Aberrations in Lymphocytes. *Mutation Research*; 463: 143-153. USA, 2000.
34. Francisco Mercado Calderón. Bioética en la Práctica del Monitoreo Biológico de la Exposición Química Laboral. *Revista Latino Americana de la Salud en el Trabajo*. Vol. 3; 1: 25-29. México, 2003.
35. Guía Técnica Relativa al Monitoreo Biológico de la Exposición Laboral a Agentes Químicos en Petróleos Mexicanos. PEMEX, Subdirección de Servicios de Salud, 2005.
36. Howard Frumkin. *Cancer Epidemiology and the Workplace*. *Salud Pública*; 39: 356-369. México, 1997.