



Nº5 Marzo 2011

**PRODUCCIÓN DE BTX EN MEXICO: USOS, TOXICOLOGÍA Y
ANALISIS
BTX PRODUCED IN MEXICO: USES, TOXICOLOGY AND
ANALYSES**

¹Angeles MARTINEZ-TOLEDO*
²M del C CUEVAS-DIAZ

¹Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, San Luis Potosí
*angeles.martinez@uaslp.com

²Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Veracruz, México

RESUMEN

En México la producción de Benceno, Tolueno y Xilenos (BTX), así como de otros compuestos aromáticos se lleva a cabo en el complejo Petroquímico La Cangrejera, el cual se localiza al sureste de la Ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz. En el año 2009 la producción de aromáticos de este complejo fue de 3 192 000 ton, parte de los cuales 139 000 ton fueron de Tolueno, 79 000 ton de Benceno y 60 000 ton de Xilenos. Estos compuestos se utilizan ampliamente como disolventes, como ingredientes bases para otros productos químicos o como aditivos. La exposición a estos aromáticos provoca toxicidad crónica sobre médula ósea. Para medir la concentración de estos disolventes en sangre y orina se emplean los biomarcadores de exposición, con la finalidad de prevenir los daños irreversibles sobre el sistema hematoinmunológico de las personas ocupacionalmente expuestas. El objetivo del presente texto es exponer la procedencia del Benceno, Tolueno y Xilenos, así como sus características toxicológicas, sus efectos en salud y los métodos de cuantificación en muestras ambientales y biológicas.

Palabras clave: benceno, biomarcador, exposición, tolueno, xilenos, salud.

ABSTRACT

In Mexico, Benzene, Toluene and Xylenes (BTX) besides another aromatics compounds are produced in the Complejo Petroquímico La Cangrejera, it's located at southeast of Coatzacoalcos City in Veracruz. In 2009, the aromatics products production in this Complex were of 3 192 000 ton, part of these production, were for

Toluene (139 000 ton), Benzene (79 000 ton) and Xylenes (60 000 ton). These compounds are extensively employed as solvents, raw material for others compounds or additives. Expositions to these aromatic compounds cause chronic toxicity in bone marrow. To determined solvents concentration in blond and urine it had been employed exposition biomarkers in order to prevent irreversible damages in the hematologic and immunologic system from the exposed employed people. The objective of this text is to present the origin of Benzene, Toluene and Xilene, as well as, their toxic characteristics, human health effects, and quantification methods in environmental and biological samples.

Keys words: benzene, biomarker, exposition, toluene, xylenes, human health.

INTRODUCCIÓN

El Complejo Petroquímico Cangrejera (perteneciente a Petróleos Mexicanos) se encuentra localizada al sureste de la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz (18°5'29" de latitud Norte y 94°21'34" de longitud Oeste) el cual empezó a producir desde 1980, es el segundo complejo más grande de México con una capacidad instalada de 2.8 millones de toneladas métricas de productos al año, es la más grande de su tipo en América Latina. Actualmente opera con 16 plantas, las cuales se encuentran dirigidas a una cadena de derivados de Etileno y otra de Aromáticos, obteniendo como productos principales el Polietileno de Baja Densidad, Estireno, Óxido de Etileno, Benceno, Tolueno entre otros (www.sener.gob.mx/webSener/res/86/Petroquimica_final.pdf). Para la producción de aromáticos se emplea el proceso de refinación catalítica de Naftas. En el 2009 el Complejo Petroquímico reporto una producción de 3 129 000 ton de aromáticos, de los cuales 79 000 ton fueron de Benceno, 139 000 ton de Tolueno y 60 000 ton de Xilenos. En el mismo año el Complejo contrato 3 058 personas, de las cuales 3046 fueron de contratos definitivos (www.ri.pemex.com). Además, los BTX son utilizados ampliamente para la obtención de productos finales tales como: pinturas, detergentes, cosméticos, teléfonos, bolsas, juguetes, farmacéuticos, cintas, etc. (Lauwerys, 1994). Aumentando así el número de personas expuestas a dichos disolventes.

La vía de entrada de estos compuestos a nuestro organismo es la respiratoria y la cutánea, lo que representa un riesgo para la salud de los personas que laboran en tales industrias. Los BTX tienen la capacidad de atravesar la barrera hematoencefálica y producir daño orgánico cerebral por su acción neurotóxica (Spiker y Morris, 2001); las poblaciones especialmente susceptibles son, las mujeres en las primeras etapas del embarazo, los trabajadores menores de 18 años y los mayores de 65 años, pues en los primeros los mecanismos de defensa aún no están completamente desarrollados y en los segundos ya se encuentran deteriorados, así como las poblaciones en mal estado general, la mala nutrición, las enfermedades crónicas, la obesidad y la sensibilización por afecciones previas (NOM-047-SSA1-1993).

Para evaluar la concentración de BTX en las personas ocupacionalmente expuestas se utilizan biomarcadores de exposición que son una medida de la concentración del solvente o de sus metabolitos en fluidos o tejidos corporales. La Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ASTDR, por sus siglas en inglés), ha publicado las metodologías de análisis y los límites de concentración en diferentes matrices tanto biológicas como ambientales, elaboradas por otras instituciones internacionales como el Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional y la Agencia de Protección Ambiental (NIOSH y EPA por sus siglas en

inglés, respectivamente), etc. Con la finalidad de proteger la salud de las personas expuestas a estos compuestos.

PROCESO DE REFORMACIÓN CATALÍTICA DE NAFTAS PARA LA OBTENCIÓN DE BENCENO, TOLUENO Y XILENOS (BTX)

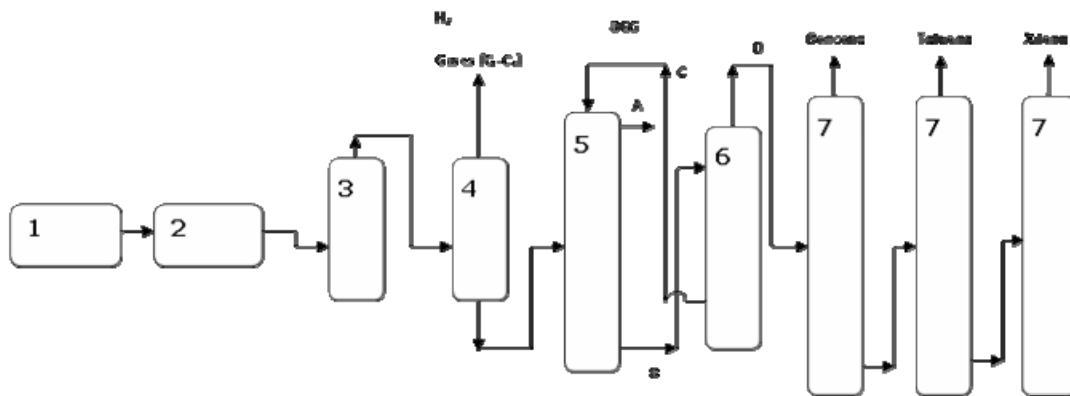
Los compuestos aromáticos son hidrocarburos que contienen en sus moléculas uno o varios núcleos de seis carbonos, de cadena cerrada, y de forma hexagonal los cuales tienen en su estructura tres dobles ligaduras. Las fuentes principales de estos compuestos son el alquitrán de hulla y el petróleo. El nombre “aromáticos” se debe al fuerte y agradable olor de algunos de estos compuestos, los compuestos de mayor importancia son el Benceno, Tolueno y Xilenos a los que se les denomina el grupo de los BTX. Se consideran tóxicos por su nula solubilidad en agua, y por su alta permanencia en los ambientes debido a su difícil biodegradación (Tabla 1).

Tabla 1. Características físicas y químicas de los BTX.

Benceno	Tolueno	Xilenos
Líquido de color amarillo claro a incoloro, no polar, altamente refractivo y de olor aromático, cuyos vapores arden con una llama humeante. Con un punto de ebullición: 80.1° C, punto de congelación: 5.5° C, gravedad específica (20/4° C): 0.8790, índice de refracción: 1.50110 a 20° C, punto de inflamación (vaso cerrado): - 11° C, punto de autoignición: 562° C, y tensión superficial: 29 dinas/cm. Solubilidad: miscible con alcohol, éter, acetona, tetracloruro de carbono, disulfuro de carbono, ácido acético y ligeramente soluble en agua.	Denominado también metilbenceno o fenilmetano. Líquido incoloro, tóxico, de olor semejante al del benceno, con densidad de 0.865 a 870, con punto de ebullición de 110.7°C, punto de inflamación de 4.4° C y temperatura de autoignición de 536° C. Es insoluble en agua y soluble en alcohol, benceno y éter. Inflamable, con límites de explosión en el aire de 1.27% a 7.0 %.	Hidrocarburos aromáticos con peso molecular de 106.16 y peso específico de 0.860 a 0.872 (20/4° C). Productos derivados del benceno en el cual dos de los átomos de hidrógeno han sido sustituidos por grupos metilo. Su fórmula condensada es C ₈ H ₁₀ . Líquidos claros, insolubles en agua y solubles en alcohol y éter.

Recopilado de: Diccionario de términos de Pemex Refinación. (www.energiacuam.org.mx/pdf/DICREF.PDF)

La nafta es la materia prima para la producción de BTX, la reformación catalítica de estas se lleva a cabo en reactores catalíticos, los catalizadores empleados son a base de Pt o Pt-Rh, este proceso se realiza principalmente para elevar el octanaje de las gasolinas, sin embargo, también se utiliza como línea de proceso para la obtención de BTX, el efluente de los reactores catalíticos es una mezcla de aromáticos, de la cual se separa por destilación el butano y los moléculas más ligeras. El resto se somete al proceso de separación por extracción líquido – líquido para lo cual se utiliza un disolvente (generalmente, etilenglicol o dietilenglicol) que disuelve a los aromáticos y los separa de las parafinas y naftenos (compuestos no aromáticos). En seguida por destilación se recupera el disolvente, quedando los BTX, los cuales se pasan a torres de destilación y por diferencia en puntos de ebullición se separan el Benceno, Tolueno y la mezcla de Xilenos (Fig. 1) (Primo, 1996).



1. Depósito de Nafta
2. Horno de precalentamiento
3. Reactor catalítico
4. Condensador
5. Torre de separación de los BTEX por disolución en dietilenglicol (HO-CH₂-CH₂-O-CH₂-CH₂-OH) DEG
6. Torre de destilación para evaporar los BTEX y recuperar el DEG
7. Torres de destilación fraccionada para separar, el Benceno, Tolueno, Xileno

- A. Gasolina
- B. Disolución de BTX en DEG
- C. Reciclado de DEG
- D. BTX

Figura 1. Esquema simplificado de la producción de BTX.
USOS DE LOS BTX

El benceno se utiliza generalmente como un disolvente, pero actualmente se emplea como materia prima para la síntesis de otros químicos. El porcentaje de benceno en gasolina está entre 1% y 2% vol. El tolueno se emplea en la formulación de pinturas, lacas, tiner y agentes de limpieza, pegamentos, y en muchos otros productos. El tolueno también se utiliza en la producción de otros químicos. La gasolina contiene del 5% al 7% vol. de tolueno.

Los Xilenos al igual que el benceno y el tolueno son los componentes mayoritarios de las gasolinas y combustibles para aviones. El xileno se usa como disolvente y en la síntesis de compuestos intermediarios (Lauwerys, 1994). Estos son empleados ampliamente para la elaboración de una amplia gama de productos químicos. En la Tabla 2 se presenta una lista de actividades industriales en las cuales se involucra el uso de estos disolventes (www.textoscientificos.com/quimica/aromaticos/uso-industrial-2).

Tabla 2. Actividades industriales con exposición a BTX.

Tolueno	Benceno	Xileno
Fabricantes de ácido benzoico.	Fabricantes de ácido benzoico.	Bruñidores.
Fabricantes de ácido tereftálico.	Fabricantes de ácido tereftálico.	Fabricantes de ácido carbólico.
Fabricantes de anhídrido de ftálico.	Fabricantes de anhídrido de ftálico.	Fabricantes de ácido maléico.
Fabricantes de barnices.	Fabricantes de barnices.	Fabricantes de adhesivos.
Fabricantes de líquidos limpiadores.	Fabricantes de líquidos limpiadores.	Fabricantes de baterías secas.
Fabricantes de película de tereftalato de polietileno.	Fabricantes de película de tereftalato de polietileno.	Fabricantes de caucho.
Fabricantes de osciladores de cristal de cuarzo.	Fabricantes de osciladores de cristal de cuarzo.	Fabricantes de colorantes.
Fabricantes de textiles sintéticos.	Fabricantes de textiles sintéticos.	Fabricantes de detergentes.
Manipuladores de adhesivos.	Manipuladores de adhesivos.	Fabricantes de estireno.
Manipuladores de disolventes.	Manipuladores de disolventes.	Fabricantes de hexacloruro de benceno.
Manipuladores de lacas.	Manipuladores de lacas.	Fabricantes de linóleo.
Pintores.	Pintores.	Fabricantes de masilla.
Técnicos en histología	Técnicos en histología	Fabricantes de nitrobenzono.
Trabajadores con cuero.	Trabajadores con cuero.	Fabricantes de pegamentos.
Trabajadores con gasolina para aviones	Trabajadores con gasolina para aviones	Impregnadores de productos de asbestos.
		Químicos.
		Soldadores.
		Terminadores de muebles.
		Trabajadores con clorobenceno.
		trabajadores de la industria petroquímica

Recopilado de: Uso industrial de aromáticos (www.textoscientificos.com/quimica/aromaticos/uso-industrial-2)

RUTAS DE EXPOSICIÓN BTX

Las rutas más comunes de exposición a BTX son la inhalación y la ingestión (Tabla 3). En la mayoría de los casos los seres humanos estamos expuestos a mezclas de contaminantes, sin embargo la mayoría de los estudios epidemiológicos se han enfocado a evaluar la exposición ocupacional a estos disolventes en forma individual. Los BTX pueden estar presentes contaminando en aire, el agua y los alimentos. El humo de cigarro es la principal fuente de contaminación por BTX en aire de interiores. La población en general está expuesta a estos compuestos por el aire contaminado los automotores (Lauwerys, 1994).

Tabla 3. Formas de exposición a BTX

Benceno	Tolueno	Xilenos
La inhalación es la ruta de mayor porcentaje (99%) de exposición de la población en general. El humo de cigarro suministra 1800 µg/día y los fumadores pasivos reciben 50 µg/día. Mientras que la entrada por alimentos y agua es mínima. El benceno también se puede absorber por la piel.	La ruta principal de exposición a tolueno es el aire contaminado de los automotores. El tolueno es el componente mayoritario del humo del tabaco la cantidad de tolueno en el humo de un cigarro sin filtro puede ser de 100 a 200 µg. La entrada por alimentos y agua es mínima.	Debido a las bajas concentraciones de xilenos reportadas en agua, el aire es la principal ruta de exposición a estos compuestos. La exposición diaria se estima en un rango de 0.05 a 0.5 mg. La exposición puede aumentar cuando el aire está contaminado con humo de cigarro.

Recopilado de: Lauwerys, 1994

CARACTERÍSTICAS TOXICOLÓGICAS DE LOS BTX

Toxicocinética del Benceno

El metabolismo del benceno empieza con una oxidación a epóxido catalizado principalmente por la enzima CYP2E1 (). El óxido de benceno se metaboliza por tres diferentes rutas 1) Conjugación con GHS () para formar ácido premercapturico, el cual se convierte en ácido fenil mercapturico; 2) Arreglo no enzimático para formar fenol y 3) Hidratación por la enzima epóxido hidratasa a benceno dehidrodiolel el cual puede ser oxigenado por la enzima dihidrodiolel dehidrogenasa a catecol. Si el fenol se hidroliza en su posición orto, se puede producir más catecol. El catecol puede convertirse a *p*-benzoquinona. Se cree que el *o*- y *p*-benzoquinonas son los últimos metabolitos tóxicos del benceno. Pero también puede formarse otro metabolitos tóxicos, el muconaldehído a partir de los anillos abiertos del óxido de benceno. El muconaldehído sufre una serie de reacciones que llevan al ácido *t*, *t*-mucónico, el cual puede encontrarse en orina (Brucker y Warren, 2001).

Efectos de intoxicación aguda y crónica del Benceno

El efecto tóxico más importante del Benceno es su toxicidad en sangre. La exposición crónica de benceno puede provocar daño en la médula ósea, que puede manifestarse inicialmente como una anemia, leucemia y trombocitopenia, o una combinación de éstas (Brucker y Warren, 2001). La depresión del sistema nervioso central se presenta cuando al inhalar benceno su concentración en la sangre alcanza 2.1 mg/L, ocasionando la pérdida de la conciencia, la hiperactividad motora y la hipertonia muscular, además de la hiperreflexia El daño hematológico se presenta en los tres elementos sanguíneos, eritrocitos, leucocitos y plaquetas. Su exposición crónica provoca aplasia medular y leucemia, y su efecto desengrasante provoca dermatitis en la piel (Albert, 2006).

Concentraciones de 65000 mg/m³ en aire, pueden provocar efectos letales después de 5 a 10 min de exposición. Se presentan desordenes subjetivos debidos a envenenamientos leves tales como: vértigo, entumecimiento, euforia, excitación, vómito, dolor de cabeza, fatiga y somnolencia. Los efectos a exposición crónica del benceno se presentan en tres niveles: eritropoyesis, leucopoyesis, y trombopoyesis. Los signos severos de intoxicación son panmieloptosis (anemia aplásica), panmielopatía, y panctopenia, también se han observado aisladas citopenias en las tres áreas hematopoyéticas. Se observan trastornos mieloproliferativos después de una pancitopenia aguda que puede culminar enfermedades malignas tales el caso de la leucemia mielógena crónica. Debido a su efecto leucemogénito, el benceno se clasificó como cancerígeno al ser humano por numerosas agencias de salud pública, como la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC por sus siglas en inglés) en 1982 (Spiker y Moriss, 2001).

La leucosis (leucemia) se manifiesta después de 1.5 a 5 años de exposición. Se observan daños biológicamente estables en células somáticas después de la unión covalente de los metabolitos reactivos del benceno (hidroquinonas, *p*-benzoquinonas) con el núcleo de ADN (ácido desoxirribonucleico), además de puntos de mutación (delecciones, inversiones, y translocaciones cromosómicas) que pueden desarrollarse a la formación de tumores. Se tiene respuesta de los linfocitos periféricos (in vivo y in vitro) al intercambio de cromátidas hermanas (SCE por sus siglas en inglés) y a otras aberraciones cromosómicas. Se presenta disminución de aglutininas y de inmunoglobulinas IgG (inmunoglobulina G) e IgA (inmunoglobulinas A) y un aumento de IgM (inmunoglobulinas M), además de la pérdida de leucocitos y una disminución de linfocitos T (Koss y Tesseraux, 1999).

La mayoría de la gente, desafortunadamente, puede empezar a detectar el olor del benceno en el aire cuando está en concentraciones de 1.5 a 4.7 partes de benceno por millón de partes de aire (ppm) y en el agua cuando la concentración es de 2 ppm. La mayoría de la gente empieza a detectar el sabor del benceno cuando este se encuentra en concentraciones entre 0.5 y 4.5 ppm en el agua (www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs3.pdf). Su concentración máxima permisible (CMP) es de 10 ppm, su umbral de valor límite (TLV) con respecto a el valor promedio ponderado del tiempo de exposición (TWA) se encuentra en 0.5 ppm. La concentración máxima permisible en un ambiente de trabajo es de 25 ppm (Córdoba, 2001). La vigilancia médica se realiza semestralmente realizando un hemograma y recuento de plaquetas; además de un examen médico anual que contempla un análisis clínico dermatológico, hematológico, oftalmológico, otorrinolaringológico, neumológico y neurológico, y se debe realizar también, un examen periódico que contemple la vigilancia biológica (Tabla 4). (www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=546).

Tabla 4. Biomarcadores de exposición a Benceno utilizados en vigilancia biológica.

Indicador biológico de exposición (IBE)	Límite de tolerancia biológica (LTB)
Fenol total (orina)	50 mg/g Creatinina
Benceno (aire inhalado)	0.12 ppm
Benceno (sangre)	0.1 mg/l
Ácido mercaptúrico (orina)	25 µg/g Creatinina
Ácido <i>t, t</i> mucónico (orina)	500 µg/g Creatinina
Ácido <i>S</i> -fenilmercaturico	25 µg/g Creatinina

Recopilado de: WHO, 2000

Análisis de Benceno en muestras biológicas y ambientales

Se han desarrollado métodos analíticos para medir benceno en aire exhalado, sangre, y en varios tejidos. Estos análisis se realizan principalmente por cromatografía de gases (CG) acoplado a detector de ionización de flama (DIF), detector de fotoionización (DFI) o de masas (SM). Uno de los métodos más sensibles (3 ppt, partes por trillón) es la cromatografía de gases de alta resolución acoplado a un detector de masas (CGAR/SM) para detectar benceno en aire exhalado y en sangre. Para prevenir la contaminación de las muestras se siguen rigurosos métodos para su recolección y su preparación (ASTDR, 2005a).

Los métodos para determinar metabolitos de Benceno en orina son la cromatografía de gases con detector de ionización de flama o de espectrometría de masas y la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), métodos que son ampliamente utilizados (ASTDR, 2005a), para determinar ácido *t-t*-mucónico se emplea HPLC con detector de UV (ultravioleta visible). Se cuenta con métodos para determinar benceno en el aire (ambiente, ocupacional e industrial), agua, sedimento, suelo, alimentos, humo de cigarro, gasolina, en combustibles para avión. La mayoría de ellos involucra la separación por CG con DIF, DFI, SM, además de CLAR/UV y espectrometría. (ASTDR, 2005a), el método analítico utilizado para mayoría de las muestra ambientales es la cromatografía de gases con detector de masas y de ionización de flama. Las normas y reglamentos que establecen los límites de exposición para el benceno están elaboradas por agencias de reconocimiento internacional¹ como, IARC,

¹ De acuerdo a sus siglas en inglés: ASTDR = Agencia para el registro de sustancias tóxicas y enfermedades; ACGIH= Conferencia americana gubernamental de higiene industrial; CPSC =Comisión de seguridad para el consumidor de productos; CFR= Código federal de regulación; EPA= Agencia de

WHO, EPA, etc. (ASTDR, 2005a). Su CMP es de 10 ppm, TLV-TWA 0.1 ppm (ACGIH). Clasificación carcinogénico A1, en agua embotellada debe estar en 0.005 mg/l (FDA). De acuerdo a la OSHA las concentraciones son PEL = 1 ppm, STEL = 5 ppm.

Toxicocinética del Tolueno

El Tolueno inhalado se adsorbe en pulmones y se trasporta por la sangre a otros tejidos y órganos, es absorbido en el tracto digestivo, se acumula rápidamente en el cerebro. Subsecuentemente se acumula en tejido adiposo en donde se retiene en altos niveles de concentración. El metabolismo del Tolueno se realiza vía citocromos P450s transformándolo en alcohol bencénico y en pequeñas cantidades de cresoles. El alcohol bencénico se convierte a su vez en ácido bencénico por la acción de la enzima alcohol deshidrogenasa, el cual se conjuga y se elimina por orina (Brucker y Warren, 2001). Al igual que el Benceno el Tolueno se comporta como depresor de SNC, son varios los órganos afectados por este solvente, los índices más altos de afectación se presentan en hígado, riñón y órganos del SNC y del sistema nervioso periférico. Es causante de hemopatía, tubulopatía y distal, ataxia, temblores y lateraciones en el comportamiento, así como de polineuropatías (Koss y Tesseraux, 1999).

El Tolueno puede ser incorporado por peces y mariscos, plantas y animales que viven en aguas que contienen Tolueno, pero no se encuentran o acumulan en altos niveles por que la mayoría de estos organismos pueden degradar al Tolueno a otros productos que luego excretan (www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs56.pdf). Su CMP está en una concentración de 100 ppm. Su TLV de acuerdo con el TWA es de 50 ppm. Se debe realizar un examen médico periódico que incluye el análisis clínico dermatológico, gastroenterológico y neurológico, así como hepatogramas, análisis completo de orina, un hematograma y un recuento de plaquetas, (www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=549). El ácido hipúrico es el biomarcador más ampliamente utilizado para medir la exposición a tolueno, sin embargo, también se puede evaluar con el *orto*-cresol pero como un sustituto (Tabla 5), ya que este solo representa el 0.1% de los metabolitos de la biotransformación del tolueno, además de que presenta limitaciones ya que el valor depende del tipo de sexo, se altera por el consumo de alcohol y cigarrillos, y por el tipo de actividad física. Por otro lado, su determinación es más elaborada que la del ácido hipúrico. Tolueno en sangre es el biomarcador más práctico, relevante y sensitivo, pero también su determinación se ve limitada por su bajo tiempo de permanencia en sangre (WHO, 2000)

Tabla 5. Biomarcadores de exposición a Tolueno utilizados en vigilancia biológica.

Indicador biológico de exposición (IBE)	Límite de tolerancia biológica (LTB)
Ácido hipúrico (orina)	1.6 g/g Creatinina
<i>o</i> -cresol (orina)	0.5 mg/l
Tolueno (sangre)	0.05 mg/l

Recopilado de: WHO, 2000

protección ambiental; FDA= Suministro de alimentos y drogas; IARC=Agencia internacional de investigación sobre el cáncer; IRIS= Sistema de información sobre riesgo integrado; MCL= Nivel máximo del contaminante; MCLG= Nivel máximo global del contaminante; NIOSH = Instituto nacional de salud y seguridad ocupacional; NTP= Programa nacional sobre toxicidad; OSHA= Administración de seguridad y salud ocupacional; PEL= Límite permisible de exposición; REL = Límite de exposición recomendado; STEL= Límite de exposición en corto tiempo; TLV= Umbral del valor límite; TWA= Promedio ponderado en tiempo; WHO = Organización mundial de la salud.

Efectos por intoxicación aguda y crónica por Tolueno

La exposición a Tolueno provoca la disfunción del SNC. Las deficiencias en el funcionamiento neuroconductual son indicadoras de toxicidad en el SNC. La inhalación intencional de Tolueno disminuye el funcionamiento cognoscitivo, afectando principalmente cerebro, cerebelo, atrofia en tallo cerebral, ataxia, degeneración neuronal y desordenes de personalidad. En adictos a Tolueno y en recién nacidos (hijos de madres adictas), se presenta acidosis tubular renal distal. En estos niños también se han observado trastornos congénitos como bajo peso al nacer, crecimiento retardado, microcefalias, disfunción del SNC y anomalías físicas menores en el área cráneo facial y en miembros; también, se han presentado muertes perinatales. Se tienen evidencias de abortos espontáneos en mujeres ocupacionalmente expuestas a Tolueno (Koss y Tesseraux, 1999).

Análisis de Tolueno en muestras biológicas y ambientales

La mayoría de los métodos para el análisis de Tolueno de fluidos biológicos (sangre, leche materna, orina, aliento, tejido cerebral y adiposo) usan técnicas de cromatografía de gases. El aliento usualmente se colecta en trampas adsorbentes o en bolsa para muestra o contenedores y se analizan por CG. El método de análisis con mayor sensibilidad ($0.088\mu\text{g/l}$) es la cromatografía de gases acoplado a detector de masas (CG/SM) (ASTDR, 2000).

Los métodos más representativos para detectar ácido hipúrico en muestras biológicas son HPLC con detector UV y el más sensible ($0.5\mu\text{g/l}$) es acoplado a detector de Fluorescencia (DF). Además se pueden determinar el *o*-cresol, ácido bencilmercapturico o el ácido *S-p*-toluilmercapturico (ASTDR, 2000). Los métodos de análisis para determinar Tolueno en muestras ambientales son métodos validados y probados por agencias y organizaciones como la EPA, ASTM, APHA y NIOSH, existen métodos disponibles para matrices como aire, ambiente ocupacional, agua, alimentos, suelo, sedimento y residuos sólidos (ASTDR, 2000). Los métodos de análisis más sensibles (en rangos de partes por billón (ppb)), son la cromatografía de gas acoplado a detector de masas (CG/SM) y el acoplado a ionización de flama (IF). Las normas y reglamentos de observancia sobre límites de concentración de Tolueno en aire, agua y otras matrices están elaboradas por agencias como la ACGIH (TLV-TWA = 50 ppm), NIOSH (REL = 100 ppm y REL = 100 ppm) y OSHA (PEL = 200 ppm). El Tolueno está clasificado como carcinogénico A4.

Toxicocinética de los Xilenos

La toxicidad de los Xilenos es muy parecida a la que producen otros disolventes aromáticos como el Benceno (Albert, 2006). El Xileno es adsorbido por pulmones y el tracto intestinal, y es distribuido a los tejidos de acuerdo a su irrigación sanguínea o contenido de lípidos (Brucker y Warren, 2001). El metabolismo de los tres isómeros del Xileno, es una oxidación del grupo metil y la subsecuente conjugación con glicina (ácido metil hipúrico). La hidroxilación del anillo y la conjugación con el ácido glucoroníco, que es aproximadamente del 2%. El Xileno sin transformación puede ser eliminado por exhalación y los metabolitos de su transformación son arrojados por la orina (Koss y Tesseraux, 1999). La mayoría de la gente puede empezar a detectar el olor del Xileno en el aire cuando está en concentraciones de 0.08 a 3.7 ppm y de 0.53 a 1.1 ppm en agua ([atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs71.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs71.pdf)).

Efectos de intoxicación aguda y crónica por Xilenos

El Xileno aparentemente tiene una capacidad limitada para producir efectos adversos en los órganos del SNC, sin embargo, la exposición aguda, después de 1 -2 h con apenas unos miligramos de Xilenos por m³ de aire, provoca dermatitis que se manifiesta por piel seca, agrietada y eritematosa, además de disfunción neuroconductual que incluyen cefalea, labilidad emocional, fatiga, pérdida de la memoria, dificultad en la concentración, disminución del período de atención, somnolencia, entumecimiento, dolor de cabeza y vértigo.

La exposición crónica con 1300 mg/m³ de aire produce efectos narcóticos y desordenes funcionales en hígado, riñones y corazón (Koss y Tesseraux, 1999). Su CMP es de 100 ppm, su TLV de acuerdo con el TWA es de 50 ppm, y su STEL de acuerdo al límite de exposición en el corto tiempo es de 150 ppm. La detección de los efectos tóxicos (vigilancia médica) se realiza anualmente, incluye un análisis clínico con orientación dermatológica, gastroenterológica, y neurológica. Además de un hepatograma, un hematograma, un análisis completo de orina y el recuento de plaquetas. La vigilancia biológica (biomarcador de exposición) se realiza midiendo la concentración en orina del ácido metil hipúrico (1.5 g/g de creatinina, como límite de tolerancia biológica).
(www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=550; WHO, 2000).

Análisis de Tolueno en muestras biológicas y ambientales

Existe un número limitado de métodos utilizados para determinar las concentraciones traza de Xileno en tejidos (pescado y ratón) y fluidos biológicos (sangre humana, orina y aliento exhalado), éstos incluyen la cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (CG/SM) que es el más sensible para detectarlo en sangre (de 1ng/L de m-xileno), espectrometría de gases acoplado a un detector de ionización de flama con nitrógeno (CG/DIF) y la cromatografía líquida de alta resolución (CLAR) (ASTDR, 2005b).

La cromatografía de gases equipado con el detector adecuado es el instrumento analítico usado para la determinación de Xileno en muestras ambientales (aire, agua subterránea, agua superficial, suelo, sedimento y residuos). El equipo con el mayor nivel de detección es el equipado con un detector de captura de electrones (1ng/L de Xileno). Para evitar las fugas del Xileno en el aire se debe realizar con precaución su aislamiento, recolección y almacenamiento (ASTDR, 2005b). Las normas y los reglamentos, que regulan los límites de exposición a Xileno están reportados por agencias internacionales como ACGIH (TLV-TWA = 435 mg/m³ y Tel = 655 mg/m³), NIOSH (REL = 435 mg/m³ y STEL= 655 mg/m³), etc. (ASTDR, 2005b).

NORMAS Y REGLAMENTOS EN MÉXICO

Las normas y reglamentos con los que actualmente cuenta México para determinar los niveles de concentración del Benceno, Tolueno y Xilenos en muestras ambientales y biológicas, se presentan a continuación:

1. Norma Oficial Mexicana NOM-047-SSA1-1993, Que establece los límites biológicos máximos permisibles de disolventes orgánicos en el personal ocupacionalmente expuesto.
2. NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
3. CCE-CCA-01-1989. Criterios ecológicos de calidad del agua CC-CCA-001-1989.
4. NMX-AA-141-SCFI-2002 Suelos- benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEXs) por cromatografía de gases con detectores de espectrometría de masas y fotoionización. Método de prueba.
5. Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelo y las especificaciones para su caracterización y remediación.

Se observa una baja vigilancia de la concentración de los BTX en alimentos, De acuerdo al listado, en lo que respecta a alimentos contaminados con estos disolventes hace falta más trabajo de investigación a nivel nacional, para la adecuación de metodologías analíticas que permitan evidenciar su presencia en estas matrices, así como para fomentar la creación de nuevas leyes y reglamentos al respecto.

Bibliografía

Albert L.A. (2006), *Curso básico de toxicología ambiental*. Limusa. Noriega Editores. México. pp. 260-265

ATSDR (2000), "Agency for toxic substances and disease registry". *Toxicological profile for Toluene*, Atlanta GA. Us Department of health and human Service. Public health service. pp 207-228

ATSDR (2005a), "Agency for toxic substances and disease registry". *Toxicological profile for Benzene*, Atlanta Ga. Us Department of health and human Service. Public health service. pp 289-309

ATSDR (2005b), "Agency for toxic substances and disease registry". *Toxicological profile for Xilene* Atlanta GA. Us Department of health and human Service. Public health service. pp 257-273

Brucker V. James y Warren D. Alan (2001), "Toxics effects of solvent and vapor". En: Curtis D, Klaassen (Ed), *Casarett and Doull's. Toxicology the basic science of poisons*. Six Edition. Chapter 24. McGraw-Hill, Kansas City, Kansas. pp. 889-892.

Córdoba D. (2001), *Toxicología. Manual moderno*. Colombia. pp. 604-606

Koss G y Tessaraux R (1999), "Hydrocarbons". En: Hans Marquardt, Siegfried G. Schäfer, Roger Mc Clellan, Frank Welsch (Eds) *Toxicology*. Chapter 25. Academic Press. EUA. pp 603-613.

Lauwerys R (1994), *Toxicología industrial e intoxicaciones profesionales*. Masson. Barcelona, España. pp 228-242.

Primo Y. E. (1996), *Química orgánica básica y aplicada: de la molécula a la industria*. Tomo 1. Universidad Politécnica de Valencia. Reverte. Barcelona, España. pp 261-268.

Spiker R. C y Morris G. B. (2001), "Solvents and industrial hygiene". En: Wallace Hayes (Ed) *Principles and methods of toxicology*. Four Edition. Chapter 12. Taylor and Francis. EUA. Pp 552-553.

World Health Organization (WHO) (2000). "Air Quality Guidelines". En: Regional office for Europe. "Evaluation of risks to human health: Organic Pollutants". Chapter 5. Second Edition. WHO Regional Publications. Europeans Series

Páginas de Internet consultadas.

Anuario Estadístico de Pemex 2010 [En línea] <http://www.ri.pemex.com>.

ATSDR Resumen de salud pública Benceno [En línea]
http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs3.pdf.

ATSDR Resumen de salud pública Tolueno [En línea]
http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs56.pdf

ATSDR Resumen de salud pública Xileno [En línea]
http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs71.pdf

Diccionario de términos de Pemex Refinación. [En línea]
<Http://www.energiauacm.org.mx/pdf/DICREF.PDF>

Salud, seguridad y medio ambiente en la industria. Toxicología de sustancias. Benceno [En línea] <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=546>

Salud, seguridad y medio ambiente en la industria. Toxicología de sustancias. Tolueno. [En línea] <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=549>

Salud, seguridad y medio ambiente en la industria. Toxicología de sustancias Xilenos [En línea] <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=550>

Uso industrial de Estireno/Etilbenceno/Benceno/tolueno/Xileno [En línea]
<http://www.textoscientificos.com/quimica/aromaticos/uso-industrial-2>