

COMUNICACIÓN BREVE / SHORT COMMUNICATION

**EXPOSICIÓN A BENCENO EN UNA POBLACIÓN INFANTIL URBANA DEL
NORESTE DE MÉXICO**

Ángeles Catalina OCHOA-MARTÍNEZ¹, Nadia Azenet PELALLO-MARTÍNEZ², Tania RUIZ-VERA²,
Norma Alicia RAMOS-DELGADO³, Diana ALONSO-SEGURA³ y Octavio GASPAS-RAMÍREZ^{2*}

¹ Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud, Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Avenida Sierra Leona 550, Colonia Lomas 2a. Sección, San Luis Potosí, San Luis Potosí, México, C. P. 78210

² Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., Unidad Noreste. Vía de la Innovación 404, al interior del PIIT, Apodaca, Nuevo León, México, C.P. 66629

³ Centro de Investigación e Innovación Tecnológica, Instituto Tecnológico de Nuevo León. Avenida de la Alianza 507 al interior del PIIT, Apodaca, Nuevo León, México, C.P. 66629

*Autor para correspondencia: ogramirez@ciatej.mx

(Recibido diciembre 2016; aceptado octubre 2017)

Palabras clave: hidrocarburos, salud infantil, riesgos, Cadereyta Jiménez

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el nivel de exposición a benceno en niños del municipio de Cadereyta Jiménez en Nuevo León, a través de la determinación urinaria de ácido trans, trans-mucónico, compuesto utilizado como biomarcador de exposición a benceno. Nuestros resultados indican que el 28 % de la población rebasa el índice biológico de exposición (500 µg/g CR). Debido a que el benceno se relaciona con neoplasias hematológicas, es necesario emprender estudios para evaluar si existen riesgos hematológicos en niños que viven en zonas con actividad petroquímica.

Key words: hydrocarbon, health child, risks, Cadereyta Jiménez

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the benzene exposure levels in children living in Cadereyta Jiménez in Nuevo León state, through determination of urinary trans, trans-muconic acid, a biomarker of benzene exposure. Our results shown that 28 % of the population exceeds the biological exposure index (500 µg/g CR). Considering that benzene is related with hematological malignances it is necessary to undertake studies to assess hematological risks in children living in areas with petrochemical activity.

INTRODUCCIÓN

El benceno es un hidrocarburo aromático que tiene amplios usos industriales. Debido a sus diversas fuentes de emisión, tanto antrópicas como naturales, el benceno se encuentra de manera ubicua en el ambiente (ATSDR 2007). La exposición a benceno puede ser ambiental a través de las emisiones vehiculares o industriales, quema de basura o leña, incendios forestales o humo de cigarro; o bien, puede ser ocupacional como en las industrias del petróleo o petroquímicas y en estaciones de gas y gasolina, siendo la industria petroquímica una de las principales fuentes de emisión de benceno (Koh et al. 2014).

La exposición a benceno se ha relacionado con importantes problemas de salud, la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) ha clasificado al benceno en el grupo I como cancerígeno en humanos, incluso establece una asociación directa con el desarrollo de leucemias mieloides en adultos expuestos ocupacionalmente. Recientemente, la exposición no ocupacional al benceno ha sido relacionada con riesgo de otros tipos de neoplasias hematológicas como leucemias linfoblásticas y linfomas de no-Hodgkin (Heck et al. 2014).

Aunque los efectos a la salud por benceno en adultos ocupacionalmente expuestos están bien definidos, poca información existe sobre los efectos en población infantil expuesta ambientalmente a benceno (D'Andrea y Reddy 2014). Sin embargo, algunos estudios epidemiológicos han proporcionado evidencia del potencial riesgo de leucemias infantiles por exposición a benceno aún a niveles ambientalmente bajos (Pyatt y Hays 2010).

El benceno es metabolizado principalmente en el hígado por el complejo multienzimático p450; uno de los metabolitos generados es el ácido trans, trans-mucónico (t,t-AM) el cual se usa como biomarcador urinario para monitorear la exposición a benceno (Johnson 1997). En México, existe la norma NOM-047-SSA1-2011 que establece un índice biológico de exposición (IBE) a benceno de 500 µg/g de creatinina para trabajadores expuestos, según los valores sugeridos por la guía de valores por exposición ocupacional (GOEV, por sus siglas en inglés) (SSA 2011, ACGIH 2005), para prevenir riesgos laborales por exposición a sustancias químicas. A pesar de que en México se han evaluado diferentes escenarios de contaminación, existe poca información sobre la exposición infantil a benceno y el riesgo en salud, especialmente los niños que viven en sitios donde la industria petroquímica es una fuente muy importante de benceno, entre muchos otros contaminantes. Al respecto, Nuevo León es un

estado caracterizado por su alta actividad industrial y asimismo por su alto nivel de contaminación atmosférica (Green y Sánchez 2012). Según el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) de la SEMARNAT, en el año 2013 el estado de Nuevo León reporta una emisión de benceno a la atmósfera de 10.491 ton/año, de las cuales 5.136 ton/año corresponden al sector petroquímico (SEMARNAT 2013).

Por lo anterior, el objetivo de este proyecto fue evaluar el nivel de exposición a benceno en niños residentes de un área urbanizada en el municipio de Cadereyta Jiménez en el estado de Nuevo León.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio

El municipio de Cadereyta Jiménez se encuentra ubicado a 336 msnm en la parte central del estado de Nuevo León, 25° 35' 26" N, 100° 0' 5" W. Es una zona urbanizada que cuenta con una población de alrededor de 86 mil habitantes. En el municipio se ubica la refinería de petróleo "Ing. Héctor R. Lara Sosa", la cual representa una de las principales fuentes económicas para el municipio aparte de la agricultura y la ganadería de acuerdo con lo reportado por el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, (INFAED 2016; **Fig.1**).

Sujetos de estudio y recolección de muestras

En este estudio participaron dos escuelas primarias como punto de encuentro en el que se seleccionaron 94 niños sanos de entre 6 y 15 años de edad, residentes del municipio de Cadereyta Jiménez. Previa autorización de los padres (quienes firmaron carta de consentimiento informado), los niños recolectaron la primera orina de la mañana en vasos de polipropileno, 24 horas antes dejaron de consumir alimentos enlatados, jugos y refrescos. Las muestras de orina fueron transportadas en hieleras a 4 °C, se centrifugaron a 2500 rpm durante 10 min, se acidificaron con HCl 6M y se almacenaron a -20 °C hasta su análisis cromatográfico. El estudio fue sometido al Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León, el cual lo aprobó y quedó registrado bajo el número de expediente HE13-021.

Tratamiento de muestra y extracción de t,t-AM

Por cada 1 mL de orina se añadieron 2 mL de solución amortiguadora TRISMA. La extracción de t,t-AM se llevó a cabo en columnas de intercambio iónico SAX. La elución se llevó a cabo con agua/ácido acético al 10 %. Se transfirieron 200 µL del



Fig. 1. Localización del sitio de estudio

extracto a viales cromatográficos para su inyección. El estándar interno (EI) usado fue el ácido vanílico. Se utilizó como material de referencia Clinchek nivel I y II. Las concentraciones urinarias ($\mu\text{g}/\text{mL}$) de t,t-AM fueron normalizadas en relación con las concentraciones de creatinina urinaria (mg/dL). La creatinina fue determinada por el método colorimétrico de Jaffé (Tausky 1954). Los datos se expresaron como μg de t,t-AM/g de creatinina ($\mu\text{g}/\text{g CR}$).

Condiciones cromatográficas

El análisis se llevó a cabo en un cromatógrafo de líquidos HP1100 (Agilent Technologies®) con un detector UV-Vis G1314A y una columna SB C-18 Zorbax. Como fase móvil se usó ácido acético 1 %/metanol (80:20), con flujo de 1 mL/min, temperatura de 30 °C, 82 - 92 bar, $\lambda = 259 \text{ nm}$.

RESULTADOS

El **cuadro I** muestra la estadística descriptiva de los niveles urinarios de t,t-AM del total de niños incluidos en el estudio ($n = 94$) y agrupados por sexo. Se encontró un rango de 45.53 a 1969.21 $\mu\text{g}/\text{g CR}$ con una mediana de 310.1 $\mu\text{g}/\text{g CR}$. No se encontraron diferencias estadísticas de los niveles urinarios de t,t-AM entre hombres y mujeres.

Categorización del nivel de exposición

Los niveles urinarios de t,t-AM determinados en los niños incluidos en este estudio se categorizaron

de la misma forma que lo reporta Pelallo-Martínez et al. (2014). El **cuadro II** describe cuatro categorías según el nivel de exposición a benceno en niños que viven en áreas rurales o en áreas urbanizadas, asimismo se toma el IBE como criterio de riesgo en adultos expuestos ocupacionalmente a benceno. Se observa que el 52 y 28 % de los niños entran en las categorías 3 y 4 respectivamente, con niveles de exposición entre 173.23 y 455.86 $\mu\text{g}/\text{g CR}$ para la categoría 3 y 502.79 y 1969.2 $\mu\text{g}/\text{g CR}$ para la categoría 4. Mientras que el resto de los niños, un 8 y 12 % entran en las categorías 1 y 2 respectivamente.

DISCUSIÓN

Este estudio muestra el nivel de exposición a benceno en niños que viven en el municipio de Cadereyta Jiménez, Nuevo León, localidad cercana a una refinería de petróleo. Tomando como base al IBE (500 $\mu\text{g}/\text{g CR}$), el cual es un valor guía para prevenir riesgos laborales (SSA 2011, ACGIH 2005) nuestro estudio muestra que el 28% de la población rebasa dicho valor (502.79 a 1969.2 $\mu\text{g}/\text{g CR}$, **cuadro II**). Actualmente no existe un valor de referencia de exposición a benceno para niños mexicanos, sin embargo, debemos considerar que biológicamente el niño es más vulnerable que un adulto aun cuando ambos estén expuestos al mismo nivel de contaminación (Landrigan y Goldman 2011). También encontramos que más de la mitad de la población evaluada (52 %) aunque está por debajo del IBE (173.23 a 455.86 $\mu\text{g}/\text{g}$

CUADRO I. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LOS NIVELES URINARIOS DE ÁCIDO TRANS, TRANS-MUCÓNICO ($\mu\text{g/g}$ CR) EN NIÑOS RESIDENTES DEL MUNICIPIO DE CADEREYTA JIMÉNEZ

Género	n	Edad (años)	MG	Min	25 P	Med	75 P	Max
Total	94	6 - 15	319.2	45.53	184.18	310.1	590.52	1969.21
Masculino	42	6 - 15	285.5	45.53	196.2	301.9	443.7	1216
Femenino	52	6 - 15	351.9	53.43	179.2	346.8	692.1	1969.21

CR = concentración de creatinina, MG = media geométrica (intervalo de confianza 95 %), Min = mínimo, 25 P = percentil 25 %, Med = mediana, 75 P = percentil 75 %, Max = máximo

CUADRO II. NIVELES URINARIOS DE ÁCIDO TRANS, TRANS - MUCÓNICO ($\mu\text{g/g}$ CR) EN NIÑOS RESIDENTES DEL MUNICIPIO DE CADEREYTA JIMÉNEZ, AGRUPADOS POR CATEGORÍAS EN BASE AL NIVEL DE EXPOSICIÓN A BENCENO

Categoría	Nivel ($\mu\text{g/g}$ CR)	Criterio	Rango t,t-AM detectado	% niños (n = 94)	Referencia
1	ND < 100	Niveles encontrados en niños que viven en áreas rurales.	45.53 - 97.2	8	Amodio-Cocchieri et al. (2001)
2	100 - 170	Niveles encontrados en niños que viven áreas urbanizadas.	122.7 - 155.2	12	Ruchirawat et al. (2006)
3	170 - 500	El IBE igual a < 500 $\mu\text{g/g}$ CR para adultos después de una jornada de trabajo.	173.23 - 455.86	52	NOM-047-SSA1-2002 y ACGIH (2005)
4	> 500	Niveles mayores al IBE, para adultos expuestos ocupacionalmente.	502.79 - 1969.2	28	

CR = concentración de creatinina, IBE = índice biológico de exposición, ACGIH = siglas en inglés de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales, ND = no detectado

CR) se encuentra por arriba de los niveles de exposición que se esperaría encontrar en una zona urbanizada (categoría 2 = $100 < 170 \mu\text{g/g}$ CR, **cuadro II**); mientras que sólo el 12 % entra en la categoría 2, el 8 % restante está por debajo del valor referido para zonas rurales (categoría 1 = $< 100 \mu\text{g/g}$ CR, **cuadro II**). Comparado con estudios de otros países, Amodio-Cocchieri et al. (2001) reportan niveles de exposición de $145.4 \mu\text{g/g}$ CR en la población infantil de un área urbanizada de Italia, mientras que Ruchirawat et al. (2006) reportan $170 \pm 30 \mu\text{g/g}$ CR en Tailandia. Nuestros resultados indican que la población infantil de Cadereyta Jiménez está altamente expuesta a benceno, de manera similar a lo que reporta Moro et al. (2015) para trabajadores expuestos ocupacionalmente en estaciones de gasolina en Brazil (mediana: $320 \mu\text{g/g}$ CR).

En México aún existen pocos estudios sobre la exposición ambiental a benceno en poblaciones que presentan diferentes escenarios de contaminación.

Nuestros resultados son similares a los valores reportados por Pelallo-Martínez et al. (2014), quienes evaluaron exposición a benceno y otros contaminantes en niños de 6-12 años residentes de tres comunidades del estado de Veracruz, México: Allende, Mundo Nuevo y López Mateos, en los cuales se ubican complejos petroquímicos. Dicho estudio muestra valores (media geométrica) de t,t-AM de 388, 363 y $369 \mu\text{g/g}$ CR para las tres comunidades, más del 30% de la población está por arriba del IBE. Es importante señalar que bajo este escenario de contaminación, Pelallo-Martínez et al. (2014) reportan efectos a nivel hematológico y genotoxicidad.

Por otro lado, en un estudio reciente (Flores-Ramírez et al. 2016) se evaluaron niveles urinarios de t,t-AM en niños de 6-9 años residentes de tres comunidades indígenas del estado de San Luis Potosí, México: Santa María Picula, Cuatlamayan y Tokoy, los datos muestran niveles urinarios (media geométrica) de t,t-AM de 215, 185.2 y $476 \mu\text{g/g}$

CR para las tres comunidades, respectivamente, con 22.8 %, 10.8 % y 47 % de la población que rebasa el IBE. Aunque los resultados de dicho estudio son similares a los encontrados por nuestro equipo de trabajo y a lo reportado por Pelallo-Martínez et al. (2014), Flores-Ramírez et al. (2016) identifican ciertas actividades de las comunidades indígenas que son posibles fuentes de exposición a benceno, como la quema de leña para cocinar, uso de insecticidas, consumo de agua de pozo y quema de basura. En cambio, Cadereyta Jiménez, Nuevo León es una zona urbanizada donde las actividades mayormente reportadas son la quema de carbón para carne asada y el consumo de agua de grifo por cierta parte de la población. Sin embargo, aunque el municipio de Cadereyta Jiménez se caracteriza por la refinería de petróleo como una de las actividades económicas más importantes, también debe considerarse el tráfico vehicular como una fuente importante de emisión de benceno.

Considerando que la industria petroquímica se caracteriza por ser una fuente importante de benceno y otros compuestos orgánicos volátiles como xileno y tolueno, metales pesados, hidrocarburos y compuestos organoclorados, la coexposición a dichos contaminantes es un factor que incrementa el riesgo de efectos hematológicos (Mielzynska et al. 2006). Nuestros resultados indican que una parte considerable de la población infantil en Cadereyta Jiménez sobrepasa los niveles considerados como “seguros” para adultos expuestos ocupacionalmente a benceno, lo que indica que existe un riesgo que debe ser evaluado. Está bien definido que el benceno es un cancerígeno en humanos y diversos estudios apoyan que la incidencia de neoplasias hematológicas como las leucemias y el linfoma de No-Hodgkin está fuertemente relacionada con la actividad petroquímica (Micheli et al. 2014, Weng et al. 2008). Sin embargo, para reforzar las legislaciones ambientales con el fin de reducir la exposición a benceno es necesario considerar otras fuentes importantes de emisión como es el tráfico vehicular y otras actividades industriales, así como evaluar los riesgos en salud asociados a la exposición ambiental a benceno.

AGRADECIMIENTOS

Por el apoyo técnico a Viridiana Moreno Montalvo del Instituto Tecnológico de Nuevo León quien bajo este proyecto complementó su formación académica como licenciada en ingeniería ambiental. A la participación voluntaria de los residentes y

autoridades escolares del municipio de Cadereyta Jiménez, Nuevo León.

Fuente de financiamiento

Este proyecto fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, CONACyT- Secretaría de Salud, Instituto Mexicano del Seguro Social e Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (convocatoria 2013-1, proyecto número 202736).

REFERENCIAS

- ACGIH (2005). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. [en línea]. http://www.stps.gob.mx/DGIFT_STPS/PDF/2005TLVsBEIsofACGIHHandbook.pdf 28/09/2017.
- Amodio-Cocchieri R., Del Prete U., Cirillo T., Agozzino E. y Scarano G. (2001). Evaluation of benzene exposure in children living in Campania (Italy) by urinary trans, trans-muconic acid assay. *J. Toxicol. Env. Heal. A.* (63), 79-87. DOI: 10.1080/15287390151126388
- ATSDR (2007). Toxic substances portal - benzene. Agency for Toxic Substances and Disease Registry [en línea]. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=40&tid=14> 02/03/16.
- D'Andrea M.A. y Reddy G.K. (2014). Health effects of benzene exposure among children following a flaring incident at the british petroleum refinery in Texas City. *Pediatr. Hemat. Oncol.* 31 (1), 1-10. DOI: 10.3109/08880018.2013.831511
- Flores-Ramírez R., Pérez-Vázquez F.J., Cilia-López V.G., Zuki-Orozco B.A., Carrizales L., Batres-Esquivel L.E., Palacios-Ramírez y Díaz-Barriga F. (2016). Assessment of exposure to mixture pollutants in Mexican indigenous children. *Environ. Sci. Pollut. R.* 23 (9), 8577-8588. DOI: 10.1007/s11356-016-6101-y
- Green J. y Sánchez S. (2012). Air quality in Latin America: An overview. Clean air Institute. Washington, EUA. 28 pp. [en línea] <http://www.cleanairinstitute.org/calidad-delaireamericalatina/cai-report-english.pdf> 28/09/17.
- Heck J.E., Park A.S., Qiu J., Cockburn M. y Ritz B. (2014). Risk of leukemia in relation to exposure to ambient air toxics in pregnancy and early childhood. *Int. J. Hyg. Envir. Heal.* 217 (6), 662-668. DOI: 10.1016/j.ijheh.2013.12.003
- INEGI (2005). Marco geostatístico nacional. Instituto Nacional de Estadística y Geografía [en línea]. http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/nacional/div_territorial/nacionalestadosycolor.pdf 29/09/2017.

- INFAED (2016). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Estado de Nuevo León. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [en línea]. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM19nuevoleon/index.html> 02/03/2016.
- Johnson E.S. (1997). Biomarkers of exposure to low concentrations of benzene: a field assessment. *Occup. Environ. Med.* 54 (1), 68.
- Koh D.H., Chung E.K., Jang J.K., Lee H.E., Ryu H.W., Yoo K.M., Kim E.A. y Kim K.S. (2014). Cancer incidence and mortality among temporary maintenance workers in a refinery/petrochemical complex in Korea. *Int. J. Occup. Env. Heal.* 20 (2), 141-145.
DOI: 10.1179/2049396714Y.0000000059
- Landrigan P.J. y Goldman L.R. (2011). Children's vulnerability to toxic chemicals: a challenge and opportunity to strengthen health and environmental policy. *Health Affair.* 30 (5), 842-850. DOI: 10.1377/hlthaff.2011.0151
- Micheli A., Meneghini E., Mariottini M., Baldini M., Baili P. y Di Salvo F. (2014). Risk of death for hematological malignancies for residents close to an Italian petrochemical refinery: a population-based case-control study. *Cancer Cause Control.* 25 (12), 1635-1644.
DOI: 10.1007/s10552-014-0468-1
- Mielzynska D., Siwiska E., Kapka L., Szyfter K., Knudsen L.E. y Merlo D.F. (2006). The influence of environmental exposure to complex mixtures including PAHs and lead on genotoxic effects in children living in Upper Silesia, Poland. *Mutagenesis* 21 (5), 295-304.
DOI: 10.1093/mutage/gel037
- Moro A.M., Brucker N., Charao M.F., Sauer E., Freitas F., Durgarte J., Bubols G., Campanharo S., Linden R., Souza A.P., Bonorino C., Moresco R., Pilger D., Gioda A., Farsky S., Duschl A., y Garcia S.C. (2015). Early hematological and immunological alterations in gasoline station attendants exposed to benzene. *Environ. Res.* 137, 349-356. DOI: 10.1016/j.envres.2014.11.003
- SEMARNAT (2013). Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [en línea]. <http://apps1.semarnat.gob.mx/retc/retc/index.php?opcion=1&anio=2013¶m=00> 22/07/2016
- SSA (2011). Norma Oficial Mexicana NOM-047-SSA1-2011. Salud ambiental-Índices biológicos de exposición para el personal ocupacionalmente expuesto a sustancias químicas. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. 06 junio del 2012.
- Pelallo-Martínez N.A., Batres-Esquivel L., Carrizales-Yáñez L. y Díaz-Barriga F.M. (2014). Genotoxic and hematological effects in children exposed to a chemical mixture in a petrochemical area in Mexico. *Archiv. Environ. Con. Tox.* 67 (1), 1-8.
DOI: 10.1007/s00244-014-9999-4
- Pyatt D. y Hays S. (2010). A review of the potential association between childhood leukemia and benzene. *Chem. Biol. Interact.* 184 (1-2), 151-164.
DOI: 10.1016/j.cbi.2010.01.002
- Ruchirawat M., Navasumrit P., Settachan D. y Autrup H. (2006). Environmental impacts on children's health in Southeast Asia: genotoxic compounds in urban air. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1076, 678-690.
DOI: 10.1196/annals.1371.037
- Taussky H.H. (1954). A microcolorimetric determination of creatine in urine by the Jaffe reaction. *J. Biol. Chem.* 208, 853-861.
- Weng H.H., Tsai S.S., Chiu H.F., Wu T.N. y Yang C.Y. (2008). Association of childhood leukemia with residential exposure to petrochemical air pollution in Taiwan. *Inhal. Toxicol.* 20 (1), 31-36.
DOI: 10.1080/08958370701758734