

Mapa cualitativo para el análisis de riesgo por BTEX por proximidad con gasolineras en la ciudad de Ensenada, Baja California, México

Qualitative map for analyzing the BTEX risk due to proximity to gas stations in the city of Ensenada, Baja California, Mexico

Mapa para análise qualitativa de risco por BTEX p ou proximidade com postos de gasolina na cidade de Ensenada, Baja California, México

Marco Antonio García Zarate^{a,c}, María Evarista Arellano García^{b,c}, Luis Walter Daessle Heuser^c, Mariana Villada Canela^c, Margarito Quintero Núñez^d

^a CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada). México.

^b Facultad de Ciencias, UABC (Universidad Autónoma de Baja California). México.

^c Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC. México.

^d Instituto de Ingeniería, UABC. Campus Mexicali. México.

Cita: García Zarate MA, Arellano García ME, Daessle Heuser LW, Villada Canela M, Quintero Núñez M. Rev. salud ambient. 2015;15(1):4-12.

Recibido: 14 de octubre de 2013. **Aceptado:** 18 de febrero de 2015. **Publicado:** 15 de junio de 2015.

Autor para correspondencia: Marco Antonio García Zarate.

Correo e: <http://www.cicese.edu.mx>

Facultad de Ciencias Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Tijuana-Ensenada km 103. 22860 Ensenada. Baja California. México.

Financiación: Beca Doctorado CONACYT -369745. Proyecto de Investigación Facultad de Ciencias-UABC- 400/481.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que hayan influido en la realización y la preparación de este trabajo.

Declaraciones de autoría: Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y la redacción del artículo. Asimismo, todos los autores aprobaron la versión final.

Resumen

La exposición a compuestos orgánicos volátiles (COV) presentes en la gasolina, como el benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX), por su capacidad cancerígena se ha asociado con el aumento del riesgo a desarrollar cáncer en las personas que viven o trabajan en las proximidades de las estaciones de servicio. En este trabajo se propone una aproximación metodológica para estudiar la problemática que representan los COV en los individuos expuestos a los hidrocarburos. Los datos obtenidos indican que existe mayor presencia de COV en las zonas ubicadas en la cercanía de las fuentes puntuales de emisión y por ende con mayor exposición a factores tóxicos. Con este trabajo se plantea un procedimiento sencillo para establecer las zonas vulnerables a riesgos tecnológicos dentro del área urbana por presencia de BTEX, utilizando para ello la tecnología SIG que permite realizar un análisis espacial de las emisiones de benceno a la atmósfera. Estos resultados quedarán al servicio de los organismos involucrados en la toma de decisiones. En México no existe una legislación clara que proteja a los habitantes de las cercanías de las estaciones de servicio, por lo tanto se deben desarrollar programas para disminuir el impacto en la población a nivel ambiental, sanitario y social.

Palabras clave: COV; solventes orgánicos; neurotóxico; riesgo tecnológico; exposición a riesgos; cartografía de riesgos; SIG.

Abstract

Due to their carcinogenic properties, exposure to volatile organic compounds such as benzene, toluene and xylene (BTEX) has been associated with an increased risk of developing cancer in people living or working near gas stations. This study puts forward a methodological approach to study the problems posed by VOCs on individuals exposed to hydrocarbons. The data obtained indicate that there is a greater presence of VOCs in the areas close to point sources of emission and, therefore, a greater exposure to toxic factors. This paper presents a simple procedure to establish which areas are vulnerable to technological risks within the urban area owing to the presence of BTEX by using GIS technology, which enables spatial analysis of benzene emissions to the atmosphere. These results will serve the agencies involved in decision-making. There is no clear legislation in Mexico to protect people living in the vicinity of gas stations. Therefore, programs should be developed to reduce their impact on the population at the environmental, health and social levels.

Keywords: VOC; organic solvents; neurotoxic; technological risk; risk exposure; risk mapping; GIS.

Resumo

A exposição a compostos orgânicos voláteis (COV) presentes na gasolina, como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX), pela sua ação cancerígena foi associada ao aumento do risco de desenvolver cancro, nas pessoas que vivem ou trabalham nas proximidades das estações de serviço. Neste trabalho propõe-se uma abordagem metodológica para estudar a problemática que os COV representam para os indivíduos expostos a hidrocarbonetos. Os dados obtidos indicam que há uma maior presença de COV em áreas localizadas na proximidade de fontes pontuais de emissão e, portanto, mais expostas a fatores tóxicos. Com este trabalho, é proposto um procedimento simples para a definição de zonas vulneráveis a riscos tecnológicos, dentro da área urbana pela presença de BTEX, utilizando a tecnologia SIG que permite uma análise espacial das emissões de benzeno na atmosfera. Estes resultados ficarão à disposição dos organismos envolvidos na tomada de decisões. No México, não existe uma legislação clara que proteja quem vive nas proximidades dos postos de gasolina, motivo pelo qual se devem desenvolver programas que visem diminuir o impacto na população a nível ambiental, sanitário e social.

Palavras-chave: COV; solventes orgânicos; neurotóxico; risco tecnológico; risco de exposição; mapa de risco; SIG.

INTRODUCCIÓN

Las operaciones que se desarrollan en las gasolineras exponen a una parte de la población a elevados niveles de contaminación, por las emisiones que se originan en el funcionamiento habitual de estas instalaciones urbanas. Los compuestos orgánicos volátiles (COV) constituyen el grupo de contaminantes más destacados por esta actividad, cuyas propiedades generales, tales como su carácter no iónico, reducido peso molecular y volatilidad, permite la absorción por todas las vías de exposición: respiratoria, cutánea e ingestión, afectando directamente a la salud¹. La mayor parte de estos compuestos se generan en los procesos de carga y descarga de gasolina², por lo que la evaluación del impacto ambiental (EIA) de la actividad es una herramienta de la política ambiental, cuyo objetivo es prevenir, mitigar y restaurar los daños al ambiente, así como la regulación de obras o actividades para evitar o reducir sus efectos negativos en el ambiente y en la salud humana. El conocimiento que se tiene de posibles fugas en gasolineras urbanas, pone de manifiesto que la presencia de estas instalaciones en los centros urbanos, tiene sus riesgos y sus impactos³⁻⁵.

La gasolina se compone de más de 1000 sustancias, lo que la hace una de las mezclas más complejas a la que el hombre está expuesto y se compone de 25 a 30 % de compuestos aromáticos dentro de los cuales figuran el benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX). Uno de los componentes de la gasolina más estudiado y peligroso es el benceno; este hidrocarburo aromático es uno de los mayores componentes de la gasolina ya que se utiliza como antidetonante⁶. El benceno es considerado por la Environmental Protection Agency⁷ y la International

Agency for Research on Cancer (IARC) como un agente carcinógeno del grupo 1, lo cual significa que existe suficiente evidencia científica para considerar una relación positiva entre la exposición a este tóxico y el desarrollo de cáncer en el hombre y algunos animales⁸. La toxicidad de los disolventes orgánicos y de los aromáticos en particular (tolueno, xileno, benceno, etc.) está ampliamente reconocida en la literatura desde hace varias décadas⁹.

Los hidrocarburos aromáticos afectan a los sistemas linfático, hematopoyético, hepático, renal y nervioso, además de causar efectos irritantes inmediatos sobre la piel y las mucosas¹⁰⁻¹³. De este conjunto de efectos, aquellos que se presentan sobre el sistema nervioso (SN) parecen ser los más conspicuos y, probablemente, los que más rápidamente se pueden detectar en situaciones de exposición continuada o crónica. Los estudios ocupacionales de los trabajadores expuestos a altos niveles de benceno han demostrado que el benceno causa leucemia y cáncer de la médula ósea; otros estudios epidemiológicos, demuestran un incremento de la leucemia basada en la exposición crónica al benceno¹⁴⁻¹⁶.

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas estadísticas asociadas, se han expandido al campo del análisis de la exposición y de la epidemiología¹⁷. Esto ha permitido el desarrollo de varios tipos de modelos que, a partir de los datos de las estaciones fijas o de mediciones propias, consiguen caracterizar la variabilidad espacial de la contaminación atmosférica a diferentes niveles geográficos, incluido el intraurbano¹⁸, permitiendo valorar el potencial de riesgo en el territorio cuando se trata de ubicar en él usos de suelo y actividades para

valorar los espacios físicos y obtener entornos más seguros para la población¹⁹. Los estudios a largo plazo por la exposición al aire contaminado aumentan el riesgo enfermedades respiratorias, por la exposición BTEX²⁰⁻²¹. Un estudio llevado a cabo en el noreste de Inglaterra mostró que las personas que viven más cerca de las fuentes de contaminación del aire, tuvieron un incremento en casos de asma²². Estos resultados representan la primera aproximación espacial dentro de un problema de toma de decisiones al aportar las diferentes alternativas sobre las cuales se centrará el análisis del presente trabajo, por lo que se comprobó que con las herramientas incorporadas actualmente en los SIG, es factible crear aplicaciones y abordar problemas concernientes a la toma de decisiones espaciales. En segundo lugar, es posible escalar el sistema y generar aplicaciones que permitan abordar problemas tan complejos como se requieran, para el diseño de recomendaciones para el manejo de riesgos para la salud. El objetivo final es hacer un mapa cualitativo del riesgo, mostrar las áreas donde hay una probabilidad de que las personas estén más expuestas, y de esta manera se puedan generar estrategias oportunas que conlleven al mantenimiento de adecuadas condiciones de salud para los trabajadores en las estaciones de servicio, y para los del entorno que las rodea, especialmente para los residentes próximos que son susceptibles a contaminación de BTEX por exposición ambiental y ocupacional a mezclas de hidrocarburos que se emiten en estaciones de servicio expendedoras de gasolina en la zona urbana de Ensenada en Baja California.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Municipio de Ensenada, es uno de los cinco municipios del estado de Baja California, y el de mayor superficie de todo el país. Su distancia aproximada a la capital del estado (Mexicali) es de 300 km. Se encuentra localizado en las coordenadas geográficas siguientes: Al Norte: 32° 21' latitud norte, al Sur: 28° 00' latitud norte, al oeste: 112° 47' longitud este y al oeste: 116° 53' longitud oeste. Colinda al norte con: los municipios de Playas de Rosarito, Tijuana, Tecate y Mexicali, al oeste con el Océano Pacífico, al este: con el Municipio de Mexicali y el Golfo de California (Mar de Cortés), y al sur con el estado de Baja California Sur.

El municipio de Ensenada tiene una superficie de 52 482 km² lo cual representa el 73,13 % de la superficie del Estado que es de 71 446 km² y respecto al país representa el 2,6 %, ubicándolo como el más grande de los municipios de México²³.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en el censo del año 2010,

la población total del Municipio de Ensenada, era de 466 814 habitantes, de los cuales el 50,4 % correspondía a los hombres y el 49,6 % a las mujeres, representando el 16,9 % de la población del Estado de Baja California, (2 764 642 habitantes). La tasa de crecimiento anual de Ensenada es del 2,31 %.

Los vientos dominantes durante la mayor parte del año, provienen del noroeste y sureste, siendo especialmente notorios durante el invierno, con ligeras variaciones estacionarias en verano de oeste a este, y algunos vientos ocasionales del este como la "condición santana" (cálidos y secos) principalmente durante el otoño²⁴. La evaluación de la exposición que aquí se propone, representa una modificación del método para la Evaluación de Salud descrito por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de las Enfermedades²⁵, que ha desarrollado niveles mínimos de riesgo (LMR) para los contaminantes que se encuentran comúnmente en sitios peligrosos. Esta guía de la salud es una estimación del nivel de exposición humana diaria a un contaminante por debajo del cual es poco probable tener efectos adversos para la salud. Los LMR se desarrollan para cada vía de exposición (por ejemplo, la ingestión y la inhalación) y la duración de la exposición (por ejemplo, agudos, menos de 14 días, de nivel intermedio, de 15 a 364 días, y crónica, los 365 días o más). La metodología está basada en la aplicación del Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta de simulación y de los modelos de localización-asignación en formato vectorial para lo cual se utilizaron los programas SIG PC ARC/INFO para la digitalización y ArcView para la visualización y creación de tabla de atributos (base de datos), el cual tiene la ventaja de que todas las funciones y los recursos de datos del SIG pueden ser utilizados. Por lo tanto, esta estrategia de integración puede proporcionar acceso a una interfaz de usuario consistente y estructurado de datos²⁶.

Se consideró un total de 37 gasolineras, distribuidas en la zona urbana de Ensenada y se generó una base de datos con las correspondientes características geográficas y ambientales de cada gasolinera las cuales se ubicaron geográficamente para construir los planos base.

Con los planos y la información obtenida se procedió al análisis del área en estudio para elaborar los mapas temáticos mediante el método de interpolación, que permite modelar variables espaciales, predecir su comportamiento, determinar sus radios de afectación²⁷⁻³⁶, así como, resolver problemas de decisión frente a procesos que afectan el comportamiento de ciertas variables, permitiendo escenarios sobre el presente o el futuro probable. El modelo determinístico seleccionado

fue realizado por interpolación por distancia inversa (Inverse Distance Weighting, IDW en sus siglas en inglés), asume que cada punto muestral tiene una influencia en su vecindad que disminuye con la distancia. Este método da más peso a los puntos más cercanos a la celda de la que se trata de obtener el valor que aquellos que están más alejados, porque maneja el concepto de tendencia y anisotropía, lo que conduce a un mejor y detallado análisis, además de ser un método relativamente sencillo, que utiliza pocos parámetros de decisión y su precisión estadística es aceptable.

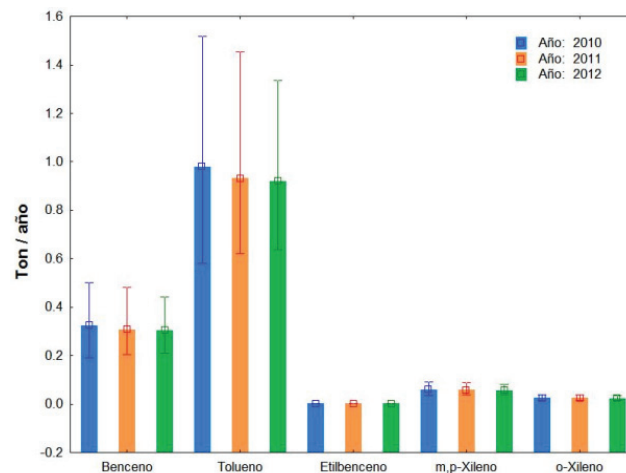
La clasificación de la vulnerabilidad se llevó a cabo a partir del método usado en la creación de mapas de riesgo, que consiste en asignar valores de ponderación a cada uno de los factores involucrados, para después resumirlos en valores de ponderación. Este mapa indica finalmente el lugar donde es factible encontrar problemas ambientales, y sus posibles niveles de gravedad asociados. La categoría ambiental se expresa territorialmente a partir de datos temáticos, los cuales describen los estados del ecosistema definidos por su calidad y cantidad de sus componentes y su funcionalidad y la emergencia de los atributos. La determinación de las emisiones de BTEX se realiza mediante un factor de emisión que se define como el volumen de materia prima o combustible de un determinado contaminante a la atmósfera, como resultado de actividades de la carga del combustible³⁷⁻³⁸. En muchos casos estos factores son valores medios de los datos disponibles y normalmente se asume que son representativos a largo plazo para todas las actividades clasificables dentro de una categoría específica, con la asunción de que existe una relación lineal entre las emisiones y el nivel de actividad asociada, dentro de un rango probable de trabajo. Como los factores de emisión son valores medios, el cálculo de las emisiones mediante su aplicación será probablemente diferente a las emisiones reales. Las emisiones reales solo se pueden conocer por medición directa en la fuente. De hecho, este es el procedimiento recomendable y preferido para la determinación de las emisiones. Sin embargo, es el método más costoso y normalmente sólo se utiliza para generación de políticas ambientales. Es aplicable a grandes infraestructuras en donde exista el equipamiento necesario para efectuar las medidas³⁹. Hoy en día existen diferentes fuentes de consulta para obtener un factor de emisión para determinado proceso, se recomienda el AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors⁴⁰⁻⁴¹. Como resultado del modelado de dispersión se obtuvieron valores de concentraciones para cada estación de servicio dentro de la zona urbana. Al generar el mapa de densidad de población necesario para la estimación de la exposición de la población se superpuso al de concentraciones. Los datos de densidad poblacional se obtuvieron del censo

de población del 2010 por parte de INEGI. Para evaluar el riesgo de exposición se combina la información sobre la distribución de población con los datos de concentración de la emisión a la atmósfera de COV⁴²⁻⁴⁴. La ventaja que presenta el estudio es que condensa información no sólo sobre las condiciones ambientales, sino también sobre la población afectada, categorizando las áreas urbanas en distintas zonas de la población: las zonas más críticas, son aquellas en las que el área de estudio tiene los valores máximos, especialmente para los datos del benceno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

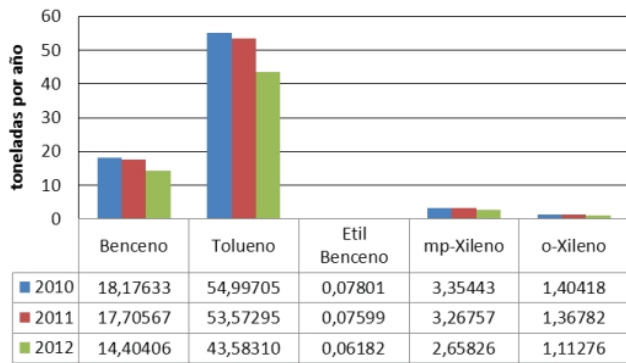
La concentraciones anuales de COV emitidos al ambiente por la presencia de las 37 gasolineras evaluadas en 2010, 2011 y 2012, se muestra en la figura 1. Para ellos se reportó que con las muestras 31-34 se dispensó mayor cantidad de combustible y se atendieron más vehículos, que con las muestras 1-3, respectivamente. Esto pudo haber afectado la diferencia entre las concentraciones de BTEX.

Figura 1. Resultados de las emisiones anuales de COV al ambiente por la presencia de gasolineras en la zona urbana



En la figura 2, se comparan los promedios de concentración de BTEX en los tres años de venta de gasolina. A partir de las concentraciones estudiadas, se observó que ha bajado la venta de combustible en general o un mayor consumo de diésel. Sin embargo, como el volumen de gasolina despachado influye notablemente en los niveles de concentración de benceno en aire, se analizó la relación existente entre esta concentración y el volumen de gasolina vendido por cada gasolinera.

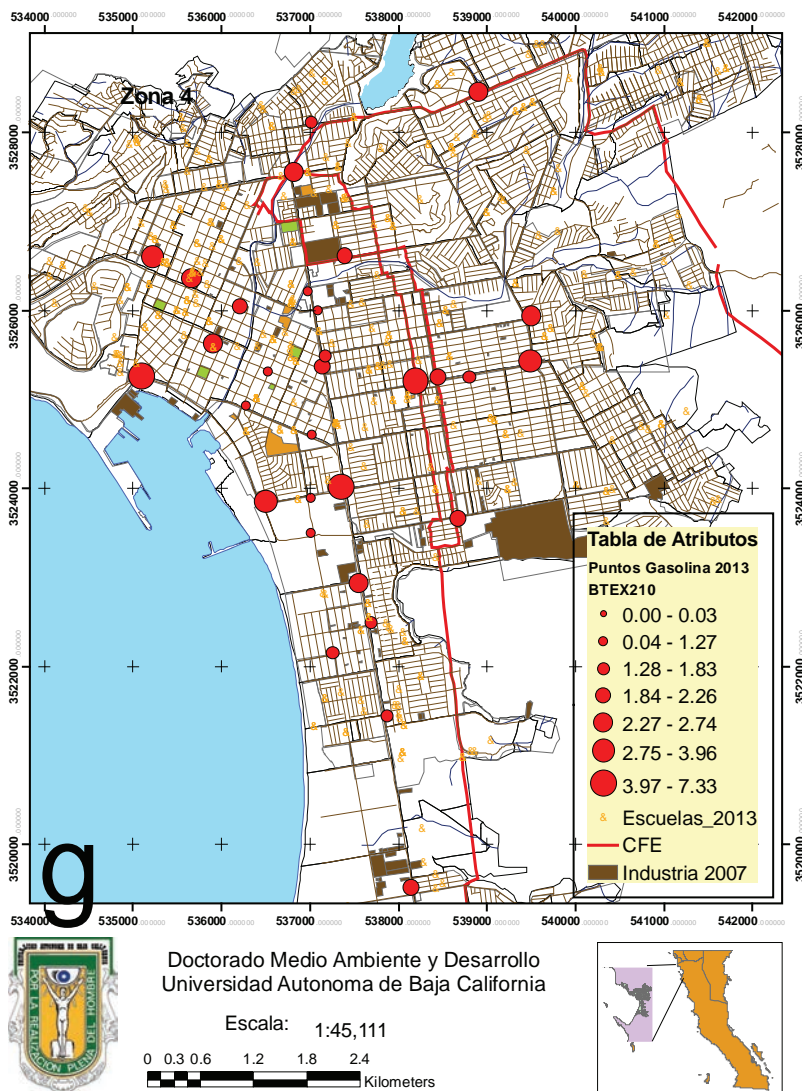
Figura 2. Concentraciones anuales de BTEX



polígonos de las estaciones de servicio como se muestra en la figura 3, reciben la influencia de forma directa e indirecta de las emisiones de BTEX producidas por las distintas gasolineras; la actividad fotoquímica contribuye a estos máximos valores que podrían afectar a la salud de la población, por la existencia de picos puntuales de inmisión, es decir, altas concentraciones en períodos muy cortos, de pocas horas, o facilitadas por las condiciones meteorológicas, y que resultarían en exposiciones puntuales elevadas, o bien por tener un efecto a largo plazo en la salud de la población, aun estando los niveles dentro de los límites admisibles.

Desde el punto de vista de la contaminación atmosférica, las zonas urbanas alrededor de los

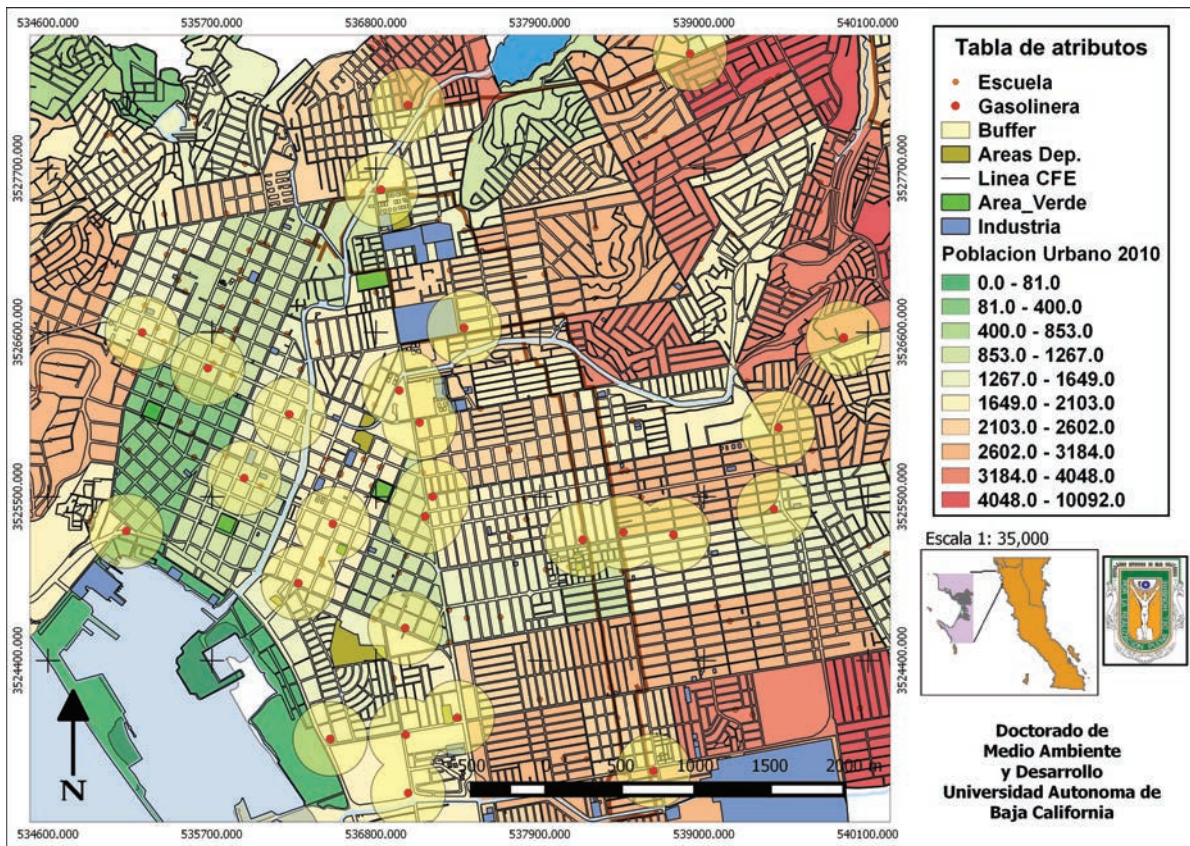
Figura 3. Resultados de las emisiones anuales de COV al ambiente por la presencia de estaciones de servicio en la Zona Urbana de Ensenada B.C.



El mapa resultante muestra el número de focos de riesgo (gasolineras y fábricas) con mayor concentración de BTEX. Es de notar, que tales puntos no han afectado a otras estaciones en gran medida, expresado en relación con el máximo de emisión que se ha encontrado en la región: 37 instalaciones peligrosas en las que se observan las áreas con diferentes niveles de

concentración con posibilidades de producir peligro en el entorno a cualquier punto de la zona urbana (figura 4), lo cual permite reconocer que existen múltiples zonas vulnerables a riesgo.

Figura 4. Zonas de Influencia por presencia de BTEX de las Estaciones de Servicio de la Zona Urbana de Ensenada B.C.



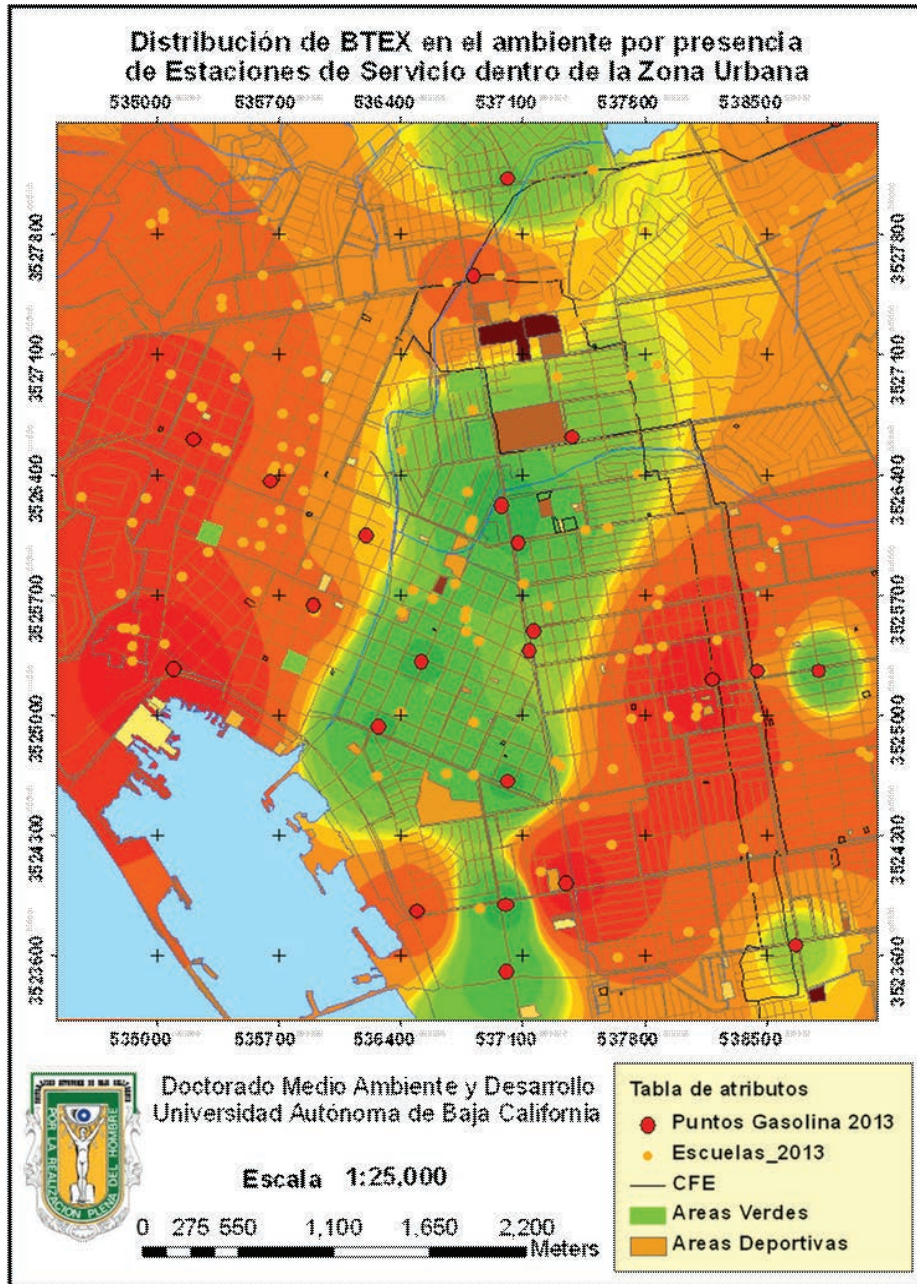
El 12,6 % de la población en Ensenada, reside dentro del radio 250 m de una gasolinera, lo que significa que estas personas están expuestas a concentraciones de altas a muy altas de BTEX, lo cual indica alguna posibilidad de ser afectado directamente en la salud.

El crecimiento urbano, los patrones de uso del suelo, la falta de regulaciones apropiadas para la edificación de las estaciones de servicio y el severo déficit de la infraestructura de saneamiento y los servicios básicos, combinados con el crecimiento poblacional, son entre otros, factores que aumentan la presión sobre los

recursos, exponiendo a una proporción cada vez más creciente de la población de las ciudades a riesgos para la salud.

Al aplicar la escala de colores índices utilizados por la Environmental Protection Agency^{7,25} para los niveles de concentración de BTEX, en todas las estaciones ubicadas en la zona urbana de Ensenada, fue factible identificar que existen múltiples zonas vulnerables a riesgo (figura 5).

Figura 5. Distribución de la contaminación por BTEX dentro de la zona urbana de Ensenada B. C.



Se ha identificado que las altas emisiones de BTEX en las gasolineras de Ensenada pueden deberse a la falta de un sistema adecuado para retirar y recuperar los vapores en las bombas de despacho de gasolina de las 37 estaciones de servicio que actualmente operan y no tanto en el trasiego de combustible de las pipas a los tanques de almacenamiento.

Las zonas expuestas a algún riesgo tecnológico ocupan una porción importante de zona urbana. Esto parece indicar que la mayor parte de los puntos del

territorio están expuestos sólo a una o unas pocas instalaciones peligrosas; únicamente en unos pocos casos se produce una alta concentración con más de 2 instalaciones peligrosas en el entorno de un lugar.

Los resultados muestran que mediante SIG y técnicas estadísticas multivariadas es posible analizar una serie de fuentes puntuales de emisión ubicadas espacialmente, para generar modelos predictivos con los cuales abordar problemas concernientes a la toma de decisiones espaciales en cuanto a permisos de los sitios idóneos

para construcción de emplazamientos urbanos.

Estos resultados representan la primera aproximación espacial dentro del problema de toma de decisiones, que permite explorar las diferentes alternativas de solución al problema de las emisiones; también se advierte que es posible escalar el sistema y generar aplicaciones acordes a las necesidades de cada usuario, lo que permite abordar problemas tan complejos como se requieran.

CONCLUSIONES

Este trabajo permite abrir una línea de investigación en el campo de la contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud, tomando en cuenta que las estaciones de servicio son importantes fuentes fijas de contaminación de tipo industrial cercanas a la población.

La población que habita alrededor de las estaciones de servicio de gasolina se encuentra expuesta a niveles variables de contaminación de BTEX de forma continua. La contaminación generada por la presencia de gasolineras puede relacionarse con el incremento de las patologías respiratorias.

Este trabajo se ha realizado con el objetivo de transferir resultados del ámbito técnico-académico al ámbito político y de toma de decisión en relación a la situación concreta o preventiva frente a la gestión del riesgo en salud.

El SIG es una herramienta muy útil de planificación territorial, ya que permite obtener resultados considerando numerosas variables, que además de establecer múltiples escenarios que permiten una modelación más completa para el análisis de problemas específicos.

Los hallazgos sugieren la necesidad de políticas ambientales para reducir la contaminación industrial y la exposición a la población, en el momento de autorización de la instalación de estaciones de servicio, y buscar soluciones que ayuden a mantener el equilibrio ambiental dentro de la mancha urbana.

BIBLIOGRAFÍA

- Galbraith D, Gross SA, Paustenbach D. Benzene and human health: A historical review and appraisal of associations with various diseases. *Crit. Rev. Toxicol.* 2010;40 (Suppl 2):1-46.
- Radian International. "Manuales del programa de inventarios de emisiones de México: Vol. 3: Técnicas básicas de estimación de emisiones"; 1996.
- Arnold SM, Angerer J, Boogaard PJ et ál. The use of biomonitoring data in exposure and human health risk assessment: benzene case study. *Crit. Rev. Toxicol.* 2013;43:119-53.
- Calvo García-Tornel F. Algunas cuestiones sobre Geografía de los Riesgos, *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales.* 1997; 10. [citado 18/02/2015] Disponible en: <http://www.ub.edu/geocrit/sn-10.htm>.
- Calvo García-Tornel F. Sociedades y territorios en riesgo. *Cartography and Geographic Information Systems. Colección La Estrella Polar* 31. Barcelona: Serbal; 2001.
- Jiang L, Zhong MS, Liang J et ál. Application and benefit evaluation of tiered health risk assessment approach on site contaminated by benzene. *Huan Jing Ke Xue.* 2013;34(3):1034-43.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). *Guideline on Air Quality Models. 40 CFR Part 51 Appendix W.* Washington: USEPA; 2005.
- Harper CC, Faroon O, Mehlman MA. Carcinogenic effects of benzene as a major component of gasoline and jet fuels. In Calabrese EJ, Kostecki PT, eds., *Hydrocarbon Contaminated Soils: Volume III.* Atlanta, Georgia: Lewis Publishers. 1993. pp. 215-41.
- Hogstedt C, Lundberg L. Epidemiology of occupational neurobehavioural hazards. Methodological experiences from organic solvent research. *Rev. Epidemiol. Sante Publique;* 1992;40 Suppl 1:S7-16.
- Chen R, Semple S, Dick F et ál. Nasal, eye, and skin irritation in dockyard painters. *Occup. Environ. Med.* 2001;58:542-3.
- D'Andrea MA, Singh O, Reddy GK. Health consequences of involuntary exposure to benzene following a flaring incident at British Petroleum refinery in Texas City. *Am. J. Disaster Med.* 2013;8:169-79.
- D'Andrea MA, Reddy GK. Health Effects of Benzene Exposure among Children Following a Flaring Incident at the British Petroleum Refinery in Texas City. *Pediatr. Hematol. Oncol.* 2014;31:1-10.
- Scheutz C, Mosbaek H, Kjeldsen P. Bioremediation and biodegradation. Attenuation of methane and volatile organic compounds in landfill soil covers. Technical reports. Technical University of Denmark, Environment & Resources. *Environ Qual.* 2004;33: 61-71.
- Gun R, Pilotto L, Ryan P et ál. the Australian Institute of Petroleum Health Surveillance Program. Eleventh Report. The University of Adelaide. Adelaide: Australia; 2000.
- Atkinson S, Coppock J, Fritschi L et ál. Lympho-haematopoietic cancer and exposure to benzene in the Australian Petroleum Industry. Technical report and appendices. Monash and Deacon University. Melbourne: Australia; 2001. [citado 16/04/2015] Disponible en: http://www.aip.com.au/pdf/health/case_study.pdf.
- Glass DC, Gray CN, Jolley DJ et ál. Leukemia risk associated with low-level benzene exposure. *Epidemiology* 2003;14(5):569-77.

17. Bayliss D, Chen C, Jarabek A et ál. *Carcinogenic Effects of Benzene: An Update*. National Center for Environmental Assessment. Washington; U.S. Environmental Protection Agency: 1998.
18. Jerrett M, Burnett RT, Ma R et ál. Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology* 2005;16:727-36.
19. Bosque SJ, Díaz CC, Díaz M et ál. Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la Comunidad de Madrid. *GeoFocus* 2004;4:44-78.
20. Hertel O, De Leeuw FAAM, Raaschou-Nielsen O, et ál. Human exposure to outdoor air pollution. [IUPAC Technical Report]. *Pure Appl. Chem.* 2001;73:933-58.
21. Jadsri S, Singhasivanon P, Kaewkunwal J et ál. Spatio-temporal effects of estimated pollutants released from an industrial estate on the occurrence of respiratory disease in Map Ta Phut Municipality, Thailand. *Int J Health Geogr.* 2006;5:48.
22. Bhopa RS, Moffatt S, Pless-Mulloli T. Does living near a constellation of petrochemical, steel, and other industries impair health? *Occup. Environ. Med.* 1988;55:812-22.
23. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de población y vivienda 2010. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística y Geografía; 2012.
24. Rivera-Ju LA. Niveles de Plomo en niños de 1 a 12 años en tres colonias de Ensenada, B.C., aspectos socioeconómicos, ambientales y legales, una propuesta de manejo de las fuentes de contaminantes. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California: México; 2002.
25. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public health assessment guidance manual (2005 Update). Atlanta: United States Department of Health and Human Services Public Health Service; 2005. [citado 16/07/2013]. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/hac/phamannualindex.html>.
26. Bennett D A. A framework for the integration of geographical information systems and model base management, *International Journal of Geographical Information Science.* 1997;11(4):337-57.
27. Correa SM, Arbilla G, Marques MRC et ál. The impact of BTEX emissions from gas stations into the atmosphere. *Atmospheric Pollution Research* 2012;3(2):163.
28. Dickinson HO, Parker L. Quantifying the effect of population mixing on childhood leukaemia risk: the Seascale cluster. *Br. J. Cancer* 1999;81:144-51.
29. Dickinson HO, Hammal DM, Dummer TJB et ál. Childhood leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma in relation to proximity to railways. *Br. J. Cancer* 2003;88:695-8.
30. Hystad P, Setton E, Cervantes A et ál. Creating National Air Pollution Models for Population Exposure Assessment in Canada. *Environ. Health Perspect.* 2011;119:1123-9.
31. Karakitsios SP, Delis VK, Kassomenos PA, Pilidis GA. Contribution to ambient benzene concentrations in the vicinity of petrol stations: estimation of the associated health risk. *Atmospheric Environment* 2007;41:1889-902.
32. Knox EG. Leukaemia clusters in childhood: geographical analysis in Britain. *J. Epidemiol. Commun. Health* 1994;48:369-76.
33. Knox EG, Gilman EA. Hazard proximities of childhood cancers in Great Britain from 1953-80. *J. Epidemiol. Commun. Health* 1997;51:151-9.
34. Morales Vargas R. Contaminación del aire y efectos tóxicos por partículas respirables (PM10) en el humo, de madera en comercios de alimentos San José - Costa Rica. *Rev. Salud Pública, San José* 2003;12(22):16-28.
35. Morales Terrés IM, Doval Miñarro M, González Ferradas E et ál. Assessing the impact of petrol stations on their immediate surroundings. *Journal of Environmental Management* 2010;91(12):2754-62.
36. Harrison RM, Leung PL, Somerville L et ál. Analysis of incidence of childhood cancer in the West Midlands of the United Kingdom in relation to proximity to main roads and petrol stations. *Occup. Environ. Med.* 1999;56:774-80.
37. United States Environmental Protection Agency. Guide for compiling a comprehensive emission inventory. Washington, DC: US EPA; 1973.
38. United States Environmental Protection Agency. Air Quality Index. A guide to Air quality and your health. Washington: US EPA; 2003.
39. Baldasano JM. Guidelines and formulation of an upgrade source emission model for atmospheric pollutants. En: Power H y Baldasano JM eds. *Air Pollution Emissions Inventory, Vol. 3.*, Southampton, UK: Computational Mechanics Publications. 1998. pp. 1-49.
40. United States Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors-Stationary Point and Area Sources. Durham, NC: US EPA Research Triangle Park; 1995. [citado 16/07/2013] Disponible en: nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=200051RB.TXT.
41. United States Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42. 5th Edition, Office of Air Quality Planning and Standards. Durham, NC: US EPA Research Triangle Park; 1995.
42. Beckx C, Panis LI, Arentze T, et ál. A dynamic activity-based population modelling approach to evaluate exposure to air pollution: Methods and application to a Dutch urban area. *Environmental Impact Assessment Review* 2009;29:179-85.
43. Cheng W, Kuo Y, Lin P, et ál. Revised Air Quality Index Derived from an Entropy Function. *Atmospheric Environment* 2004;38:383-91.
44. Landulfo E, Matos CA, Torres AS et ál. Air Quality Assessment Using a Multi-Instrument Approach and Air Quality Indexing in an Urban Area. *Atmospheric Research* 2007;85:98-111.