
Aplicación de SIG para detectar zonas de vulnerabilidad y riesgo por la ubicación de estaciones de servicio en la zona urbana. Caso estudio Ensenada, Baja California.

M. A. García-Zarate^{1,2*}, M.E. Arellano-García², R. Eaton-González², I. Castañeda-Yslas² y G. Gonzalez-Zepeda²

¹CICESE/División de Física Aplicada; Km. 107 carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada B.C. 22860.

²Manejo de Ecosistemas en Zonas Áridas, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada Baja California C.P. 22860

Application of GIS for zones of vulnerability and risk by the location of gas stations in the urban area. Case study Ensenada, Baja California

Abstract

In the city of Ensenada, Baja California, the number of service stations (gas stations) has increased with the growth of the urban area. This paper presents a methodology for modeling of environmental problems, using a combination of GIS and numerical techniques to generate probable scenarios of risk and vulnerability, assuming that these facilities could be considered undesirable and should be located away from areas densely populated areas, to minimize exposure to volatile organic compounds, benzene, toluene and xylene (BTX) are agents nonpolar lipophilic substances and are therefore harmful to human health. Sort urban areas according to categories of risk and vulnerability from the technical point of view, from urban facilities involving a hazard, based on the determination of their areas of influence, which can be delineated on maps, enables the development of tools that take into account relationships with physiographic characteristics, demographic and social economic where feasible to identify the different actors who may participate and negotiate in making decisions about policies and programs of urban development and improves the functioning of monitoring or monitoring plan focused on mitigation and prevention of damage to the health of urban residents.

Key words: geographic information systems, GIS, planning, multivariate methods, systems spatial decision support, volatile organic compounds.

Resumen

En la Ciudad de Ensenada, Baja California, el número de estaciones de servicio (gasolineras) se ha incrementado a la par del crecimiento de la mancha urbana. El presente documento plantea una propuesta metodológica para la modelización de problemas ambientales, utilizando una combinación de Sistemas de Información Geográfica y técnicas numéricas para generar escenarios probables de riesgo y vulnerabilidad, partiendo de que estos equipamientos podrían considerarse no deseables y deberían ubicarse lejos de las zonas densamente pobladas, para minimizar la exposición a compuestos orgánicos volátiles, benceno, tolueno y xileno (BTX) que son agentes no polares de carácter lipofílico y por tanto son sustancias nocivas para la salud humana. Clasificar zonas urbanas de acuerdo a categorías de riesgo y vulnerabilidad desde el punto de vista técnico, a partir de equipamientos urbanos que implican un peligro, con base en la determinación de sus áreas de influencia, las cuales pueden ser delimitadas en mapas, posibilita el desarrollo de herramientas que tomen en cuenta las relaciones con las características fisiogeográficas, demográficas y económico sociales donde sea factible identificar a los diferentes actores que podrían participar y negociar en la toma de decisiones con respecto a las políticas y programas de desarrollo urbano y contribuye al funcionamiento del

*Autores de correspondencia
Email: margarci@cicese.mx

plan de monitoreo o seguimiento enfocado en la mitigación y prevención de daños en la salud de los residentes de las zonas urbanas.

Palabras clave: sistemas de información geográfica, SIG, planificación territorial, métodos multivariantes, decisión espacial, compuestos orgánicos volátiles.

Introducción

En los últimos años la contaminación ambiental es uno de los problemas más serios que afronta la población mundial. Este problema ha generado investigaciones para tratar de responder cuáles son las causas, las consecuencias y sobre todo la forma de evitarla. El uso de los Sistemas de información geográfica, se ha popularizado en los últimos decenios en los distintos temas ambientales, especialmente en lo que se refiere al ordenamiento territorial y, aunque el tema de contaminación ambiental se plantea de manera tangencial en algunos de estos trabajos, realmente este tema no está contemplado, de manera directa, entre las funciones y actividades usualmente incluidas en los SIG (Bosque, 2000).

El sector industrial ha comenzado a invertir en la búsqueda de tecnologías tanto de fabricación como de producción que no perjudiquen el medio ambiente, y especialmente el aire. En el caso de las estaciones expendedoras de gasolina, junto a los efectos positivos que estas instalaciones tienen, por ofrecer como los servicios básicos a la sociedad actual, existen otros efectos negativos que permiten catalogarlas como instalaciones no deseables (BOSQUE, 1999), La exposición a compuestos orgánicos volátiles (COV's), que son agentes no polares de carácter lipofílico, como el benceno, tolueno y xileno (BTX), se han estudiado en cuanto sus efectos en la salud y se han encontrado evidencias de que el benceno es inductor de leucemia, con efectos mutagénicos y de anemia aplásica (IARC 1987; ATSDR 1997; U.S. EPA 1998a). Los BTX debido a sus efectos negativos sobre la salud humana, han sido clasificados como contaminantes prioritarios por la EPA.

El trabajo busca promover el uso de herramientas de análisis geográfico, el análisis de temas de la salud ocupacional y aportando información dirigida a las instancias gubernamentales en relación a los peligros de la salud de sus trabajadores, para así definir e implementar programas que contribuyan con la promoción de salud y prevención de las

enfermedades ocupacionales en las empresas donde se manejen COV's.

Se conocen como fuentes de emisión de contaminantes a todas aquellas instalaciones cuya actividad incorporan agentes nocivos al aire, sea esta contaminación por material particulado o por gases de combustión. Para el desarrollo de este estudio se clasifico a las fuentes de emisión de contaminantes en dos tipos: fuentes fijas y fuentes Móviles. Existen varias formas de clasificar los contaminantes que se emiten al aire. La forma más conocida, las agrupa en Contaminantes Primario y Contaminantes Secundarios. Los contaminantes primarios son todos aquellos que se emiten directamente de la fuente y los contaminantes secundarios son todos aquellos que se forman en la atmósfera por reacción química entre los contaminantes primarios y demás sustancias químicas que se encuentren en la atmósfera. Uno de los requerimientos básicos para tener una vida saludable es respirar aire limpio, la contaminación al aire es uno de los problemas más serios que tiene nuestra sociedad en todos los niveles económicos. Muchas personas se encuentran expuestas a elevados niveles de contaminación debido a las operaciones desarrolladas en las gasolineras que conllevan a la generación de emisiones fijas de COVs, representan un riesgo para la salud. La mayor parte de estos compuestos se generan en los procesos de carga y descarga de gasolina (Radian Internacional, 1996). El riesgo tecnológico hace referencia a la probabilidad de sufrir daños o pérdidas económicas, ambientales y humanas como consecuencia del funcionamiento deficiente o accidente de una tecnología aplicada en una actividad humana (Calvo García-Tornel, 1997 y 2001). Adicionalmente, el acelerado crecimiento de este ramo de la industria y la falta de inversión en el control de sus emisiones de fuentes fijas, causa un incremento de contaminación en el aire.

En los últimos años, 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 epidemiología.

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 intraurbano (Jerrett *et al.*, 2005).

La gasolina se compone por más de 1000 sustancias posibles lo que la hace una de las mezclas más complejas a la que el hombre está expuesto y se componen de 25 a 30% de compuestos aromáticos dentro de los cuales figuran los 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 que se utiliza como aditivo en las gasolinas. El benceno es considerado por la EPA y la IARC (International Agency for Research on Cancer) como un agente carcinógeno del grupo 1 lo que significa que existe suficiente evidencia científica para probar una relación positiva entre la exposición a este tóxico y el desarrollo de cáncer en el hombre y algunos animales (Harper *et al.*, 1993).

La exposición aguda a altos niveles de gasolina y sus componentes BTEX se han asociado con irritación de la piel y sensorial, depresión del sistema nervioso central y efectos en el sistema respiratorio (Scheutz, 2004). Estos efectos pueden interrumpir la producción de elementos de la sangre y producir una disminución de algunos componentes importantes de esta. Una disminución de los glóbulos rojos puede conducir a una anemia. La reducción de otros componentes de la sangre puede causar hemorragias. La exposición excesiva al benceno puede ser perjudicial para el sistema inmunitario, aumentando las probabilidades de contraer infecciones y posiblemente disminuyendo las defensas del cuerpo contra el cáncer. La exposición Prolongada de estos compuestos tiene un efecto similar en los riñones, hígado y el sistema arterial (Scheutz, 2004). La exposición prolongada al benceno puede producir cáncer de los órganos que producen los elementos de la sangre. Esta condición se llama leucemia. La exposición al benceno se ha asociado con el desarrollo de un tipo especial de leucemia llamada leucemia mieloide aguda. Tanto la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como la EPA han determinado que el benceno es carcinógeno en seres humanos. De acuerdo a la EPA (2002), hay

suficientes evidencias de estudios en humanos y animales para creer que el benceno es cancerígeno. Estudios realizados en trabajadores expuestos a altos niveles de benceno, arrojaron una alta incidencia de leucemia (Bayliss, 1997).

Por lo anterior, el presente trabajo presenta el análisis de riesgo en salud 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 método

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 Enfermedades (ATSDR). Para la aplicación de los modelos de localización-asignación en formato vectorial empleó el software Arc/Info, en una red se diferencian elementos que se interrelacionan entre sí mediante elementos puntuales. El grado del peligro de una cierta área está determinado por una combinación de factores. Los diferentes factores, que influyen en el grado de peligro, se pueden observar separadamente, aunque ellos se influyan uno al otro.

La técnica de predicción espacial más empleada es el Kriging, dicha técnica nos proporciona una superficie que se aproxima a nuestros datos de contaminación en toda la zona de estudio y que intenta recoger las principales características del modelo estudiado. El modelo Kriging, además de tener en cuenta la localización de los puntos observados (longitud/latitud), puede ser completado con el uso de covariables de interés, como pueden ser los datos meteorológicos (temperatura, viento), orografía, estructura urbanística (altura edificios, anchura de las calles), etc. (Figura 1).

El objetivo final es hacer un mapa cualitativo del riesgo, mostrar las áreas donde hay una probabilidad alta de que un desastre pueda ocurrir. Para esto fue necesario también conocer la vulnerabilidad: el grado de pérdida de un conjunto dado de elementos resultando en el riesgo de ocurrencia del fenómeno. Uno de los principales objetivos de los toxicólogos ambientales es establecer vínculos de causalidad entre la exposición a una sustancia o sustancias tóxicas, y los consiguientes efectos biológicos (Collier, 2003).

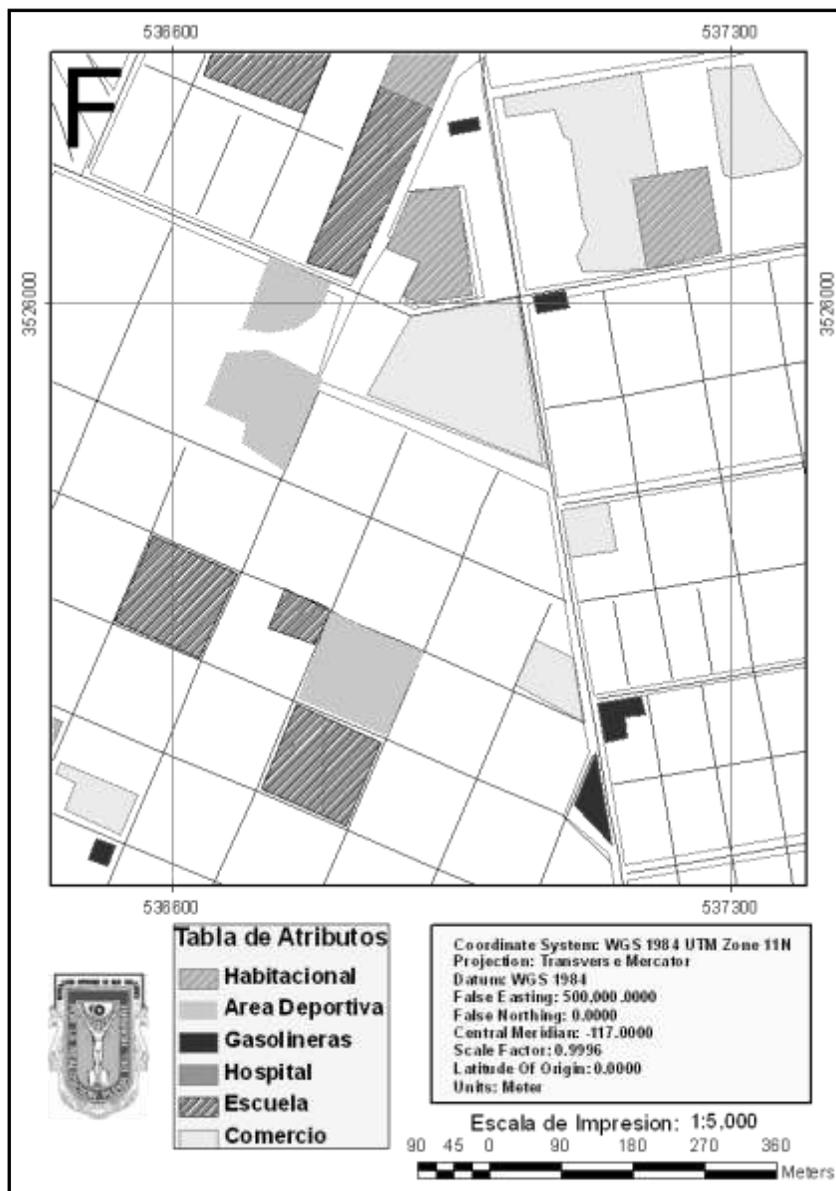


Figura 1. Identificación de estaciones de servicio dentro de la zona urbana

Los elementos en riesgo dentro de un área dada son la población, las propiedades, las actividades económicas, etc. La clasificación de vulnerabilidad se llevó a cabo a partir del método usado en la creación de mapas de peligro: asignar los valores de ponderación a cada uno de los factores, para después resumir los valores de ponderación. Este mapa indicará 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 referentes a sus múltiples dimensiones. Estos datos son algunos correspondientes a los órdenes físicos, químicos y biológicos y 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.

Resultados

A través de los SIG fue posible crear una base de datos referenciada geográficamente y temporalmente, la misma que al ser procesada, puede ser usada para crear nueva información. Especialmente permite la evaluación en el proceso de creación de escenarios territoriales deseados.

El aspecto más importante de los datos tratados en un SIG es la naturaleza dual de la información: un dato geográfico posee una localización geográfica y atributos descriptivos esta característica de los SIG es la que la convierte en herramienta idónea para el abordaje de la temática ambiental, ya que cada atributo y sus cualidades ambientales tienen necesariamente una expresión temporal y territorial. A partir de esto, es posible realizar un monitoreo permanente de los usos y estilos de uso de los bienes ambientales presentes en los territorios para evitar superar la capacidad de resiliencia de los sistemas y detectar geográficamente los puntos de interés para desarrollar el seguimiento de las acciones territoriales planificadas.

La cartografía de riesgos es un instrumento aplicable en Ordenación del Territorio, debido a que permite valorar el potencial de riesgo del territorio cuando se trata de ubicar en él usos del suelo y actividades, este hecho lleva la necesidad de desarrollar medios eficaces y rápidos para valorar los espacios físicos y obtener entornos más seguros para la población (Bosques, 2004).

El objetivo general es obtener las mejores localizaciones que nos aseguren el mínimo impacto posible sobre la población y que, por otra parte, satisfagan los requerimientos de los demandantes de los servicios que prestan este tipo de instalaciones, hemos visto que las características socio-económicas son importantes en el impacto la fuerza con la que la catástrofe sacude la zona, donde las condiciones iniciales o características socio-económicas (vulnerabilidad) y la fuerza con la que la catástrofe actúa en la zona, de hecho podemos considerar el impacto total como el resultado de la interacción de estos dos elementos (Figura 2).

La razón es bastante inmediata un aumento de la fuerza del desastre provocará un aumento del impacto proporcional a la vulnerabilidad de la zona, si se conoce la fuerza del desastre y el impacto que el mismo ha tenido en una determinada zona, podemos llegar a una estimación de la vulnerabilidad en la zona, el siguiente punto será

identificar las variables que causan esta vulnerabilidad, es decir, los factores físicos, socioeconómicos, institucionales, políticos, culturales y ambientales, incluyendo el grado de resiliencia de la sociedad que provocan que una determinada zona sea más vulnerable que otra.

El crecimiento urbano, los patrones de uso del suelo, la falta de regulaciones apropiada para la construcción de las estaciones de servicio y los severos déficit de la infraestructura 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 enormes riesgos.

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 por lo que se comprobó que, es posible analizar mediante Sistemas de Información Geográfica SIG y técnicas estadísticas, una serie de datos ubicados espacialmente, lo cual resulta muy importante en el caso de modelos predictivos crear aplicaciones y abordar problemas concernientes a la toma de decisiones espaciales. En segundo lugar 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 para la obtención de resultados.

El entender lo complejo del panorama de la vulnerabilidad permite definir, durante la fase de formulación, las medidas más apropiadas y efectivas para reducir el riesgo.

Discusión y recomendaciones

Para que un tóxico cause daño, primeramente se debe estar expuesto a él, y en segundo término el tóxico debe vencer los mecanismos de defensa del organismo que tratará de impedirle su alcance a los denominados tejidos blancos en forma activa.

Cuando se habla de exposición, se habla del contacto de una población o individuo con un agente químico o físico. El grado de exposición se determina midiendo la concentración del agente que está presente en la superficie de contacto (pulmones, intestino, piel, etc.) durante un periodo especificado. Esta concentración cuando es expresada por unidad de masa corporal del individuo expuesto se le denomina Dosis

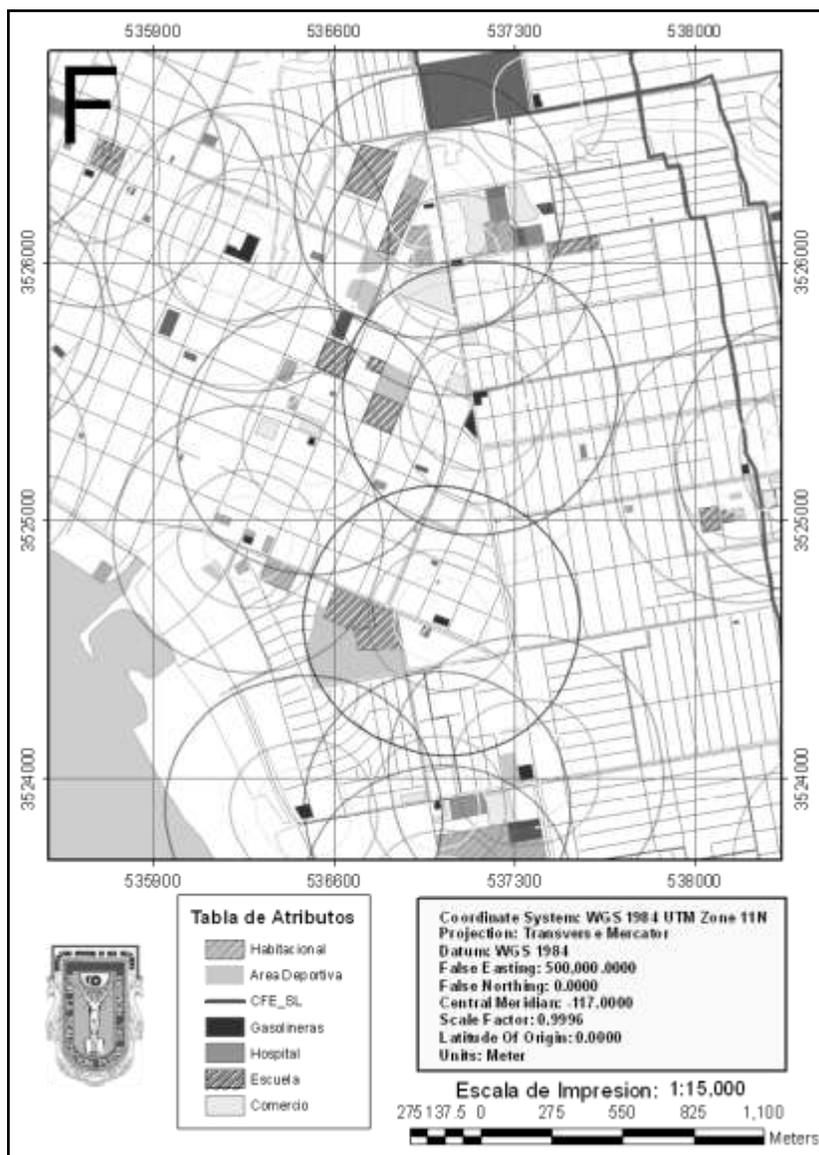


Figura 2. Identificación zonas de riesgo dentro de la zona urbana

Suministrada.

Al verificar que estos tipos de construcciones traen consigo impactos positivos desde el punto de vista socioeconómico, que a su vez colabora con el desarrollo nacional y por ende el mejoramiento de la calidad de vida, para lo cual me permito hacer las siguientes recomendaciones: que la cantidad de estaciones de servicios existentes en el mancha urbana son suficiente para abastecer de combustible

a la zona urbana y considerando los riesgos que representa sobre el medioambiente y la salud de los pobladores, se recomienda la creación de una norma técnica que impida la construcción de nuevas estaciones de servicio dentro de la zona urbano de Ensenada.

Como se ha indicado anteriormente, una forma de reducir el riesgo de los trabajadores expuestos como los vecinos a BTEX y de minimizar la

contaminación atmosférica es implantar medidas de control ambiental, como de la reducción de la exposición mediante la instalación de recuperadores de vapores en los surtidores para expendio de gasolina y sensores de detección de vapores ayudando a la disminución de la emisión (OIT, 2001).

Para diseñar medidas exitosas de prevención y control de emisiones de BTEX deberían llevar a cabo análisis de costo-beneficio. Estos estudios permitirían medir formalmente los costos de la reducción de la contaminación por BTEX frente a los beneficios obtenidos (OMS, 2004). Se trata de reducir las emisiones contaminantes hasta que los costos y los beneficios se iguallen.

Se debe capacitar a los trabajadores acerca de los efectos nocivos de la gasolina sobre su salud y con esto, incentivar buenas prácticas de trabajo que ayuden a disminuir la exposición a benceno. Dentro de ellas se encuentra el alejarse de las máquinas dispensadoras cuando se realiza el llenado y colocarse siempre a favor de la dirección del viento; además, se deben evitar los derrames de combustible al terminar el dispensado.

Es de importancia sumar esfuerzos que logren modificar la visión que se tiene sobre la planeación urbana, haciéndola más participativa, educativa e integrando la problemática de los riesgos y la vulnerabilidad, dado que la ciudad enfrenta permanentemente amenazas inherentes a su propia dinámica de crecimiento.

La importancia de realizar mapas de amenaza y vulnerabilidad de manera participativa ha venido cobrando mucha importancia en los últimos años, ya que los productos finales han llegado a tener un grado de aceptación y de representatividad donde se han desarrollado proyectos de Gestión de Riesgo.

Conclusiones

Esta primera aproximación a un Sistema de Información Geográfico en la zona de estudio, constituye una herramienta muy útil en el estudio de las distribuciones espaciales que describen las zonas donde se perciben los problemas de vulnerabilidad y riesgos, esenciales cuando se deben tomar decisiones que afectan al medio ambiente y a las poblaciones humanas expuestas a estos riesgos. El análisis de riesgo basado en este inicial acercamiento, sugiere colocar las instalaciones no deseables lo más alejadas que sea posible de la

población residente en la zona de estudio. Para ello bastaría desde un punto de vista operativo, maximizar la distancia en línea entre las instalaciones y las zonas habitacionales, ya que a medida que pasa el tiempo se incrementa el número de estaciones de servicio y los efectos sobre la población expuesta podrían ser irreparables.

Los resultados de este trabajo, sugieren la necesidad de políticas ambientales para reducir la exposición a la población expuestas a BTEX, por presencia de estaciones de servicio, para lo cual la evaluación de los daños producidos por la contaminación al medio ambiente y los beneficios derivados de su reducción, tienen importancia a la hora de tomar decisiones políticas y buscar soluciones que ayuden a mantener el equilibrio ambiental dentro de la mancha urbana.

Bibliografía

- ATSDR. 1997. "Toxicological profile for benzene". U.S. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, Ga. U
- ATSDR. 2000. "Toxicological profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs)". Agency for Toxic Substances and Disease Registry; Atlanta, GA: 2000.
- Bayliss, D; Chen, C; Jarabek, A; Sonawane, B; Valcovic, L. 1997. "Carcinogenic Effects of Benzene: An Update". Environmental Protection Association of the United States: National Center for Environmental Assessment. (<http://www.epa.gov/ncea/pdfs/benzene.pdf>)
- Bosque, S. J., Díaz, C. C., Díaz, M., Gómez, D. M., González, F.D., Rodríguez, E. y Salado, G. M. 2004. Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la Comunidad de Madrid, GeoFocus, nº 4, pp. 44-78.
- Bosque S. J., Gómez, M., Rodríguez V., Díaz M. A., Rodríguez, A. E. y Vela A. 1999. Localización de centros de tratamiento de residuos: una propuesta metodológica basada en SIG, Anales de Geografía de la Universidad Complutense, 19:295-323.
- Bosque-Sendra, J., Gómez-Delgado, M., Moreno-Jiménez, A. y Dal-Pozzo, F. 2000. Hacia un sistema de ayuda a la decisión espacial para la localización de equipamientos. Estudios geográficos, 2000, tomo LXI, 241:567-598
- Calvo García-Tornel, F. 1997. Algunas cuestiones sobre Geografía de los Riesgos, Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, n1 10
- Calvo García -Tornel, F. (2001): Sociedades y territorios en riesgos. Barcelona, Serbal. Cartography and Geographic Information Systems, 186 p
- Collier, T.K. 2003. Forensic Ecotoxicology: Establishing Causality between Contaminants and Biological Effects in Field Studies. Human and Ecological Risk Assessment. 9(1): 259-266.
- Edward J. 1993. "Hydrocarbon contaminated soils. Volume III: Perspectives, analysis/site assessment, human health risk assessment, remediation ecological risk assessment, environmental fate and exposure regulatory". Lewis

- Publishers, Boca Raton, pp 215-241.
- Harper CC, Faroon O, and Mehlman MA. 1993. "Carcinogenic effects of benzene as a major component of gasoline and jet fuels". In E.J. Calabrese and P.T. Kostecki, eds., Hydrocarbon Contaminated Soils: Volume III. Lewis Publishers. 215-241.
- IARC (International Agency for Research on Cancer) 1987. Overall evaluation of carcinogenicity: an updating of IARC Monographs, volumes 1_42. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans. Suppl 7. Lyon France
- Jerrett, M., Burnett, R.T., Ma, R, Pope, C.A. 3rd, Krewski D, Newbold, K.B., Thurston, G., Shi, Y., Finkelstein. N., Calle EE, Thun M.J. 2005. Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology*. 16(6):727-36.
- OMS. 2004. "Guías para la Calidad del Aire". Traducción del Informe del la Reunión de un Grupo de Trabajo de Expertos de la OMS desarrollada en Ginebra, Suiza en diciembre de 1997. Lima.
<http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/114/1/CDAM0000017.pdf>
- OIT. 2001. *Enciclopedia de la Salud y Seguridad en el Trabajo de la Organización Internacional del Trabajo*. Edición española editada por el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. <http://www.mtas.es/insht/EncOIT/Index.htm>
- Radian International. 1996. "Manuales del programa de inventarios de emisiones de México: Vol. 3 - Técnicas básicas de estimación de emisiones". <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/technic3.pdf>
- Scheutz, C., Mosbæk, H., Kjeldsen, P. 2004. Bioremediation and biodegradation. Attenuation of methane and volatile organic compounds in landfill soil covers. Technical reports. Technical University of Denmark, Environment & Resources. *Environ Qual*. 33: 61-71.
- U.S. EPA. 1998. Carcinogenic Effects of Benzene: An Update (Final). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington Office, Washington, DC, EPA/600/P-97/001F, 1998.
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). 2002. Toxicological Review of Benzene (Noncancer Effects). (see <http://www.epa.gov/iris>).