

## Investigación

# Aglomeración urbana en la estimación de escenarios de riesgo sanitario por emisiones de gasolineras: el caso de Ensenada, Baja California

Urban crowding in the estimation of health risk scenarios caused by emissions from gas stations: the case of Ensenada, Baja California

Aglomeração urbana na estimação de cenários de risco para a saúde por emissões em postos de gasolina: o caso da cidade de Ensenada, Baixa Califórnia

Marco Antonio García-Zárate<sup>1</sup>; María Evarista Arellano-García<sup>2</sup>; Mariana Villada-Canela<sup>3</sup>; Patricia Margarita Aceves-Calderón<sup>4</sup>; Ana Erika Ruiz-Arellano<sup>5</sup>; Christine Alysse Von-Glascoe<sup>6</sup>; Margarito Quintero-Núñez<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, México. Correo: margarci@cicese.mx.

<sup>2</sup> Doctora en Medio Ambiente y Desarrollo. Universidad Autónoma de Baja California, (UABC). México. Correo: evarista.arellano@uabc.edu.mx.

<sup>3</sup> Doctora en Estudios Urbanos y Ambientales. Universidad Autónoma de Baja California. México. Correo: mvilladac@uabc.edu.mx.

<sup>4</sup> Maestra en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas. Universidad Autónoma de Baja California. México. Correo: pat\_aceves@uabc.edu.mx.

<sup>5</sup> Maestra en Diseño Gráfico Digital. Universidad Autónoma de Baja California. México. Correo: erika.ruiz@uabc.edu.mx.

<sup>6</sup> Doctora en Ciencias Sociales. El Colegio de la Frontera Norte. México. Correo: cglascoe@colef.mx.

<sup>7</sup> Doctor en Metalurgia Industrial Aplicada. Secretaría de Protección al Ambiente de Baja California. México. Correo:maquinu@gmail.com.

Recibido: 20/07/2017. Aprobado: 10/08/2017. Publicado: 01/09/2017

---

García-Zárate MA, Arellano-García ME, Villada-Canela M, Aceves-Calderón PM, Ruiz-Arellano AE, Von-Glascoe CA, Quintero-Núñez M. Aglomeración urbana en la estimación de escenarios de riesgo sanitario por emisiones de gasolineras: el caso de Ensenada, Baja California. Rev. Fac. Nac. Salud Pública, 2017; 35(3): 322-334. DOI: 10.17533/udea.rfnsp.v35n3a03

---

## Resumen

**Objetivo:** se propone una herramienta conceptual y metodológica mediante la cual es posible representar la contribución de los componentes sociales, económicos y territoriales en la aglomeración de personas dentro de una ciudad, para delimitar zonas de riesgo sanitario por la exposición a emisiones de gasolina en estaciones de servicio. **Resultados:** el modelo propuesto facilita la focalización, identificación y priorización las zonas de riesgo por contaminación ambiental por BTEX liberados por gasolineras. **Discusión:** la inclusión en modelos espaciales de riesgo, del número de personas que acuden a construcciones como escuelas y hospitales que generan aglomeración, trasciende el ámbito conceptual y ofrece aspectos metodológicos e instrumentales para lograr modelos más robustos y aplicables en otras ciudades. Las

agencias gubernamentales deben considerar estos resultados para el establecimiento de reglas, permisos y procedimientos de ejecución con el fin de reducir la contaminación del medio ambiente y, con esto, mejorar las condiciones sanitarias en el entorno complejo de una zona urbana. **Conclusiones:** el análisis espacial integrado no resuelve las complicadas negociaciones políticas y sociales que se tienen que hacer en la toma de decisiones sobre los riesgo sanitario, lo que sí mejora es la capacidad de los científicos y tomadores de decisiones en la identificación, evaluación, control y reducción de estos riesgos asociados con las emisiones de las estaciones de servicio.

-----**Palabras clave:** benceno, compuestos orgánicos volátiles, gasolineras, contaminación del aire, aglomeración, cartografía, riesgo sanitario.

---

## Abstract

**Objective:** a conceptual and methodological tool is proposed which makes it possible to represent how social, economic and territorial components contribute to the crowding of people within a city. This tool aims to define the areas with health risk due to exposure to gasoline emissions from gas stations.

**Results:** the proposed model can facilitate the targeting, identification and prioritization of zones at risk of environmental contamination by the BTEX released from gas stations in the city.

**Discussion:** when a spatial model of risk includes the number of people going to buildings that generate crowding such as schools and hospitals, the conceptual scope is transcended and methodological and instrumental aspects are offered in order to achieve more robust models that are applicable to other cities.

Government agencies should take these results into account when establishing rules, permits and enforcement procedures to reduce environmental contamination. This would thus improve the health conditions in the complex environment of an urban area. **Conclusions:** Integrated spatial analysis does not solve the complicated social and political negotiations that must take place in any decision making concerning health risk. However, it does improve the ability of scientists and decision-makers to identify, assess, control and reduce the risks associated with emissions from gas stations.

-----*Key words:* benzene, volatile organic compounds, air pollution, crowding, cartography, health risk

## Resumo

**Objetivo:** propõe-se uma ferramenta conceitual e metodológica por meio da qual é possível representar a contribuição dos componentes sociais, econômicos e territoriais na aglomeração de pessoas em uma cidade, para demarcar zonas de risco para a saúde por causa da exposição a emissões de gasolina em postos de abastecimento. **Resultados:** O modelo proposto facilita a focalização, identificação e priorização das zonas de risco por poluição ambiental por BTEX emitidos pelos postos de gasolina. **Discussão:** A inclusão em modelos espaciais de risco, do número de pessoas que frequentam estabelecimentos como escolas e hospitais que geram aglomeração, transcende o âmbito conceitual e oferece aspectos metodológicos e instrumentais para conseguir modelos mais robustos e aplicáveis em outras cidades.

As agências governamentais precisam considerar estes resultados para a criação de regras, autorizações e procedimentos de execução com o propósito de reduzir a poluição do meio-ambiente e, assim, melhorar as condições de saúde no entorno complexo de uma zona urbana. **Conclusões:** A análise espacial integrada não resolve as complicadas negociações políticas e sociais que devem acontecer na tomada de decisões sobre os riscos de saúde, mas o que melhora é a capacidade dos cientistas tomadores de decisões na identificação, avaliação, controle e redução destes riscos associados com as emissões dos postos de abastecimento.

-----*Palavras-chave:* benzeno, compostos orgânicos voláteis, postos de gasolina, poluição do ar, aglomeração, cartografia, risco de saúde

## Introducción

La contaminación del aire y sus efectos en la salud pública constituyen un tema de principal preocupación a nivel global, especialmente en las ciudades [1, 2]. Informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) establecen que más del 80% de las muertes prematuras se relaciona con una baja calidad del aire [3, 4]. La liberación de gases tóxicos y material particulado, por el uso y manejo de combustibles en las zonas urbanas, reduce la calidad del aire en el interior y exterior de las edificaciones, quedando expuesta la población a una mezcla compleja de contaminantes atmosféricos, con efectos respiratorios, cardiovasculares, hemotóxicos, nefrotóxicos, neurotóxicos, carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos [5, 6].

Las estaciones de servicio de gasolina (ES) despiden compuestos orgánicos volátiles (COV) durante el trasvase de la bomba de despacho al auto. Estos vapores de gasolina constituyen importantes fuentes puntuales

de emisión al aire de compuestos, como el benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX) en las zonas [7, 11]. No obstante, desde el punto de vista toxicológico, es el benceno el contaminante más importante de los BTEX, ya que varios estudios han demostrado que afecta a los sistemas nervioso, linfático, hematopoyético, hepático, renal, además de ser considerado como cancerígeno para el hombre [12, 20].

La ubicación geográfica de las ES y la forma en la cual la gente se mueve y se congrega en la ciudad, alrededor de edificaciones como escuelas, hospitales, centros comerciales y otras instalaciones urbanas, genera escenarios de riesgo sanitario que es necesario analizar, porque la singularidad de estos patrones de movilidad y aglomeración aportan una visión más integradora a los modelos estáticos de riesgo, que consideran a la población como conjuntos fijos que pasan las 24 horas del día en sus domicilios. En estudios de BTEX, se ha demostrado que las exposiciones personales normalmente superan las concentraciones

de contaminantes en el aire, los niveles de la exposición humana a los COV's dependen de la cercanía a la fuente de emisión, sobre todo en el interior, donde las personas pasan hasta el 90% de su tiempo [21, 31].

El objetivo es proponer una herramienta conceptual y metodológica mediante la cual sea posible representar la contribución de los componentes sociales, económicos y territoriales, así como los patrones de movilidad y aglomeración de las personas, en la delimitación de zonas de riesgo sanitario humana por la exposición a los contaminantes liberados por las ES.

Se modelan probables escenarios de riesgo sanitario por exposición a benceno, para lo cual se propone un modelo conceptual que vincula las características de un sitio contaminado con los receptores probables, ya sean valores o bienes que son susceptibles de ser dañados, y los procesos que los relacionan, como la infraestructura, las personas expuestas y la movilidad.

La evaluación de riesgo sanitario de los contaminantes se aborda desde múltiples disciplinas [32, 34], y es un proceso cuantitativo y cualitativo que tiene como objetivo asignar valores, magnitudes y probabilidades a los efectos adversos para la salud de las personas, que pueden estar expuestas a químicos peligrosos. Los estudios sobre evaluación de riesgos urbanos tienden a considerar que la población se encuentra confinada en sus domicilios durante todo el día, por ello surgió la necesidad de diseñar una metodología de evaluación de riesgo, que incluya tanto a la población humana y sus patrones de movilidad y aglomeración intraurbana, así como a los demás componentes del ecosistema, en un solo proceso [35].

Aquí se propone que la aglomeración intraurbana resulta de distintos procesos que se dan en la vida cotidiana y que toman lugar dentro de la ciudad. Dichos procesos consiguen que las personas dejen sus domicilios, para trasladarse a escuelas, hospitales, centros de trabajo, centros de recreación y centros comerciales. La movilidad y aglomeración intraurbanas tienen sus dinámicas en términos de horarios e itinerarios, propiciando afluencia de personas en determinados lugares, principalmente durante las horas diurnas, en tanto que la mayoría pernocta en sus hogares, con excepción de aquellos en los que la vida laboral los obliga a abandonar los domicilios durante la noche. Procesos como el trabajo remunerado, la educación, el cuidado de la salud, el comercio y la recreación dinamizan la movilidad de la gente en la ciudad y generan aglomeraciones que pueden tener la capacidad de modificar modelos estáticos de riesgo por contaminación atmosférica.

El método que se propone consiste en un modelo conceptual que vincula las características de un sitio contaminado con los receptores probables, ya sean valores o bienes que son susceptibles de ser dañados,

como la infraestructura y los procesos que los relacionan, con la cantidad de personas expuestas en función de la movilidad y la aglomeración.

Cuando se realiza una evaluación del riesgo por exposición a una sustancia específica, se analizan las propiedades tóxicas de una sustancia en particular y las condiciones de exposición humana a dicha sustancia, tanto para cerciorarse de la posibilidad de que los individuos expuestos desarrollen efectos adversos, como para caracterizar la naturaleza de los efectos que puedan presentar en el futuro. El crecimiento demográfico y la industrialización modifican e incrementan la cantidad y las propiedades de las sustancias tóxicas en función del tiempo, condiciones que deben tomarse en cuenta en los estudios de riesgo [36].

Un mapa de riesgo de una comunidad o zona geográfica señala los lugares y edificios, hogares, escuelas, instalaciones sanitarias y otras construcciones donde las personas podrían verse adversamente afectadas en caso de que ocurran huracanes, terremotos, maremotos, inundaciones, erupciones volcánicas, aludes y otras amenazas naturales, desastres tecnológicos o ambientales. Para generar un mapa de riesgos, es preciso determinar las zonas y elementos que se encuentran en riesgo dentro de una comunidad o zona geográfica, y organizarlos en un sistema de indicadores, lo que permite representar el riesgo y su gestión a escala local, facilitando la identificación de los aspectos esenciales que lo caracterizan desde una perspectiva económica y social. No obstante, el análisis espacial de riesgos no resuelve las complicadas negociaciones políticas y sociales que se tienen que hacer en la toma de decisiones sobre riesgos, pero lo que sí mejora es la capacidad de tomadores de decisiones y analistas en la identificación, evaluación, control y reducción de riesgos asociados con actividades del hombre.

## Metodología

La metodología que se utilizó contempla varias fases. La primera consiste en la recopilación de las fuentes de información, teniendo en cuenta su utilidad para la construcción de un sistema de información geográfica (SIG). En la segunda se realizó el diseño de algunos indicadores, cuyas expresiones se bosquejan a partir de los distintos elementos que se desean representar en el modelo de riesgo. Otra fase fue la representación de distintos escenarios de riesgo a partir de las técnicas propuestas por la oficina para la prevención de desastres de las Naciones Unidas, con sus tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad, para finalmente delimitar las zonas de riesgo con el Índice de Riesgo de Desastres (DRI). En la tabla 1 se presenta una descripción detallada de cada uno de los indicadores, tomando como

base el caso de los escenarios de riesgo por exposición a BTEX en la zona urbana de Ensenada, Baja California.

La información geográfica se recabó a través de diferentes agencias gubernamentales, como Petróleos Mexicanos (PEMEX), Consejo Nacional de Población (CONAPO), la Secretaría de Educación Pública (SEP)

y el Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática (INEGI). Con base en esta información, se elaboró la tabla de atributos como lo sugiere Bennett [37], con la información pertinente para la elaboración del modelo de riesgo antropogénico de las zonas urbanas del municipio de Ensenada, Baja California.

**Tabla 1.** Acrónimos, descripción operacional y expresión matemática de los diferentes indicadores

Acrónimo	Descripción	Expresión
SVI	Índice de vulnerabilidad social, que se asocia a la falta de recursos para mitigar o enfrentar el desastre o la falta de capacidad de la población para auto-recuperarse (número de personas menores de 14 años y mayores de 65)	DA: Ubicación del daño dentro de búfer ATA = Área Total del AGEB
PVI	Vulnerabilidad física, que se expresa en términos de la exposición a condiciones inseguras, donde la población de la zona de estudio está peligrosamente cerca de la fuente potencial de peligro	DA: Ubicación del daño dentro de búfer ATA = Área Total del AGEB
EnVI	Vulnerabilidad ambiental se define como la potencial degradación ambiental causada por el peligro. Puede ser calculada como la cantidad de contaminantes producidos por unidad de área	AP = Ventas anuales de gasolina PFP = Benceno emitido a la atmósfera en función de las ventas anuales de gasolina AT <sub>A</sub> = Área Total del AGEB
CIVI	Vulnerabilidad de las infraestructuras críticas como instalaciones educativas, hospitales, transporte, carreteras y trenes o segmentos de pista que se exponen a probables incendios relacionados con desastres	IC: Infraestructura importante en el búfer DA: Ubicación del daño dentro de búfer ATA = Total AGEB área
I/trabajo	Vulnerabilidad de los trabajadores dentro de la memoria intermedia cerca de las posibles fuentes de peligro	NT: Número de trabajadores en el búfer DA: Ubicación del daño dentro de búfer ATA = Área Total del AGEB
EscVI	Vulnerabilidad de los estudiantes dentro de la memoria intermedia cerca de las posibles fuentes de peligro	A: Población estudiantil en el búfer DA: Ubicación del daño dentro de búfer ATA = Área Total del AGEB

La determinación de las emisiones de BTEX se realizó mediante un factor de emisión, que se definió como el volumen de materia prima o combustible de un determinado contaminante emitido a la atmósfera [38]. Hoy en día existen diferentes fuentes de consulta para obtener un factor de emisión para determinado proceso, como lo recomienda la AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors [39, 40].

En el presente estudio, el riesgo se calculó mediante la estimación de la exposición, el peligro y la vulnerabilidad con una escala a nivel del Área Geoestadística Básica (AGEB). Para la evaluación se determinó una zona de amortiguamiento (búfer) de 300 m de radio [33, 41, 45], con lo cual fue posible la generación de mapas en SIG alrededor de cada ubicación de las ES. Al mapa de ES con su búfer se le han superpuesto capas con la información de la densidad poblacional que vive, estudia, trabaja o acude a las instalaciones, así como su valor económico. Los datos recogidos están representados con diversas unidades de medida necesarias para la evaluación de riesgos en los SIG.

Varias capas temáticas se crearon dentro del SIG con los diferentes parámetros y fenómenos, necesarios para estimar la exposición (E), peligro (H) y la vulnerabilidad (V), que se pueden atribuir a la fuga de vapores de gasolina.

Para la determinación del riesgo se utilizó la expresión DRI, la cual permite describir la gravedad del riesgo para un área de estudio. Se determina en función de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad, donde el peligro (H) se entiende como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o tecnológico potencialmente dañino, para un periodo específico y una localidad o zona conocidas [1], como es la exposición a vapores de gasolina; en cambio, la exposición (E) es la distribución de la población y bienes materiales que potencialmente son afectables por este peligro y si las condiciones de vulnerabilidad presentan variaciones en el territorio es posible determinar una distribución espacial del riesgo.

La vulnerabilidad abarca, según Blaikie [46], las características de una persona o grupo de ellas en relación con su capacidad de anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse de un desastre. La vulnerabilidad se refiere al potencial de que miembros de la población sean afectados y que sistemas económicos y socio-económicos estén interrumpidos cuando la infraestructura física sea destruida o dañada [47].

Para el cálculo de la vulnerabilidad social, se generaron mapas mediante la superposición de capas con los lugares de almacenamiento de combustible, su capacidad de almacenamiento, la densidad de población, la información sobre infraestructura crítica para la zona urbana como escuelas, hospitales, así como todo tipo de instalaciones que se utilizan para actividades económicas y sociales, y los edificios comerciales, donde la gente se aglomera.

El DRI, implementado por el Buró de Prevención de Crisis y Recuperación (BCPR, por sus siglas en inglés), del Programa para el Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD, por sus siglas en inglés), identifica la contribución relativa de la exposición a las amenazas y de los factores de vulnerabilidad frente al riesgo [48] (Ecuación 1).

$$DRI = \frac{H + E + V}{3}$$

Donde:

H = Peligro

E = Exposición

V = Vulnerabilidad

## Resultados

Se presentan a continuación los escenarios de peligro (H), exposición (E) y vulnerabilidad (V), tomando en consideración las expresiones.

### Peligro (H)

El peligro se define, en el contexto de la construcción de indicadores de riesgo, como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno físico, que puede poner en peligro vidas humanas o conducir a lesiones, daños a la propiedad o la degradación de los ecosistemas naturales. En el caso de la exposición a emisiones de BTEX por las gasolineras, para el mapa de peligro, que se muestra en la Figura 1, los valores H se calcularon con base en la cantidad de ventas anuales de productos de petróleo de las ES, en los diferentes lugares del área de estudio, en función de la probabilidad de ocurrencia y la intensidad del peligro que puede ocurrir. Con base en este principio se obtuvo la intensidad del peligro, mientras que los números de las ubicaciones de almacenamiento se utilizaron para calcular la probabilidad de ocurrencia del riesgo, en función de la ubicación física de la ES (Ecuación 2).

$$H = \frac{\text{Intensidad} \times \text{Probabilidad}}{AT}$$

Donde:

AT = Área total del AGEB

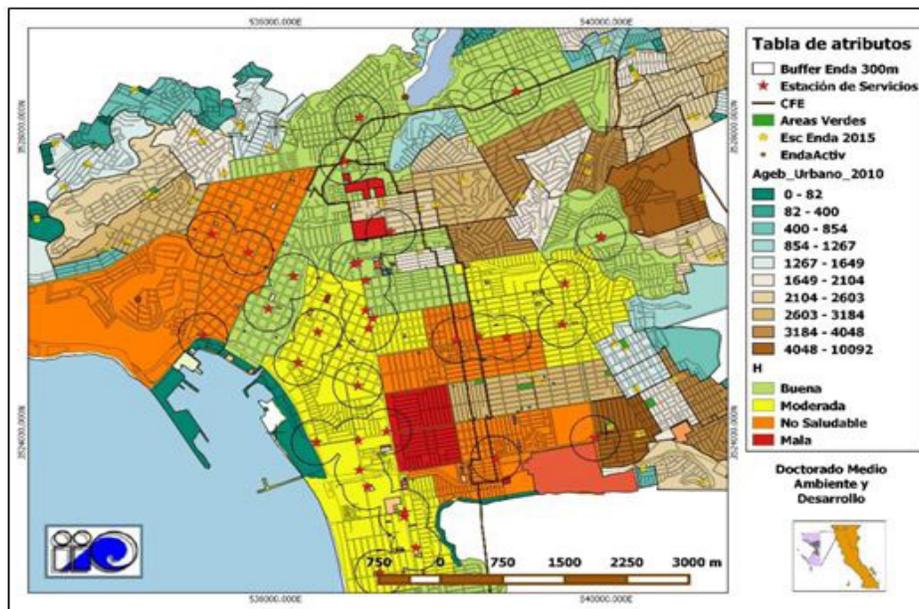


Figura 1. Mapa de peligro (H)

### Exposición (E)

La exposición se refiere a los activos expuestos a desastres, presentes en zonas de riesgo afectadas y sujetos a las pérdidas potenciales. La exposición es la medida de la exposición y puede incluir el número de personas o activos en un lugar o área específica (Figura 2).

La exposición se calcula como el número de personas por unidad de área de la zona de estudio, es decir, la densidad de población, calculado de la siguiente manera (Ecuación 3):

$$E = \frac{\text{Poblacion}}{AT}$$

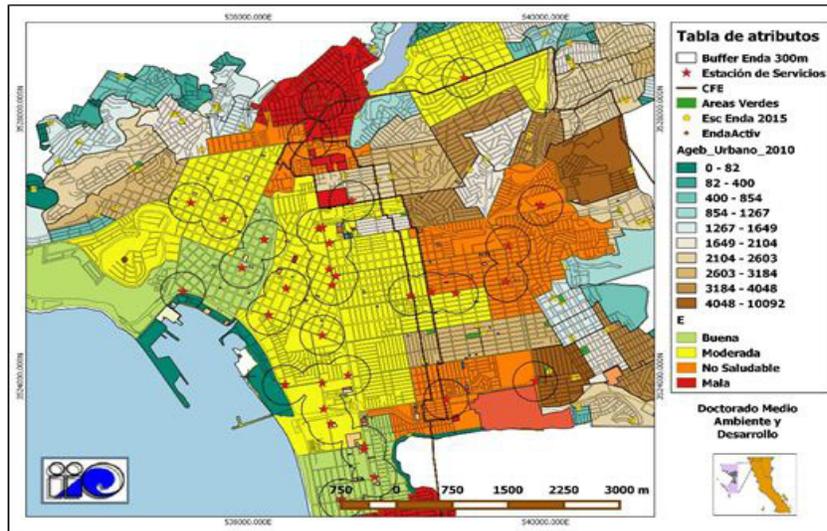


Figura 2. Mapa de exposición (E)

### Vulnerabilidad (V)

Se entiende como el grado de pérdida de un elemento o un grupo de elementos bajo riesgo, como resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, estimado en términos de vidas, bienes, productos o infraestructura, ubicadas en el área expuesta a peligro. En la realidad, la

estimación de estos valores de vulnerabilidad se realiza con base en diferentes unidades para diferentes tipos de peligro (Ecuación 4 y Figura 3).

$$V = \frac{SVI + PVI + EnVI + CIVI + IVWork + EscVI}{6}$$

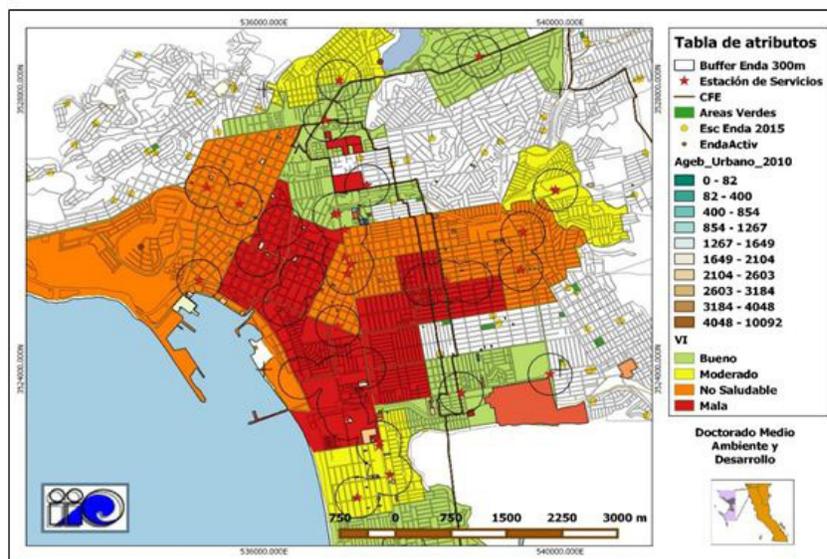


Figura 3. Vulnerabilidad (V)

### Índice de Vulnerabilidad Social (SVI)

La vulnerabilidad social se asocia a la falta de recursos para mitigar o hacer frente al desastre, o la población que carece de la capacidad de auto-recuperación (Ecuación 5 y Figura 4).

$$SVI = \frac{Población (14 > 0 < 65) \times DA}{AT}$$

Donde:  
 DA: Área afectada bajo la zona de amortiguamiento (búfer).  
 AT = Área total del AGEB

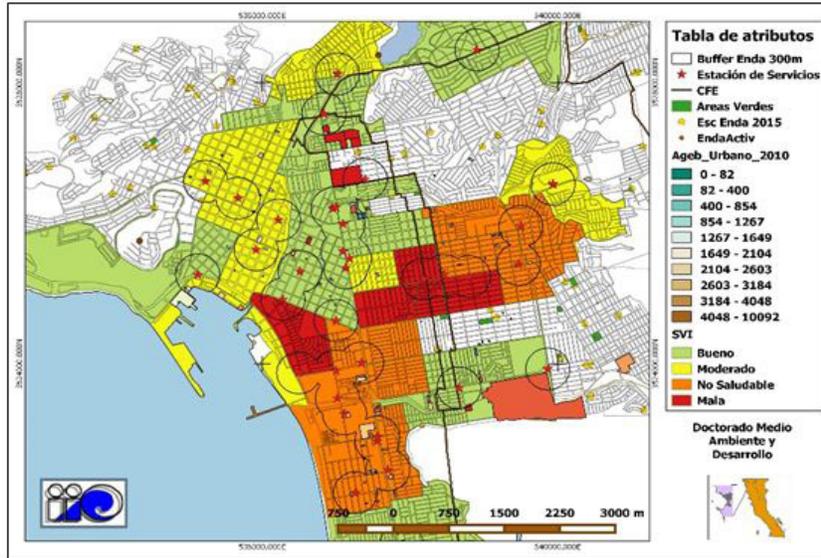


Figura 4. Índice de vulnerabilidad social (SVI)

### Vulnerabilidad Física (PVI)

La vulnerabilidad física se expresa en términos de exposición a condiciones inseguras, donde la población de la zona de estudio se encuentra

peligrosamente cerca de la fuente potencial de amenaza (Ecuación 6 y Figura 5).

$$PVI = \frac{Poblacion \times DA}{AT}$$

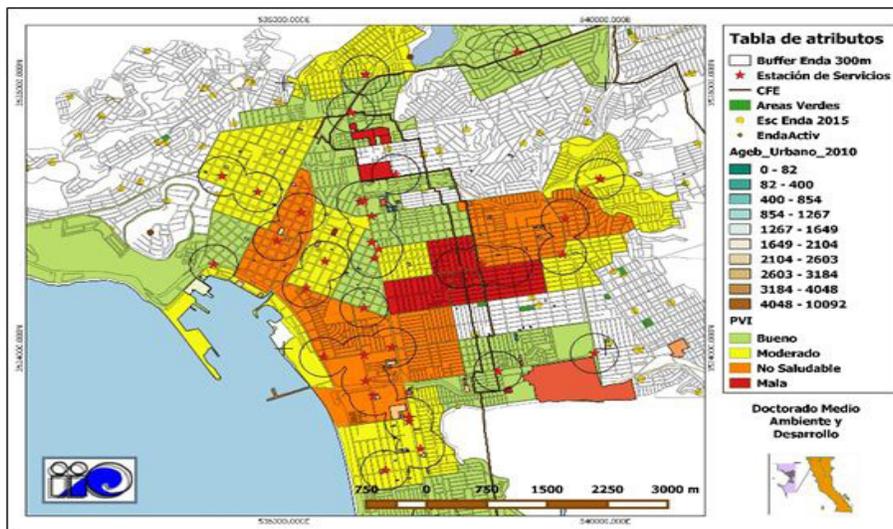


Figura 5. Índice de vulnerabilidad física (PVI)

**Vulnerabilidad Ambiental (EnVI)**

Vulnerabilidad ambiental se define como el potencial de degradación ambiental debido a la existencia de un peligro. Se puede calcular como la cantidad de contaminantes producidos por unidad de superficie (Ecuación 7, Figura 6).

Donde:  
 AP = Venta de gasolina anual  
 PFP = Cantidad de benceno emitido a la atmósfera por venta de gasolina anual

$$EnVI = \frac{AP \times PFP}{AT}$$

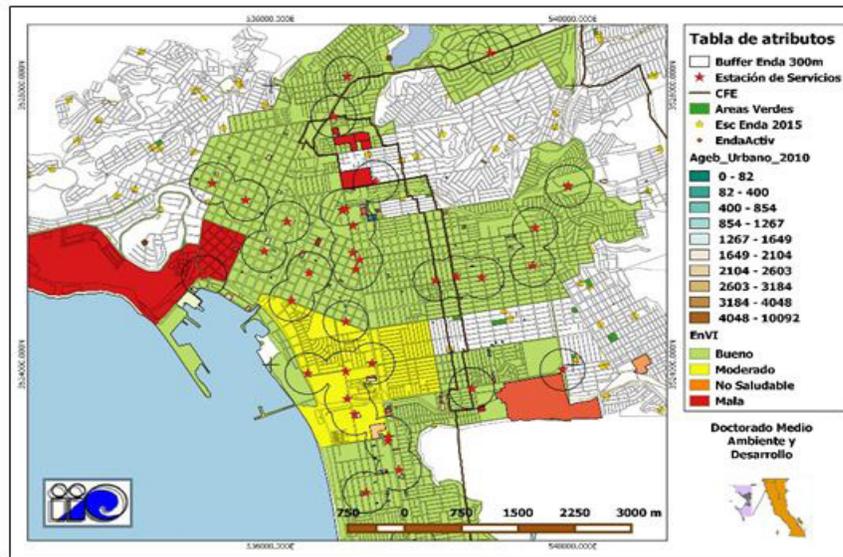


Figura 6. Índice de vulnerabilidad ambiental (EnVI)

**Vulnerabilidad de Infraestructuras Críticas (CIVI)**

Los elementos críticos de la infraestructura donde la gente se aglomera, como instalaciones educativas, hospitales, medios de transporte, los segmentos de carretera y ferrocarril que están expuestos a los desastres (Ecuación 8, Figura 7).

$$CIVI = \frac{\text{No. de infraestructura crítica en el buffer} \times DA}{AT}$$

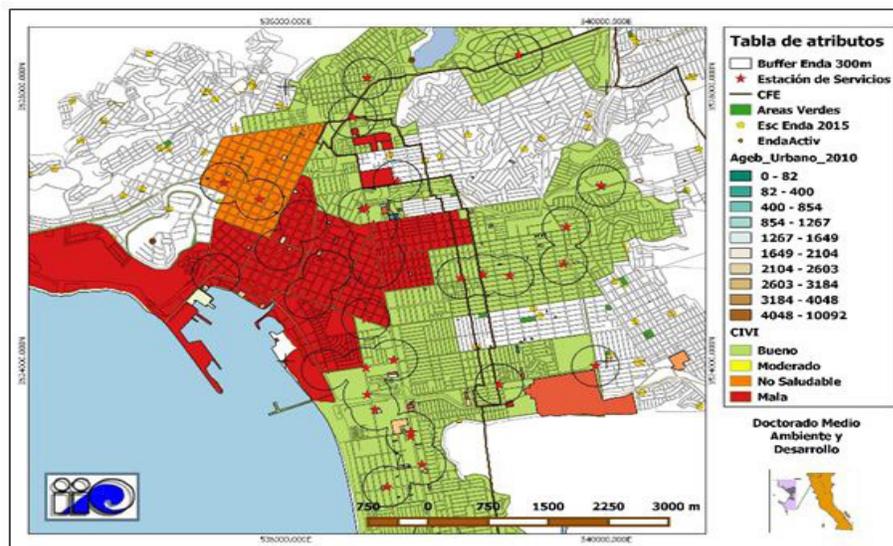


Figura 7. Índice de vulnerabilidad de Infraestructuras (CIVI)

### Vulnerabilidad de los trabajadores ( $IV_{trabajo}$ )

La vulnerabilidad de trabajadores dentro de la zona de amortiguamiento cerca de las fuentes potenciales de amenaza (Ecuación 9 y Figura 8).

$$IV_{trabajo} = \frac{\text{No. de trabajadores dentro del buffer } X \text{ DA}}{AT}$$

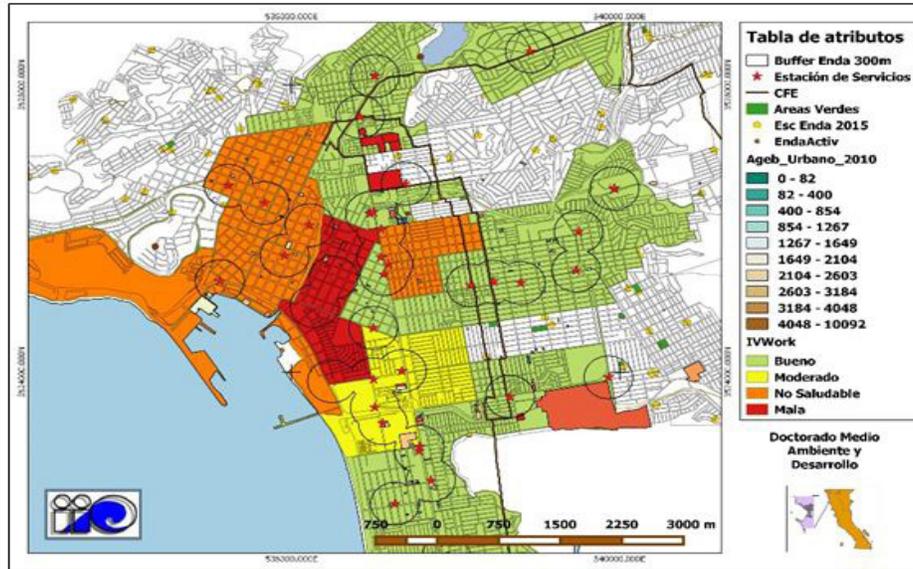


Figura 8. Índice de vulnerabilidad de trabajadores ( $IV_{trabajo}$ )

### Vulnerabilidad de los estudiantes (EscVI)

La vulnerabilidad de estudiantes dentro de la zona de amortiguamiento cerca de las fuentes potenciales de amenaza (Ecuación 10 y Figura 9).

$$EscVI = \frac{\text{Alumnado dentro del buffer } X \text{ DA}}{AT}$$

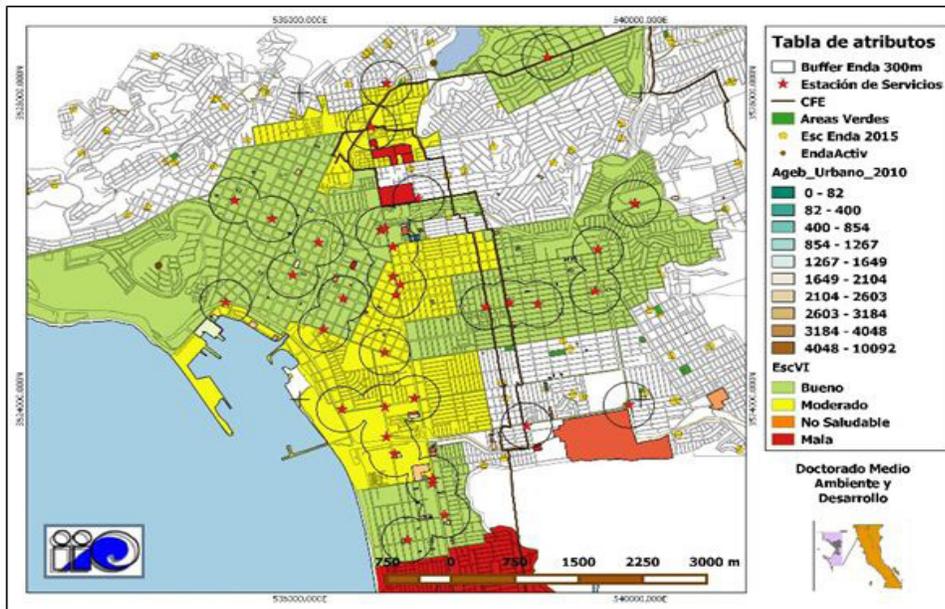


Figura 9. Índice de vulnerabilidad de estudiantes (EscVI)

Además de tener en cuenta la población actualmente expuesta, como por ejemplo los trabajadores de los centros educativos que se encuentran laborando durante el día, de forma casi continua, desde las siete de la mañana hasta las ocho de la noche, teniendo en cuenta las pautas de movilidad y aglomeración de la mayoría de los residentes dentro de la zona urbana, es probable que solo una porción muy pequeña de ellos en realidad trabajen dentro de la misma AGEB en la que pernoctan, cuya capacidad de respuesta ante una potencial exposición es limitada.

En cada indicador se determina un coeficiente de ponderación para representar su relativa contribución al riesgo. Los coeficientes de ponderación para el DRI se determinan por medio de una evaluación subjetiva directa, realizada por los que apliquen esta metodología (Figura 10). Se observa la zona donde se localizarán las viviendas y, de forma superpuesta, las áreas de influencia de las actividades potencialmente peligrosas, como las de las personas que laboran dentro del AGEB y de la presencia de escuelas con un alto número de alumnado.

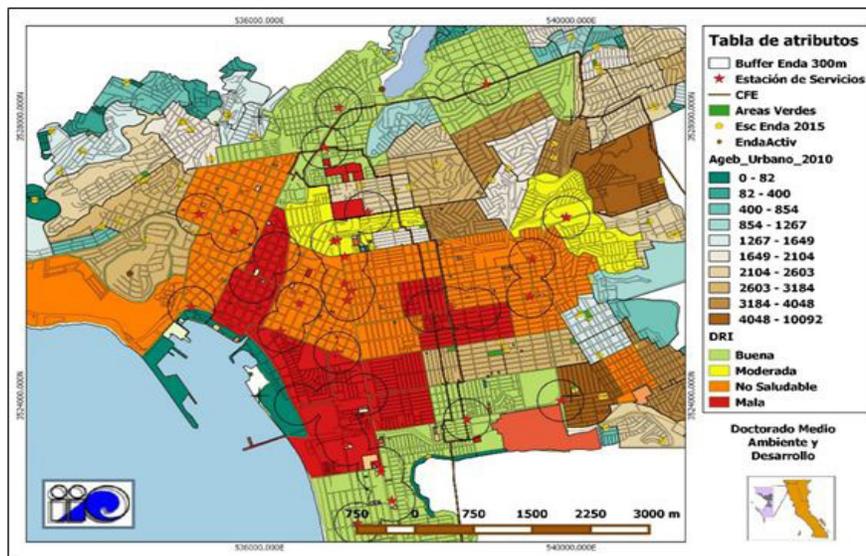


Figura 10. Coeficientes de ponderación para el Índice de Riesgo de Desastre (DRI)

Para hacer frente a las discrepancias en los riesgos sanitarios asociados a la contaminación del aire en el ambiente, para los grupos vulnerables a compuestos orgánicos volátiles (COV's), este trabajo permite identificar las áreas afectadas por la contaminación del aire en la comunidad y la exposición personal en la zona urbana de Ensenada, los riesgos a la salud estimados resultantes de dos compuestos orgánicos volátiles emitidos localmente, benceno y etilbenceno, como efectos neurológicos y respiratorios resultantes por benceno, tolueno, xilenos (BTEX) que exceden los parámetros de riesgo de la EPA [49] en las diferentes comunidades.

Estos hallazgos hicieron hincapié en la necesidad de abordar la disparidad en los riesgos de salud

asociados con la contaminación del aire ambiente, para los grupos desfavorecidos. Este estudio también demostró que los puntos de mayor deterioro de la calidad del aire por contaminación del aire, denominados “puntos calientes”, pueden proporcionar configuración robusta para investigar los efectos para la salud de la contaminación atmosférica, resultado de la incorporación de instalaciones urbanas que generan aglomeración de personas [50].

Los resultados obtenidos ofrecen una primera aproximación a la problemática del territorio, y pueden servir para fijar las futuras intervenciones de prevención y planificación de la autorización de ES, como se muestra en la infografía (Figura 11).

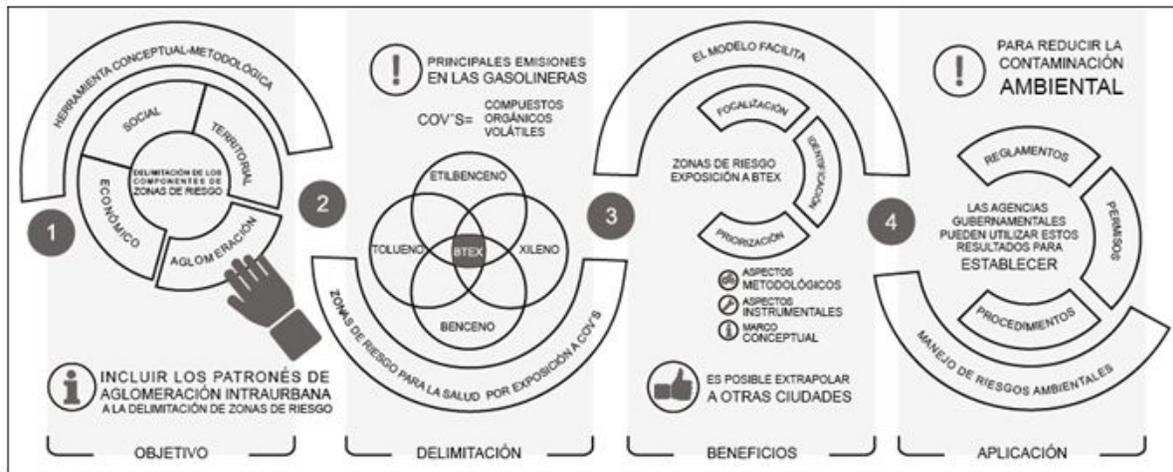


Figura 11. Aglomeraciones urbanas en la estimación de escenarios de riesgo sanitario por emisiones de BTEX

Fuente: elaboración propia

Discusión y conclusiones.<sup>[27]</sup> A partir del análisis espacial y del análisis semántico, considerados al seleccionar la ubicación de la ES, se pueden extraer las principales valoraciones del riesgo, en relación con la vulnerabilidad de la población para, de esta manera, obtener un listado de los objetos geográficos por su grado de vulnerabilidad, dependiendo del tipo y magnitud de los parámetros de contaminación ambiental. Adicionalmente, cuando se cuenta con información acerca de la ubicación de construcciones próximas a las fuentes puntuales de emisión, en este caso ES como escuelas, centros de trabajo u hospitales, y el número de personas que concurren a dichas construcciones – alumnos, empleados, pacientes–, es posible calcular la vulnerabilidad de manera más precisa, ya que con esta información es factible calcular índices compuestos para los tres factores principales que contribuyen al riesgo. Todos los indicadores que tienen alguna relación con el peligro se ensamblan mediante una combinación lineal para conformar el índice de peligro.

En las figuras 1, 2 y 3 se muestran los tres diferentes indicadores para la obtención del riesgo. Cada uno de estos eventos tiene un radio de afectación diferente y también afecta a diferentes objetos geográficos, aunque, como se observa, el radio de afectación a la población susceptible por la inhalación de vapores de gasolina (BTEX) varía en función de los parámetros calculados para cada variable. Esto permitirá identificar la casa cercana a la exposición y, posteriormente, lugares como escuelas, hospitales y centros de reunión, hasta los últimos lugares, como la industria.

Puesto que las listas obtenidas nos indican los sitios exactos donde se debe priorizar la atención y donde la población afectada es mayor en caso de algún evento,

esto permitirá identificar las zonas en las que reside un número significativo de personas que laboran con un grado de vulnerabilidad muy alto. Para obtener los valores relativos de los indicadores, se deben normalizar conforme a los máximos, mínimos, medias y desviaciones estándar. La normalización de los valores tiene como propósito eliminar la influencia de las unidades de los indicadores, haciendo que todos los indicadores sean estables con respecto a sus unidades, magnitudes y dispersiones.

Hay un proceso de aumento de la densidad poblacional en las zonas urbanas, debido a que las personas dejan sus lugares de origen y se mudan a otros diferentes, por razones económicas y no únicamente dentro del perímetro urbano. Puede que encuentren condiciones ambientales que constituyan una amenaza para su salud, por la exposición a diferentes contaminantes.

El manejo de un sistema con una base de datos con información geográfica transparente, integral y actualizada, debe incluir indicadores de resultados de desarrollo urbano a nivel local, regional, estatal y federal para planear intervenciones, así como para evaluar y monitorear sus impactos en la mancha urbana, ayudando a una provisión más rápida y precisa de los servicios públicos, que permita una mejor valoración de los riesgos ambientales.

Los tomadores de decisión del desarrollo urbano pueden usar estos sistemas para determinar y visualizar el punto deseable de crecimiento urbano, calcular los costos de nueva infraestructura urbana e identificar áreas con necesidad de servicios públicos. La información clara y accesible al suelo es clave para que el sector público y la iniciativa privada tengan las herramientas necesarias

para incentivar la densificación urbana, permitiendo establecer y controlar los límites de la expansión urbana y así planear el crecimiento de la ciudad, permitiendo el seguimiento a las políticas públicas al generar transparencia en el Gobierno y confianza en las instituciones públicas, donde los ciudadanos pueden participar en debates públicos alrededor del cómo y hacia dónde debe crecer la ciudad.

El principal reto de los procesos de movilidad y aglomeración intraurbana es el rápido crecimiento urbano, debido a las altas tasas de migración y la proliferación de asentamientos irregulares, así como la falta de conectividad entre las diferentes instituciones académicas que recolectan datos y los gobiernos municipal, estatal y federal, dando lugar a que la información permanezca disgregada o sea difícil de encontrar.

## Referencias

- 1 Ferrier N, Haque CE. Hazards Risk Assessment Methodology for Emergency Managers: A Standardized Framework for Application. *Nat Hazards* 2003; 28(2-3): 271-290.
- 2 Gaviria CF, Muñoz JC, González GJ. Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos: un caso de estudio para el centro de Medellín. *Rev Fac Nac Salud Pública* [revista en Internet] 2012 septiembre-diciembre [Acceso 15 de abril de 2016]; 30(3): 316-327. Disponible en: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=669245&indxSearch=ID>
- 3 Gulland A. One in Eight Deaths Is Due to Air Pollution, Says WHO. *Bmj* [revista en Internet] 2014 [Acceso 20 de junio de 2016]; 348: g2379. Disponible en: <http://www.bmj.com/content/348/bmj.g2379>
- 4 Stewart BW, Wild CP. World Cancer Report 2014. [Internet] Geneva: World Health Organization; 2014 [Acceso 5 de mayo de 2016]. Disponible en: <http://publications.iarc.fr/Non-Series-Publications/World-Cancer-Reports/World-Cancer-Report-2014>
- 5 Venkatesan P. WHO Report: Air Pollution Is a Major Threat to Health. *Lancet Respir Med* [revista en Internet] 2016 may. [Acceso 13 de Julio de 2016]; 4(5): 351. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S2213-2600\(16\)30014-5](http://dx.doi.org/10.1016/S2213-2600(16)30014-5)
- 6 Wilbur S, Williams M, Williams R, Scinicariello F, Klotzbach JM, Diamond GL, *et al.* Toxicological Profile for Carbon Monoxide. *US Agency Toxic Subst Dis Regist* 2012; 1-347.
- 7 Periago JF, Zambudio A, Prado C. Evaluation of Environmental Levels of Aromatic Hydrocarbons in Gasoline Service Stations by Gas Chromatography. *J Chromatogr A* 1997; 778(1-2): 263-268.
- 8 Haro-García L, Vélez-Zamora N, Aguilar-Madrid G, Guerrero-Rivera S, Sánchez-Escalante V, Muñoz SR, *et al.* Alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos ocupacionalmente a mezcla de benceno-tolueno-xileno (BTX) en una fábrica de pinturas. *Rev Peru Med Exp Salud Pública* 2012; 29(2): 181-187.
- 9 IARC. IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Some Industrial Chemicals and Dyestuffs. Volume 29. [monograph on Internet]. Geneva: World Health Organization; 1982 [Acceso 14 de marzo de 2017] Disponible en: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol1-42/mono29.pdf>
- 10 Pla-Martínez A. Toxicidad de los disolventes. En: Gil-Hernández F, editor. *Tratado de Medicina del Trabajo*. 2ª ed. Barcelona: Elsevier-Masson; 2012. Págs. 759-760.
- 11 Lovreglio P, D'Errico MN, Fustinoni S, Drago I, Barbieri A, Sabatini L, *et al.* Assessment of Environmental Exposure to Benzene: Traditional and New Biomarkers of Internal Dose. En: Popović D, editor. *Air Quality-Models and Applications*. InTech; 2011. Pág. 376. DOI: 10.5772/16915
- 12 Chen R, Semple S, Dick F, Seaton A. Nasal, Eye, and Skin Irritation in Dockyard Painters. *Occup Environ Med* 2001; 58(8): 542-543.
- 13 Kaufman DW, Anderson TE, Issaragrisil S. Risk Factors for Leukemia in Thailand. *Ann Hematol* 2009; 88(11): 1079-1088.
- 14 Richardson DB. Temporal Variation in the Association between Benzene and Leukemia Mortality. *Environ Health Perspect* 2008; 116(3): 370-374.
- 15 Smith MT, Jones RM, Smith AH. Benzene Exposure and Risk of Non-Hodgkin Lymphoma. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* [revista en Internet] 2007 march. [Acceso 14 de marzo de 2017]; 16(3): 385-391. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17337645>
- 16 Collins J, Ireland B, Buckley C, Shepperly D. Lymphohaemopoietic Cancer Mortality Among Workers with Benzene Exposure. *Occup Environ Med* [revista en Internet]. 2003 september. [Acceso 13 de Julio de 2016 ]; 60(9): 676-679. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1740628&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- 17 Hayes RB, Yin SN, Dosemeci M, Li GL, Wacholder S, Travis LB, *et al.* Benzene and the Dose-Related Incidence of Hematologic Neoplasms in China. Chinese Academy of Preventive Medicine-National Cancer Institute Benzene Study Group. *J Natl Cancer Inst* 1997; 89(14): 1065-1071.
- 18 Rinsky RA, Hornung RW, Silver SR, Tseng CY. Benzene Exposure and Hematopoietic Mortality: A Long-Term Epidemiologic Risk Assessment. *Am J Ind Med* 2002; 42(6): 474-480.
- 19 Kipen HM, Cody RP, Crump KS, Allen BC, Goldstein BD. Hematologic Effects of Benzene: A Thirty-Five Year Longitudinal Study of Rubber Workers. *Toxicol Ind Health* 1988; 4(4): 411-430.
- 20 Bollati V, Baccarelli A, Hou L, Bonzini M, Fustinoni S, Cavallo D, *et al.* Changes in DNA Methylation Patterns in Subjects Exposed to Low-Dose Benzene. *Cancer Res* 2007; 67(3): 876-880.
- 21 Akland GG, Schwab M, Zenick H, Pahl D. An Interagency Partnership Applied to the Study of Environmental Health in the Lower Rio Grande Valley of Texas. *Environ Int* 1997; 23(5): 595-609.
- 22 Clayton CA, Pellizzari ED, Whitmore RW, Perritt RL, Quackenboss JJ. National Human Exposure Assessment Survey (NHEXAS): Distributions and Associations of Lead, Arsenic and Volatile Organic Compounds in EPA Region 5. *J Expo Anal Environ Epidemiol* [revista en Internet] 1999 september-october. [Acceso 10 de Julio de 2016]; 9(5): 381-392. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10554141>
- 23 Cohen MA, Ryan PB, Yanagisawa Y, Spengler JD, Ozkaynak H, Epstein PS. Indoor/Outdoor Measurements of Volatile Organic Compounds in the Kanawha Valley of West Virginia. *JAPCA* 1989; 39(8): 1086-1093.
- 24 Kinney PL, Chillrud SN, Ramstrom S, Ross J, Spengler JD. Exposures to Multiple Air Toxics in New York City. *Environ Health Perspect* 2002; 110 (Suppl 4): 539-546.

- 25 Periago JF, Prado C. Evolution of Occupational Exposure to Environmental Levels of Aromatic Hydrocarbons in Service Stations. *Ann Occup Hyg* 2005; 49(3): 233-240.
- 26 Little S, Cram G. Atmospheric Benzene Concentrations Near Petrol Service Stations in Middlesbrough. *Clean Air* 1995; 25(3): 140-147.
- 27 US/EPA. Health and Environmental Effects Profile for Pyrene [Internet]; 1990. [Acceso 13 de agosto de 2016]. Disponible en: [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris\\_drafts/recordisplay.cfm?deid=50309](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/recordisplay.cfm?deid=50309)
- 28 Weisel CP. Assessing Exposure to Air Toxics Relative to Asthma. *Environmental Health Perspectives* 2002; 110(Suppl 4): 527-537.
- 29 Bahrami AR, Joneidi Jafari A, Ahmadi H, Mahjub H. Comparison of Benzene Exposure in Drivers and Petrol Stations Workers by Urinary Trans, Trans-Muconic Acid in West of Iran. *Ind Health* 2007; 45(3): 396-401.
- 30 Tunsaringkarn T, Siriwong W, Rungsiyothin A, Nopparatbundit S. Occupational Exposure of Gasoline Station Workers to BTEX Compounds in Bangkok, Thailand. *Int J Occup Environ Med* 2012; 3(3): 117-125.
- 31 Hartle R. Exposure to Methyl Tert-Butyl Ether and Benzene Among Service Station Attendants and Operators. *Environmental Health Perspectives* 1993; 101(Suppl 6): 23-26.
- 32 Campos A. Algunas consideraciones sobre los mapas de riesgo. CRID/Bibliodes [revista en Internet] 2002 octubre. [Acceso 21 de abril de 2016]; 30. Disponible en: [http://www.cridlac.org/esp\\_ser\\_bibliodes\\_30.shtml](http://www.cridlac.org/esp_ser_bibliodes_30.shtml)
- 33 Morales Terrés IM, Miñarro MD, Ferradas EG, Caracena AB, Rico JB. Assessing the Impact of Petrol Stations on Their Immediate Surroundings. *J Environ Manage* 2010; 91(12): 2754-2762.
- 34 Ruchirawat M, Navasumrit P, Settachan D. Exposure to Benzene in Various Susceptible Populations: Co-Exposures to 1, 3-Butadiene and PAHs and Implications for Carcinogenic Risk. *Chem Biol Interact* 2010; 184(1-2): 67-76.
- 35 Torres A, Espinosa G, Ilizaliturri C, González DJ, Razo I, Mejía J, *et al.* Desarrollo de una metodología para la evaluación integrada de riesgos ambientales en sitios peligrosos de México [Internet]. México D.F: INE; 2005 [Acceso 14 de marzo de 2016]. Disponible en: <http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anejos/85000-89999/85854/norma.htm>
- 36 Zepeda M, González S. Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana [Internet]. México D.F: Centro Nacional de Prevención de Desastres; 2001. [Acceso 03 de abril de 2016]. Disponible en: [http://www.acapulco.gob.mx/proteccioncivil/fasciculos/Fasc\\_Peligros\\_Mexico.pdf](http://www.acapulco.gob.mx/proteccioncivil/fasciculos/Fasc_Peligros_Mexico.pdf)
- 37 Bennett DA. Framework for the Integration of Geographical Information Systems and Modelbase Management. *Int J Geogr Inf Sci* 1997; 11(4):337-357.
- 38 US EPA. Air Quality Index. A Guide to Air Quality and Your Health [revista en Internet] 2003 august [Acceso 05 de febrero de 2016]. Disponible en: [http://www.njaqinow.net/App\\_AQI/AQI.en-US.pdf](http://www.njaqinow.net/App_AQI/AQI.en-US.pdf)
- 39 Neulicht R, Shular J. Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Volume I: Stationary Point and Area Sources [Internet]; 1995 [Acceso 05 de febrero de 2016]. Disponible en: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s05.pdf>
- 40 EPA U. Compilation of Air Pollutant Emission Factors Fifth Edition Volume I Part 3 [Internet]; 1995 [Acceso 10 de Julio de 2016]. Available in: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/20014AJY.PDF?Dockey=20014AJY.PDF>
- 41 Silva FLDN, Dos Santos JR, Neto JMM, Da Silva RLGDNP, Flumignan DL, De Oliveira JE. Determinação de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos em gasolina comercializada nos postos do estado do Piauí. *Quim Nova* 2009; 32(1): 56-60.
- 42 Santos Mdos A, Távora BE, Koide S, Caldas ED. Human Risk Assessment of Benzene After a Gasoline Station Fuel Leak. *Rev Saude Publica* 2013; 47(2): 335-344.
- 43 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. *Atmos Environ* 2007; 41(9): 1889-1902.
- 44 Correa SM, Arbilla G, Marques MRC, Oliveira KMPG. The Impact of BTEX Emissions from Gas Stations Into the Atmosphere. *Atmos Pol Res [revista en Internet]* 2012 [Acceso 03 de mayo de 2016]; 3(2):163-169. DOI: 10.5094/APR.2012.016
- 45 Hystad P, Setton E, Cervantes A, Poplawski K, Deschenes S, Brauer M, *et al.* Creating national air pollution models for population exposure assessment in Canada. *Environ Health Perspect* 2011; 119(8): 1123-1129.
- 46 Blaikie P, Cannon T, Davis I, Wisner B. At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters. 2ª ed. Routledge: Nueva York; 2013.
- 47 Salazar JE, Vélez IC. Índice de Riesgo Sísmico Urbano. *Sci Tech* 2003; 1(21): 163-168.
- 48 United Nations. International Strategy for Disaster Reduction Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations. *World Conf Disaster Reduct* 2005; 25.
- 49 Gaviria CF, Benavides PC, Tangarife CA. Contaminación por material particulado (PM2,5 y PM10) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). *Rev Fac Nac Salud Pública* 2011; 29(3): 241-250.
- 50 Muñoz AM, Paz JJ, Quiroz CM. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud de adultos que laboran en diferentes niveles de exposición. *Rev Fac Nac Salud Pública [revista en Internet]* 2007 julio [Acceso 13 de abril de 2016]; 25(2): 85-94. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-386X2007000200010&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-386X2007000200010&script=sci_abstract&tlng=es)