

RIESGO QUÍMICO: POBLACIÓN EXPUESTA A AMONIACO EN MEXICALI

Judith LEY GARCÍA^a, Fabiola Maribel DENEGRI DE DIOS^b, Manuela ROJO GONZÁLEZ^c

^{a,b,c} Universidad Autónoma de Baja California, Campus Mexicali. Edificio de Investigación y posgrado, 3er piso, Unidad Universitaria, C.P. 21280, Mexicali, Baja California, México. email: jley@uabc.edu.mx

RESUMEN

El objetivo de este documento es mostrar algunos resultados preliminares de la estimación del riesgo químico en la ciudad de Mexicali. Si bien, el perfil químico de Mexicali abarca más de diez sustancias peligrosas, como primer paso, este trabajo identifica el nivel de exposición urbana a amoniaco. Para lograr tal objetivo se realizó la simulación de la fuga de esta sustancia en las instalaciones de alta peligrosidad localizadas en la ciudad para las condiciones atmosféricas críticas y, a partir de los radios de afectación resultantes, se estimó el total de población y equipamiento expuestos.

Palabras clave: Riesgo químico, análisis de riesgo, exposición a amoniaco, Mexicali.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to show some preliminary results of the estimation of chemical risk in the city of Mexicali. Although the chemical profile of Mexicali includes more than ten hazardous substances, as a first step, this paper identifies the urban exposure level to ammonia. To achieve this goal, we simulated the leak of this substance in hazardous installations located in the city, considering critical weather conditions and, we use the resulting radius to estimate total population and equipment exposure.

Keywords:- Chemical risk, risk analysis, exposure to ammonia, Mexicali.

1 INTRODUCCIÓN

Los peligros químicos o químico-tecnológicos están asociados al almacenamiento, transporte, uso y manejo de materiales que poseen la capacidad de dañar, como lo son las sustancias identificadas como corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas e inflamables (CRETI), cuya liberación puede derivar en distintos tipos y niveles de daño a la salud humana, el ambiente o los recursos naturales (LGEEPA, 1988). Estas sustancias se encuentran disponibles en todo el planeta, sin embargo, por las cantidades en que se manejan en las instalaciones de algunas actividades económicas urbanas (comercio e industria), los eventos químicos (explosiones, incendios, derrames y fugas) que las liberan pueden abarcar amplios radios de afectación, provocando mayores pérdidas y daños que el resto de las actividades urbanas.

En la literatura especializada en la materia, el riesgo químico representa “la probabilidad de que produzcan efectos adversos como resultado de la exposición a sustancias químicas” (INE, 1997:14) y LaGrega, Buckingham y Evans (1996) lo sintetizan de la siguiente manera: *Riesgo = Exposición (magnitud) x Peligro (Intensidad)*, trasladando lo anterior al contexto urbano podemos decir que la probabilidad de afectación o daño de la población urbana es producto de la peligrosidad de la sustancia involucrada y de la magnitud o nivel de exposición de la población.

En la escala urbana, las sustancias CRETÍ son peligrosas cuando se manejan o almacenan en cantidades tales que, al liberarse, pueden causar daños y afectaciones más allá de la instalación. Por este motivo, el primer paso en la estimación del riesgo químico urbano es la caracterización del nivel de exposición de la población, lo cual resulta

información básica para precisar los recursos y equipos de respuesta, los esquemas de coordinación, los procedimientos de evacuación y las estrategias de comunicación del riesgo, entre otras cosas, incluidos en los planes de emergencia y programas de mitigación de desastres (EPA y Semarnat, 2009; Segob, s.f.). El nivel de exposición es información clave en ciudades con alta concentración de población y de instalaciones peligrosas, donde se presentan mezclas entre los usos de suelo habitacional y productivos que pueden resultar incompatibles, incrementando el riesgo de desastre, como es el caso de la ciudad de Mexicali (Ley *et al.*, 2011).

1.1. PERFIL QUÍMICO DE MEXICALI

La ciudad de Mexicali surgió a principios del siglo XX como una localidad asentada en un extenso valle agrícola y se desarrolló vinculada estrechamente a la agricultura local hasta los años sesenta, cuando inició el proceso de industrialización de la frontera norte de México. Este proceso se intensificó en décadas subsecuentes hasta consolidar un complejo sector industrial en Mexicali que, en términos de riesgo, implica actualmente la diversificación y concentración urbana de instalaciones altamente peligrosas (Ley, 2011).

El perfil químico de Mexicali, derivado de la actividad económica local (industrial, agrícola y de servicios), es producto de la presencia de plantas industriales de los giros metal-mecánica y eléctrica-electrónica, de plantas donde se fabrican alimentos, hielo, bebidas, químicos y agroquímicos, de empresas comercializadoras de gas y dedicadas al manejo de residuos peligrosos. En conjunto, existen 49 instalaciones en donde se lleva a cabo el manejo de grandes cantidades de los siguientes gases y líquidos tóxicos e inflamables: amoníaco, cloro, acetileno, ácido nítrico, gasolina y gas LP. (Ley *et al.*, 2011). Sin embargo, algunas sustancias tienen más presencia en la ciudad que otras, como sucede con el amoníaco, el cual se maneja o almacena en más de una tercera parte de las instalaciones peligrosas (ver figura 1), ya sea para la fabricación de agroquímicos o como refrigerante en la producción de alimentos, hielo y bebidas.

El amoníaco (NH₃) es un gas licuado comprimido, corrosivo y de toxicidad mediana que, por inhalación, ingestión o contacto, puede provocar la destrucción de tejidos vivos y la intoxicación de las personas expuestas (Cenapred, 2004), por lo que no sólo es una sustancia fundamental del perfil químico de Mexicali, sino también constituye una de las principales amenazas químicas del lugar, a la que se encuentran expuestos principalmente los habitantes de las zonas próximas a las plantas donde se almacena dicha sustancia.

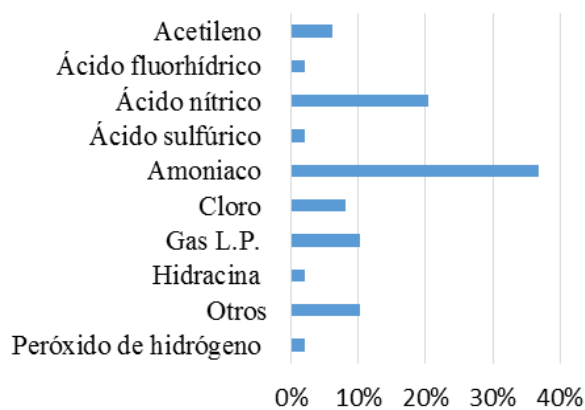


Figura 1. Instalaciones peligrosas en la ciudad de Mexicali por tipo de sustancia manejada.

Por lo anterior, el objetivo de este documento es llevar a cabo un primer acercamiento al riesgo químico en la ciudad de Mexicali a partir de explorar la magnitud o nivel de exposición de la población a amoníaco.

2 MÉTODO

Para identificar la población expuesta a amoníaco se realizó en tres fases: A) el inventario de las instalaciones peligrosas por amoníaco, B) el trazo de las plumas de dispersión del contaminante y C) la estimación de la cantidad de personas y equipamientos expuestos en tales zonas.

A) El inventario de instalaciones peligrosas se integró a partir de la base de datos del Atlas de riesgos municipal (Ley *et al.*, 2011) y la verificación en campo. En esta fase se registró la localización de la empresa, la cantidad de

amoniaco que almacena y las características del tanque de almacenamiento.

B) Para el trazo de las plumas de dispersión de la sustancia a partir de la instalación peligrosa se realizaron simulaciones de fugas de sustancias en el programa ALOHA 5.4.4. (EPA y NOAA, 2013). Para ello fue necesario establecer: B1) el evento que libera la sustancia, B2) el criterio toxicológico, B3) las condiciones atmosféricas críticas que llevan a una mayor distancia de afectación y; B4) realizar la simulación para cada una de las instalaciones peligrosas.

B1) El incidente que se planteó fue el más común o probable en estos casos, es decir, una falla en la unión de la válvula localizada en la parte superior del tanque de almacenamiento, sin que se presente el derrame de la sustancia, explosión o incendio.

B2) Como criterio toxicológico se tomó el nivel de referencia de exposición aguda o AEGL (Acute Exposure Guideline Levels) más crítico. Estos niveles establecen el riesgo a humanos resultado de una sola exposición (o rara) a químicos en el aire (NRC, 2001). El nivel seleccionado (AEGL3) representa la concentración en el aire (ppm) por encima de la cual se prevé que la población muera o experimente efectos en la salud que amenazan la vida, la cual para el amoniaco es de 1100 ppm en 60 minutos (ver tabla 1).

Tabla 1. Niveles de referencia de exposición aguda (AEGL) para amoniaco.

Nivel	Concentración (ppm)	Efecto
AEGL1	30	Molestias, irritación o efectos transitorios.
AEGL2	160	Efectos adversos duraderos a la salud.
AEGL3	1100	Muerte o efectos a la salud que amenazan la vida.

B3) Las condiciones ambientales críticas del lugar se obtuvieron realizando 24 simulaciones de fuga de amoniaco en una instalación (Bebidas 1). Es decir, se llevó a cabo la simulación de la fuga en cada mes del año en escenario diurno y nocturno. Para ello se calcularon los promedios mensuales de

la velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad y estabilidad atmosférica, a partir de los datos registrados en el período 2005-2011 en la estación meteorológica del Instituto de Ingeniería de la UABC.

B4) Con las condiciones atmosféricas críticas y el tipo de evento seleccionado, se llevó a cabo la simulación del resto de instalaciones peligrosas. Así se obtuvieron las distancias del radio que abarca el AEGL3 para cada caso, según la cantidad de sustancia y el tipo de tanque utilizado en cada una de ellas.

C) Para identificar la población y el equipamiento expuestos se realizó la superposición de los radios de afectación (obtenidos en la fase B) a la cartografía censal urbana del INEGI (2010) y el censo económico del INEGI (2009).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones atmosféricas críticas derivadas de las 24 simulaciones de fuga de amoniaco en la empresa Bebidas 1, son aquellas que se presentaron en el mes de marzo en el período nocturno (ver tabla 2), caracterizadas por una ligera inestabilidad atmosférica, con vientos provenientes del norte con velocidad promedio de 2.558 nudos, temperatura promedio de 16.1 °C y 56% de humedad relativa. A pesar de que el amoniaco es más ligero que el aire, las condiciones atmosféricas del lugar y las características del evento que libera la sustancia, hicieron más apropiada la aplicación de un modelo de dispersión aérea de gases pesados para las instalaciones peligrosas de la ciudad (consultar Casal *et al.*, 1999).

Tabla 2. AEGL3 de la empresa Bebidas 1.

Mes	AEGL3 Diurno (km)	AEGL3 Nocturno (km)	Viento
Enero	2.300	2.900	NW
Febrero	2.400	3.000	NNW
Marzo	2.500	3.200	N
Abril	2.600	2.300	WNW
Mayo	2.700	2.500	N/NW
Junio	2.800	1.500	SE

Julio	2.800	2.600	SE
Agosto	2.700	2.500	SE
Septiembre	2.700	2.400	NW/SE
Octubre	2.700	2.400	WNW
Noviembre	2.500	3.100	NW
Diciembre	2.400	2.900	NNW
Máximo	2.800	3.200	-
Mínimo	2.300	1.500	-

La pluma de dispersión en las condiciones críticas se muestra en la figura 2, donde se aprecia la exposición de comercios, industrias y fraccionamientos ubicados al sur de la instalación. Sin embargo, el viento cambia de dirección durante el año (ver tabla 3) y como no se puede prever el mes preciso en que ocurrirá el evento, para estimar el nivel de exposición a escala urbana, se aplicó de manera radial la distancia máxima del AEGL3, el cual se muestra en color rojo.



Figura 2. Plumaz de dispersión de amoniaco en la empresa Bebidas 1 en condiciones atmosféricas críticas.

En total se identificaron 18 empresas de alta peligrosidad por manejo de amoniaco en la ciudad de Mexicali, las cuales almacenan cantidades de NH₃ que van de 300 a 40,000 kilos. La simulación en las 18 empresas dio como resultado los radios que se muestran en la figura 3, donde se observa que, en la porción sureste de la ciudad, se encuentran las empresas con mayores radios de afectación y donde se presentan traslapes entre los radios de varias empresas. Esto significa que

existen zonas de la ciudad donde la probabilidad de que exista un evento de fuga de amoniaco es mayor.

La superposición de los radios con la información censal permitió identificar que los radios letales de 15 empresas abarcan zonas habitacionales y de equipamiento. En este sentido, por la localización de la vivienda, 14% de la población urbana (103,173 habitantes), se encuentra expuesta a amoniaco. Sin embargo, 40% de este grupo se localiza en el traslape de más de un radio, por lo que la probabilidad de ser afectado es mayor.

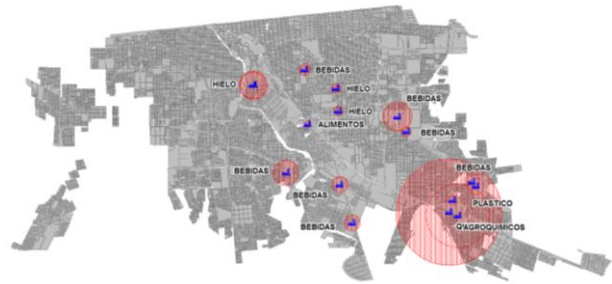


Figura 3. Radios de afectación en instalaciones peligrosas en la ciudad de Mexicali.

Por su parte, 109 elementos de equipamiento se encuentran ubicados a una distancia letal de estas instalaciones (70% en el radio de una empresa y 30% en el radio de dos empresas), en especial las escuelas, las cuales representan 46% del equipamiento expuesto. Consecuentemente, se entiende que la cantidad de personas expuestas es mayor y, para estimarlo, es necesario registrar los niveles de afluencia a tales equipamientos y otros elementos concentradores de población en el lugar, así como el número de empleados de cada empresa.

Estos resultados muestran un nivel de exposición sustancialmente superior a las estimaciones realizadas en los atlas de riesgos urbano y municipal de Mexicali (Ley *et al.*, 2006 y 2011), donde se obtuvieron consecuencias máximas de 1 a 10 muertes en radios que van de 0 a 0.2 km a partir de las instalaciones. La diferencia en los resultados del atlas 2011 y el presente trabajo radica principalmente en el método

utilizado, es decir, aunque en ambos trabajos se explotó la misma base de datos, las estimaciones del atlas se hicieron a partir de las distancias de afectación estándar sugeridas por la IAEA (1996). En cambio, las simulaciones realizadas en el presente trabajo, tomaron en cuenta las condiciones atmosféricas del sitio, las cuales delinear el comportamiento de la sustancia una vez liberada al ambiente y que, para el caso de Mexicali, permiten la concentración letal de amoniaco en largas distancias.

Tabla 3. AEGL3 obtenidos de las instalaciones de alto peligro en Mexicali por amoniaco.

Instalación	NH3 (ton)	AEGL3	Población	Equipamiento
Agroquímico	40	10	89038	78
Alimentos 1	4	5.2	0	0
Alimentos 2	0.2	1.1	0	0
Alimentos 3	0.03	0.657	46	0
Bebidas 1	2	3.2	3591	11
Bebidas 2	0.7	2.6	4845	0
Bebidas 3	0.5	1.5	963	0
Bebidas 4	0.5	1.5	1450	0
Bebidas 5	0.5	1.5	549	0
Bebidas 6	0.5	1.5	614	0
Bebidas 7	0.18	1.1	499	2
Bebidas 8	0.1	0.934	443	1
Hielo 1	1.5	3.1	2147	15
Hielo 2	0.9	2.7	1972	15
Hielo 3	0.09	0.896	513	3
Hielo 4	0.09	0.896	531	0
Plástico	0.09	0.896	0	0
Químico	10	6.3	38528	18
Total general			145729	143
En un radio de afectación			61460	76
En dos o más radios de afectación			41713	33
Total			103173	1255

Otra diferencia importante es el tiempo de exposición implícito en cada caso: La IAEA (1996) identifica concentraciones letales de amoniaco para 30 minutos de exposición, mientras que la AEGL lo hace para 60 minutos. En otras palabras, el primer caso conlleva a la delimitación

de zonas con mayor concentración de amoniaco, y por lo tanto, a menores distancias o radios de afectación, que los requeridos en el segundo caso.

De esta manera, se entiende que, según los criterios y parámetros definidos, cada método conducirá a resultados distintos, como también a subestimaciones y sobreestimaciones de las consecuencias, por ello es importante seleccionar el método apropiado y establecer el nivel de certidumbre con el que se debe trabajar, cuando los resultados obtenidos serán utilizados en la toma de decisiones sobre la seguridad de la población.

4 CONCLUSIONES

Del ejercicio realizado se puede subrayar que las zonas expuestas a niveles letales de amoniaco derivan de su proximidad a instalaciones peligrosas que tienen que ver con la actividad económica local, consecuentemente el análisis del riesgo químico urbano tiene una vertiente espacial que amerita ser explorada para generar información fundamental en el proceso de planeación y toma de decisiones sobre el riesgo químico urbano.

En el caso de Mexicali, las plantas de producción de alimentos, bebidas, hielo y agroquímicos impulsan el crecimiento económico local, pero lo hacen imponiendo como peligro el amoniaco. Sin embargo, el riesgo químico urbano aumenta, no sólo por la presencia de estas instalaciones en la ciudad, sino por la localización inadecuada o la inexistencia de distancias de seguridad entre las instalaciones peligrosas y la población que, entre otras cosas, conlleva al incremento de la probabilidad de daños y pérdidas.

En este sentido, la administración del suelo urbano se convierte en un elemento clave en la mitigación del riesgo, la cual, acompañada de programas de prevención de accidentes en las empresas y durante el transporte que eviten la liberación de las sustancias peligrosas al ambiente; así como el diseño de estrategias de atención de emergencias y contingencias urbanas *ad hoc* al perfil químico existente y la población expuesta, pueden llevar a la transición hacia ciudades más seguras ante los peligros químicos.

Desde esta perspectiva, será necesario identificar la situación que guarda cada una de las instalaciones peligrosas que integran el perfil químico de Mexicali, así como las características de la población expuesta, los recursos disponibles para la atención de emergencias químicas y las posibilidades de prevención, intervención y recuperación local antes, durante y después de la contingencia.

REFERENCIAS

- Cassal, J., Nontiel, H., Planas E. and Vílchez, J.A. 1999. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. UPC, Barcelona, España.
- Cenapred (Centro Nacional de Prevención de Desastres). 2004. *Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y riesgos*. Cenapred, México.
- EPA and NOAA (U.S. Environmental Protection Agency and National Oceanic and Atmospheric Administration). 2013. ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4. [Software]. NOAA. Seattle, Washington.
- EPA and Semarnat (Environmental Protection Agency and Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009. *Plan Conjunto de Contingencias y Emergencias México-Estados Unidos Para la Preparación y Respuesta a Eventos Asociados con el Manejo de Sustancias Químicas Peligrosas en la Zona Fronteriza Terrestre*. EPA, USA.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 1996. *Manual for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries*. IAEA. Viena, Austria.
- INE (Instituto Nacional de Ecología). 1997. *Gestión ambientalmente racional de las sustancias químicas desde la perspectiva de la industria*. INE-Semarnap, México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Censo de Población y Vivienda 2010 [cartografía censal urbana]. INEGI, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. *Diccionario Estadístico Nacional de unidades Económicas* [archivo de datos]. INEGI, México.
- La Grega, M. D., Buckinham, P. L., and Evans, J. C. 1996. *Gestión de Residuos Tóxicos. Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos* (vol. 2). Mc Graw Hill, México.
- Ley, J. 2011. *La producción del espacio como riesgo*. UABC, Mexicali.
- Ley, J., García, R.O., Ortega, G., Venegas, F.R. and Denegri, F.M. 2006. *Atlas de riesgos naturales y químicos (identificación y zonificación). Ciudad de Mexicali, Baja California*, México. UABC-Sedesol-Gobierno del Estado de B.C.-XVIII Ayuntamiento de Mexicali, Mexicali.
- Ley, J., Denegri, F.M., García, R.O., Venegas, F.R. and Ochoa M.J. 2011. *Atlas de riesgos del municipio de Mexicali*. UABC-Sedesol-XX Ayuntamiento de Mexicali, Mexicali.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). 1988. Diario Oficial de la Federación del 28 de enero de 1988 (última reforma 5 de noviembre de 2013). México, D.F.
- National Research Council (NRC). 2001. *Standing Operating Procedures for Developing Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Chemicals*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Segob (Secretaría de Gobernación). S.f. “Guía para la elaboración de programas de protección civil y planes de contingencia”, México, D.F., <http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/2118/1/images/GEPP1.pdf> (acceso 10 de julio de 2015).