

Simulación de la dispersión de una nube toxica de amoniaco

[Simulation of the dispersion of a toxic ammonia cloud]

Marco Arturo Arciniega Galaviz¹, Valeria Michelle Vega Atondo², and Raquel López Valenzuela²

¹Departamento Académico de Ingeniería Y Tecnología Universidad Autónoma de Occidente UR Los Mochis, Los Mochis, Sinaloa, México

²Universidad Autónoma de Occidente UR Los Mochis, Los Mochis, Sinaloa, México

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this research was to determine by means of a computational model the degree and area of affectation implied by the release of a toxic ammonia cloud from a 1000 Kg storage tank. The SCRI-Fire simulator of the company Dinámica was used. Heuristics feeding it with meteorological data from the city of Los Mochis, Sinaloa, physicochemical properties of ammonia and characteristics of the tank. The simulation was carried out in the summer and winter scenarios. As results of the simulation, in case of an ammonia leak, at a distance of 1038.67 meters there would be a concentration of 2500 ppm, which could produce the obstruction of the airways in people and at a distance of 818 meters there would be 5,500 ppm of ammonia, which is fatal to people for an exposure time of 30 minutes. Good management of dangerous substances such as ammonia is necessary, to avoid damage to the health of exposed people and negative effects to the environment, constant training of personnel who handle this dangerous substance is required, and that companies that handle ammonia are They are far from residential areas, and places with a lot of people.

KEYWORDS: Leak, Modeling, Risk, Health, SCRI.

RESUMEN: El objetivo de esta investigación fue determinar mediante la realización de un modelo computacional el grado y área de afectación que implica la liberación de una nube toxica de amoniaco de un tanque de almacenamiento de 1000 Kg. Se utilizó el simulador SCRI-Fuego de la empresa Dinámica Heurística alimentándolo con datos meteorológicos de la ciudad de Los Mochis, Sinaloa, propiedades fisicoquímicas del amoniaco y características del tanque. La simulación se realizó en los escenarios de verano e invierno. Como resultados de la simulación, en caso de una fuga de amoniaco, a una distancia de 1038.67 metros se tendría una concentración de 2500 ppm, lo cual pudiera producir la obstrucción de las vías aéreas en las personas y a una distancia de 818 metros se tendría 5,500 ppm de amoniaco, lo cual es fatal para las personas para un tiempo de exposición de 30 minutos. Es necesario un buen manejo de sustancias peligrosas como es el amoniaco, para evitar daños a la salud de las personas expuestas y efectos negativos al ambiente, se requiere la capacitación constante del personal que maneje ésta sustancia peligrosa, y que las empresas que manejen amoniaco se encuentren alejadas de zonas habitacionales, y lugares de mucha concurrencia de personas.

PALABRAS-CLAVES: Fuga, Modelación, Riesgo, Salud, SCRI.

1 INTRODUCCIÓN

El amoniaco es la tercera sustancia química más producida en el mundo y su uso es el más frecuente en las actividades agrícolas e industriales [1]. Es el cimiento para la aportación de nitrógeno como nutriente en los cultivos ya que posee el mayor porcentaje de éste nutriente en comparación a otros fertilizantes nitrogenados [2]. El transporte, almacenamientos y uso debe realizarse tomándose en cuenta medias de seguridad de lo contrario podría estar relacionado en una gran variedad de eventos toxicológicos y afectar la salud de las personas y el ambiente.

El amoniaco es una de las sustancias que más daños ha provocado en la salud humana, debido a los constantes accidentes por explosión o derrames dejando víctimas con lesiones graves inclusive mortales. A pesar de la importancia que tienen por las diversas aplicaciones que se le otorga, es necesario reconocer las propiedades de estas sustancias ya que representan un riesgo, tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Por consecuencia dada la peligrosidad asociada a estas sustancias, se requiere de una atención y serie de análisis para su utilización y manejo [3].

Debido a que el estado de Sinaloa se practica una agricultura altamente tecnificada y el uso de agroquímicos es en grandes cantidades, entre ellos el amónico, el paquete tecnológico de maíz incluye en la fertilización 300 kg por hectárea de amoniaco anhidro [4]. En el año 2020 la superficie de hectáreas sembradas de maíz en el estado de Sinaloa fue de 311,676 [5], por lo que implica el uso de amoniaco es en grandes cantidades.

Por un mal manejo de amoniaco ya sea en el transporte, almacenamiento o uso, se generan accidentes con diferentes niveles de daños a la salud de las personas y ambiente, en el estado de Sinaloa, municipio de Guasave se registró una fuga de 5 toneladas de amoniaco, se evacuaron a más de 3 mil 604 persona para evitar que ocurriera una tragedia sobre la población, ya que el gas formó una nube muy extensa sobre las comunidades cercanas [6].

En Culiacán, Sinaloa, se registró un accidente en una espuela de ferrocarril, según investigaciones el carro de cisterna que descargaba el gas en un furgón de ferrocarril presentaba una fisura provocada por un golpe en la costura de 20 centímetros por donde libero grandes volúmenes de amoniacos. El hecho tuvo consecuencias graves ya que se presentaron dos muertos, 58 intoxicados y 800 familias desalojadas de nuevas colonias y tres núcleos ejidales [7].

En industrias frutícola, una mujer de 26 años, se encontró expuesta a altas concentraciones de NH_3 (sobre 1.720 ppm) por 15 minutos al romperse un tubo de refrigeración, ésta persona presentó insuficiencia respiratoria aguda grave con obstrucción de la vía área alta y baja e insuficiencia renal aguda [1].

Ante todos estos posibles accidentes es de fundamental importancia llevar acabo análisis de riesgos, observar los procesos y procedimientos de trabajo, para considerar todos aquellos posibles riegos a los que se encuentran expuestos los trabajadores, ambiente y la sociedad.

Es necesario determinar mediante una simulación de modelos computacionales el grado y área de afectación que implica un derrame y dispersión de una nube toxica de amoniaco.

2 MATERIALES Y METODOS

Para ésta investigación se realizó una revisión documental de manera sistemática de artículos científicos nacionales e internacionales dentro de revistas y libros científicos con los siguientes principales descriptores conceptuales: amoniaco, riesgo ambiental, daños a la salud y ambiente del amónico, accidentes con amoniaco, datos climatológicos, entre otros.

Con el objetivo de determinar las áreas de afectación en caso de la fuga de amónico, se utilizó el simulador elaborado por la empresa Dinámica Heurística, el sistema SCRI-FUEGO es un programa para efectuar la simulación en computadora de las consecuencias de diferentes eventos, entre ellos se pude simular la fuga de sustancias químicas que forman una nube toxica. Para hacer la simulación se toman los datos climatológicos como temperatura, precipitación, velocidad del viento y humedad, estos datos fueron registrados en el norte de Sinaloa.

El simulador fue instalado en una computadora de escritorio y se alimentó con los siguientes datos:

- Nombre de la sustancia química: Amoniaco Anhidro
- Concentraciones de interés: 50, 300 y 500 partes por millón
- Masa de la sustancia por liberar: 1000 kilogramos

Datos del tanque:

- Volumen: 1466 litros
- Tipo de tanque: Cilíndrico horizontal
- Dimensiones: 3 metros de largo y 80 centímetros de diámetro

Datos climatológicos:

Para la simulación se plantearon dos escenarios, uno para verano e invierno, los datos climatológicos se obtuvieron de la base de datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) [8].

Escenario de verano:

- La temperatura promedio va desde los 32°C o en repetidas ocasiones excede a una máxima de 37°C temperatura promedio al día.
- La velocidad y dirección de los vientos en los meses de julio y agosto se presenta entre los 0.2 km/h a 11.8 km/h en todo el transcurso del mes con dirección predominante del sur.
- En el mes de julio y agosto se puede presentar una humedad entre 83% a un 98% en el transcurso del mes.

Escenario de invierno:

- Las condiciones climáticas en invierno varían conforme los días, se pueden presentar temperaturas desde los 2°C la más baja y una máxima de 25°C.
- La velocidad y dirección del viento disminuye drásticamente permaneciendo en un margen de 0.2 km/h a 12.9 km/h con dirección del norte en ambos meses.
- La dirección del viento en el mes de septiembre a octubre es predominante de lado Oeste y en noviembre es predominante del Norte.

Después de alimentados los datos al simulador, se ejecutó la opción de emisión de evaporación por un derrame, obteniendo por lo tanto como resultado las áreas de afectación y sus concentraciones correspondientes.

Una vez generados los resultados en el simulador se realizó un análisis para determinar que concentraciones prevalecen a diferentes distancias y las posibles consecuencias a la salud de las personas y daños al medio ambiente.

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Como resultados se muestran las diferentes concentraciones de amoniaco a sus correspondientes distancias, se presentan para los escenarios de verano e invierno considerando que las condiciones climatológicas son diferentes para el área de estudio.

Los resultados de la simulación realizada de la nube toxica de amoniaco muestra que los radios de afectación varían debido a las condiciones climatológicas de cada época del año (verano e invierno). Las direcciones del viento en verano predominan los vientos de sur a norte y en invierno predominan los vientos de norte a sur, por los tanto la nube toxica de amoniaco es trasportada a lugares diferentes dependiendo de la época del año en que se produce la liberación.

Las personas que se encuentren a una distancia de 732 metros y quedan expuestas por 5 minutos (Tabla 1), podría producirles la muerte ya que la concentración letal del amoniaco para humanos es de 5000 partes por millón [9]. Concentraciones por encima de 700 ppm causan severas irritaciones en los ojos, hemorragias e hinchazón, y si no es tratado inmediatamente, puede llevar a pérdidas parciales o totales de la vista [10].

Tabla 1. Concentración de amoniaco a diferentes distancias desde su liberación en verano

Concentración (partes por millón)	Distancia (metros)
1000	1410.32
2500	1025.97
3000	871.09
5000	732

Para el caso del escenario de invierno los efectos a la salud como muerte de las personas por exposición a amoniaco por 5 minutos se presenta a una distancia de 818 metros, siendo ligeramente mayor a la distancia del escenario de verano. A una distancia de 1502 metros las personas pueden experimentar edema pulmonar, tos o espasmo de las cuerdas vocales que dificulta temporalmente el hablar o respirar (Tabla 2).

Tabla 2. Efectos a la salud de las personas para diferentes concentraciones de amoniaco

Concentración (partes por millón)	Efectos a la salud
50	Irritación leve de ojos, nariz y garganta luego de 2 horas de exposición.
250	Irritación de ojos y tracto respiratorio, luego de 30 a 60 minutos de exposición
700	Irritación inmediata de ojos y garganta
>1500	Edema pulmonar, tos, laringe espasmo
2500-4000	Fatal después de 30 minutos de exposición
5000-10000	Fatalidad rápida

Las concentraciones a las que la mayoría de las personas comenzarán a experimentar efectos sobre la salud si se exponen a una sustancia química peligrosa en el aire durante 1 hora, para el caso de amoniaco son de 1500 partes por millón [11]. Personas sensibles, como personas mayores, enfermos o muy jóvenes, pueden experimentar efectos adversos en concentraciones por debajo de los valores del gradiente de concentración del amoniaco. De acuerdo a los resultados, las personas que se encuentre entre las distancias de 1038.67 y 817.97 metros pueden empezar a experimentar daños a su salud (Tabla 3).

Tabla 3. Concentración de amoniaco a diferentes distancias desde su liberación en invierno

Concentración (partes por millón)	Distancia (metros)
1000	1502
2500	1039
3000	993
5000	818

Aunque se observan en los resultados diferencias en las distancias para las mismas concentraciones para los escenarios de verano e invierno, estas diferencias no son grandes, por lo que los datos climatológicos alimentado al simulador que generan diferencias significativas para los dos escenarios.

En la figura 1, se muestran tres diferentes concentraciones de amoniaco, siendo la de color rojo la zona de más riesgo, ya que está más cercana al tanque que es la fuente de emisión de la nube toxica, significa que las personas que se encuentran dentro de un radio de 818 metros por más de 5 minutos, pueden morir de una manera rápida.

Dependiendo de la dirección del viento será el sentido que tomará la nube toxica de amoniaco, las concentraciones cerca del tanque son mayores a las concentraciones más alejadas del mismo, conforme avanza la nube se va diluyendo en el aire y por lo tanto bajando su concentración (Figura 1). En lugares donde la velocidad del viento es alta, la dispersión de la nube toxica se hace de una manera más rápida, diluyéndose en el aire, pero en lugares donde existe una alta estabilidad atmosférica o se encuentra rodeado de barreras naturales como montañas el movimiento de la nube toxica es lenta y tarda más tiempo en disolverse el aire, estas condiciones de estabilidad aumenta el riesgo de intoxicación en las personas que están expuestas.

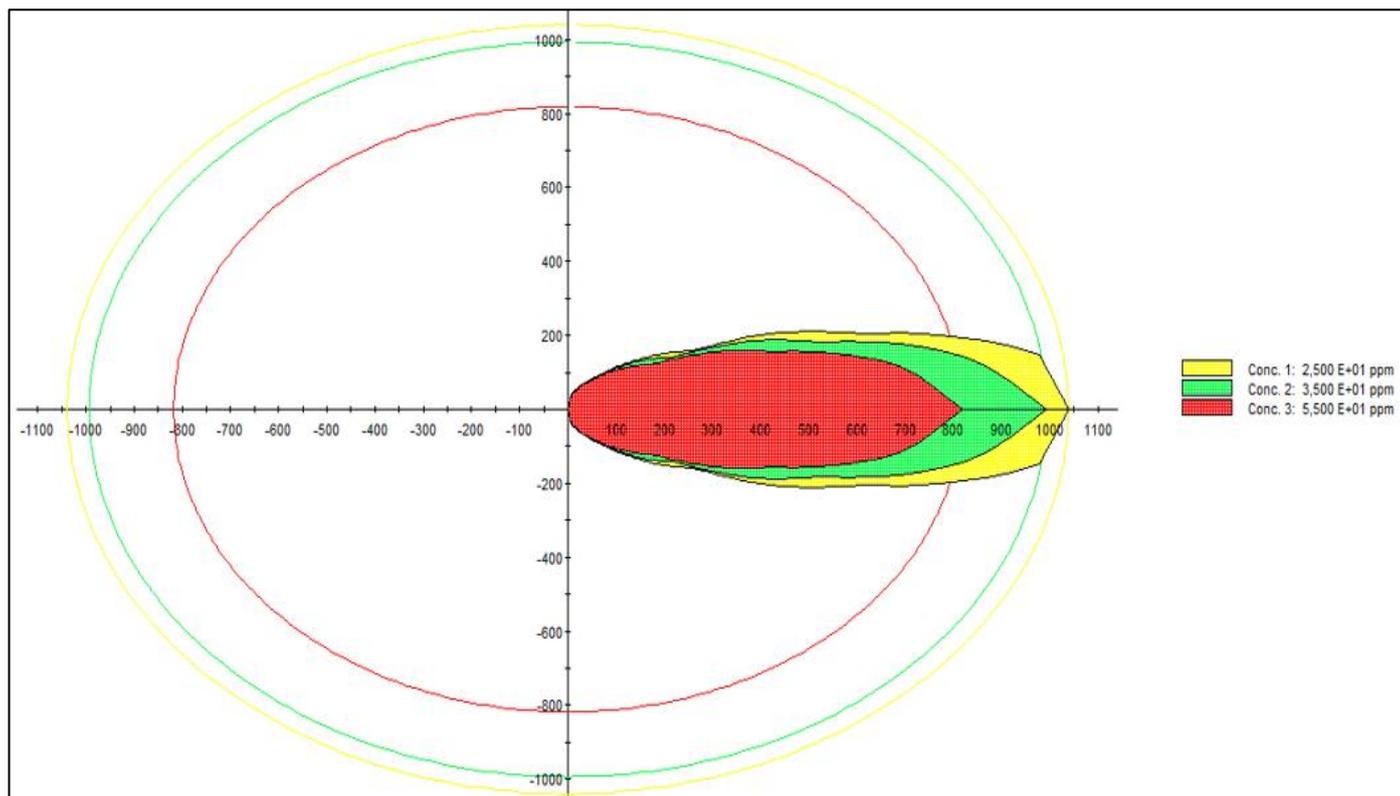


Fig. 1. Diagrama de las concentraciones de amoniaco a diferentes distancias para el escenario de invierno

4 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el modelo de nube toxica por derrame de amoniaco, y debido a las condiciones climáticas que se presentan en épocas de verano e invierno, el grado y área de afectación muestra diferentes comportamientos. Sin embargo, de manera general considerando cualquier época del año, las consecuencias que implica un evento de éste tipo hacia la sociedad siempre serán de alto riesgo para la salud pública.

Debido que a concentraciones de 50 partes por millón se empiezan a tener efectos a la salud de las personas, una fuga de amoniaco representa un grave problema para la salud de las personas que están expuestas, es por eso que las empresas que manejan, transportan, almacenan o hacen uso de amoniaco no deben estar colindantes a centros poblacionales, o lugares donde concurren personas por el riesgo que representa esta sustancia química peligrosa.

En el caso del estado de Sinaloa donde el uso de fertilizantes a base de amoniaco es en grandes cantidades, las empresas del giro agropecuario que manejan amoniaco deben de realizar simulaciones dentro de sus estudios de riesgo para conocer el alcance que tendría un derrame de amoniaco, identificar las colindancias de la empresa y principalmente donde existen personas y pudieran verse afectados. Contar con programa interno de protección civil, en el que se estipulen los procedimientos para controlar una fuga, de igual manera se den primeros auxilios a las personas intoxicadas y se haga la evacuación del personal que labora en la empresa.

Es importante que las autoridades competentes sigan haciendo su trabajo de inspección a las empresas que manejan amoniaco para verificar las instalaciones, programas de capacitación y simulacros, programas de mantenimiento y todas las medidas de seguridad inherentes al manejo de amoniaco.

RECOMENDACIONES

Debido a la impotencia de un buen manejo de sustancias peligrosas como es el amoniaco, es necesario considerar las siguientes recomendaciones:

- Elaborar y dar a conocer los procedimientos para un manejo seguro del amoniaco, por medio de capacitación al personal y realización de simulacros.
- Elaborar y llevar a cabo una lista de verificación de las instalaciones donde se maneje amoniaco con la finalidad de poder detectar posibles riesgos de fuga o derrames.
- Formar un comité interno de protección civil con personal de la empresa, en el cual se designen las funciones de cada uno dentro del comité.
- Contar con equipo de protección personal que sea apto y que cumpla con las especificaciones para controlar fugas de amoniaco.
- Elaborar y llevar a cabo un programa de mantenimiento a las instalaciones y equipos que manejen amoniaco en la empresa.
- Contar con la señalética que marca la NOM-026-STPS-2008 para empresas que manejan sustancias químicas peligrosas.
- Realizar y mantener actualizado el estudio de riesgo en las empresas con la finalidad de identificar los riesgos empleando alguna metodología, así como proponer todas las salvaguardas posibles y poder de esta manera reducir al mínimo la posibilidad de una fuga y/o derrame de amoniaco.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada con la ayuda de las alumnas Valeria Michelle Vega Atondo y Raquel López Valenzuela como parte de sus tesis de licenciatura en Ingeniería Ambiental, para realizar la simulación se utilizó el software Scri Fuego [12] de la empresa Dinámica Heurística el cual fue adquirido por de la Universidad Autónoma de Occidente unidad regional Los Mochis. Se agradece a la Universidad por el apoyo que siempre brinda a sus alumnos para llevar a cabo las investigaciones que enriquecen el conocimiento de los alumnos.

REFERENCIAS

- [1] M. Gutierrez, C. Mercados, B. Torrealba, S. Whittle, W. Samaniego y M. Antolini, "Salud ocupacional- inhalación masiva de amoniaco". Revista Chil Enf Respir, no. 30, pp 95-99, (2014).
- [2] International Plant Nutrition Institute (IPNI). Fuentes de nutrientes específicos (2019). [Online] Disponible en www.ipni.net/specifics. (Abril de 2019).
- [3] M. Yarto, I. Ize, A. Gavilán, "El universo de las sustancias químicas peligrosas y su regulación para un manejo adecuado". Gaceta Ecológica, no. 69, pp-57-68 (2003).
- [4] Torres, E. Luz Noticia "Evacuan a 3 mil 604 personas tras fuga de amoniaco en Guasave" (2018). [Online] Disponible en <https://www.luznoticias.mx/multimedia/evacuan-a-3-mil-604-personas-tras-fuga-de-amoniaco-en-guasave/53283>.
- [5] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Avance de Siembras y Cosechas-Resumen por estado (2020). [Online] Disponible en http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do.
- [6] D. Cruz, J.A. Leos, "La producción de maíz en Sinaloa, México, y sus implicaciones para el medio ambiente". Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales, no. 25, pp. 100-118, (2018).
- [7] J. C. Martínez, El universal, "Fuga de gas de amoniaco mata a dos en Sinaloa" (2006). [Online] Disponible en <https://archivo.eluniversal.com.mx/estados/62312.html>.
- [8] Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Sistema Nacional Meteorológico. (2019). [Online] Disponible en <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- [9] Asociación de Exportadores de Frutas de Chile A.G. Guía de uso y manejo de amoniaco en la refrigeración de frutas y hortalizas frescas: plan de emergencias. (2012). [Online] Disponible en https://www.asoex.cl/images/documents/otros/guia_amoniaco_julio.pdf.
- [10] Pequivan-Monomeros, Hoja de datos de seguridad del material (2008). [Online] Disponible en <http://www.monomeros.com/descargas/hsamoniaco.pdf>.
- [11] Office of response and restoration. Emergency Response Planning Guidelines (ERPGs) (2019). [Online] Disponible en <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/chemical-spills/resources/emergency-response-planning-guidelines-erpgs.html>.
- [12] Dinámica Heurística, SCRÍ Fuego. (2021). [Online] Disponible en <http://www.dinamicaheuristica.com/es/software/scrifuego>.