

Capítulo 6

Metodología para simulaciones de liberación de sustancias peligrosas empleando el programa Aloha

Marco Arturo Arciniega Galaviz

Introducción

Un riesgo ambiental se define como la probabilidad de que ocurran accidentes en las que intervengan sustancias químicas peligrosas y que puedan trascender los límites de sus instalaciones y afectar adversamente a la población, los bienes, el ambiente y los ecosistemas (SEMARNAT, 2008). Es por eso que las empresas deben implementar mecanismos, procedimientos, instalar equipos, capacitar al personal en el manejo de materiales peligrosos para disminuir la probabilidad de que ocurra algún evento catastrófico.

Algunas de las sustancias químicas peligrosas que comúnmente son usadas en las industrias se mencionan la tabla 1. Las empresas que las utilizan deben de conocer los efectos a la salud y medioambiente que provocaría una liberación, saber cuál es el alcance de los daños y por lo tanto implementar dispositivos de seguridad, procedimientos y capacitar al personal para evitar algún evento catastrófico.

Tabla 1. Sustancias químicas peligrosas, usos y efectos a la salud.

Sustancia	Usos	Efectos a la salud
Amoniaco	En las últimas décadas se sabe que casi el 90 % del amoniaco producido en el mundo se usa para la elaboración de fertilizantes alrededor de todo el planeta. Es usado como gas refrigerante en aparatos de aire acondicionado y en fábricas de hielo (Fuideco, 2019).	Puede causar irritación intensa y quemaduras en la piel y los ojos con la posibilidad de daño ocular. Si se inhala puede irritar la nariz y la garganta, irritar el pulmón, causando tos o falta de aire. La exposición más alta puede causar asfixia por acumulación de líquido en el pulmón (edema pulmonar), que es una emergencia médica. El contacto con el amoníaco líquido puede causar lesiones por congelación (NJHealth, 2016).

Sustancia	Usos	Efectos a la salud
Cloro Gas	Se utiliza principalmente para esterilizar el agua potable y el agua de las piscinas. En la industria química con aplicaciones para el blanqueado (Bleaching) en la industria del papel, desinfección, tratamiento de aguas y plásticos (Lana Sarrate, 2020).	Puede producir irritación de la nariz, la garganta y los ojos. La exposición a niveles más altos puede producir tos y alteraciones del ritmo respiratorio y daño de los pulmones.
Gas LP	Se usa principalmente como combustible en todo tipo de cocinas domésticas y profesionales, de igual manera se utiliza como combustible para eliminar humedad de granos, frutas y hortalizas.	Por inhalación: los efectos por respirar GAS LP son, dolor de cabeza, náuseas, vómitos, tos, mareos, somnolencia, desorientación y en, casos extremos, inconsciencia, incluso la muerte. Si el gas entra en contacto con los ojos provoca congelamiento, hinchazón y daño ocular. Por ser un combustible puede producir incendios o explosiones con fuego (Gobierno de la Ciudad de México, s.f.).
Gas Natural	Se utiliza como combustible, tanto en el ámbito doméstico como en el industrial. Se usa como materia prima para la obtención de propano, amoníaco, metanol, etileno o butadieno. También como combustible para generar electricidad (Suroeste Grupo, 2023).	Una gran cantidad de gas natural o metano desplaza el aire, la falta de oxígeno podría provocar asfixia. Por ser un gas altamente inflamable puede producir incendios o explosiones.
Gasolina	Es una fuente importante de combustible para propulsar vehículos, botes, motocicletas, tractores y algunas aeronaves (Pelayo, 2001).	Se evapora fácilmente, es muy inflamable y puede formar explosivas mezclas en el aire. El fuego y la explosión son los principales peligros físicos de la gasolina. La gasolina es altamente inflamable.

Existen simuladores que dan como resultado las áreas de afectación en caso de la liberación de una sustancia química peligrosa, en base a las características fisicoquímicas, condiciones meteorológicas que prevalecen en el lugar de la emisión, las características de la fuente, por ejemplo, tipo de tanque de almacenamiento, volumen y masa, el estado físico de la sustancia química, la presión y temperatura a la que se encuentra dentro de este y la forma de su liberación.

Los resultados de la simulación también son parte del estudio de riesgo ambiental que tiene que presentar la empresa a las autoridades competentes para que sea autorizada su construcción y operación.

En el periodo de 2007-2017, en México se ingresaron para su evaluación y dictaminación 4,262 estudios de riesgo ambiental, de los cuales el 28 % fueron de industrias del petróleo, 15 % del giro alimenticio, 8.5 % industrias químicas, 5.2 industrias del gas LP y 3.8 % industrias mineras (Semarnat, 2018).

Como parte de un estudio de riesgo ambiental, se debe mencionar los riesgos potenciales de accidentes ambientales, para esto se debe de realizar una modelación de él o los eventos probables máximos de riesgo y hacer la descripción de riesgos que tengan afectación potencial al entorno de la planta. La metodología presentada en este capítulo de libro describe los pasos para realizar la modelación (simulación) de un evento para determinar los radios de afectación en caso de una emisión de sustancias químicas y cuáles serían sus efectos negativos al entorno de la empresa.

Se han presentado eventos que han cobrado vida en Sinaloa y algunos lugares de México al manejar amoniaco anhidro, en el estado de Sinaloa Municipio de Guasave se registró una fuga de 5 toneladas de amoniaco, en el transcurso de la mañana se presentó un reporte a las autoridades, ya que lograba verse desde la carretera Internacional México 15, se tuvieron que evacuar a más de 3,604 persona ya que el gas formo una nube muy extensa sobre las comunidades cercanas, para evitar que ocurriera una tragedia sobre la población (Torres, 2018).

En Culiacán, Sinaloa, se registró un accidente a las 4:30 de la mañana en una espuela de ferrocarril —desviación de la vía de una fábrica—, donde se abastece la empresa de Fertilizantes Agrícolas, S.A. ubicada en el ejido Bario-meto, 20 Km al poniente de la capital del estado. 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 los 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 fue el saldo que dejo la fuga de gas de amoniaco (Martínez, 2006).

Una mujer de 26 años, trabajadora de industrias frutícola, sin antecedentes mórbicos, accidentalmente se encontró expuesta a altas concentraciones de NH_3 (sobre 1.720 ppm) por 15 min al romperse un tubo de refrigeración. Es rescatada e intubada en el lugar del accidente y trasladada al hospital, presentando insuficiencia respiratoria aguda grave con obstrucción de la vía aérea alta y baja, insuficiencia renal aguda. A los dos años que se registró el accidente inhalatorio, la paciente presenta disnea a mínimos esfuerzos, insuficiencia respiratoria crónica parcial con necesidades de oxigenoterapia permanente y colonización de la vía aérea por pseudomonas aeruginosas (Gutiérrez, 2014).

En base a lo anterior, es importante realizar un estudio de riesgo principalmente cuando se manejen sustancias químicas peligrosas con el objetivo de determinar los efectos que se tendría a las personas, instalaciones o edificios en caso de la liberación de estas.

La Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del estado de Sinaloa (LEEPA), en el artículo 34, menciona que las empresas que presenten una manifestación de impacto ambiental, deberán ir acompañada de un estudio de riesgo de la obra o actividad y de sus modificaciones, consistente en las medidas técnicas preventivas y correctivas para mitigar los efectos adversos al equilibrio ecológico durante su ejecución y operación normal conforme a la Ley en caso de accidente. Y en el artículo 120, “los responsables de los establecimientos en los que se realicen actividades riesgosas, están obligados a elaborar, actualizar y someter a la autorización de la Secretaría, sus programas para la prevención de accidentes en el desarrollo de dichas actividades para lo cual la Secretaría solicitará la intervención de otras dependencias estatales, que, de acuerdo con sus atribuciones, deban participar en la autorización antes referida”.

La evaluación del riesgo es el uso de los datos y observaciones científicas para definir los efectos para la salud o los ecosistemas causados por la exposición a materiales o situaciones peligrosas (NAS, 1983).

Como parte del estudio de riesgo ambiental, se debe de realizar simulaciones en caso de la liberación de sustancias peligrosas y conocer cuáles son sus efectos a las personas y medio ambiente, una de las herramientas utilizadas es el programa Aloha de la Environmental Protection Agency (EPA), el cual permite ingresar detalles sobre una liberación química real o potencial y luego generará estimaciones de zonas de amenaza para varios tipos de peligros. Aloha puede modelar nubes de gases tóxicos, nubes de gases inflamables, BLEVE (explosiones de vapor en expansión de líquidos en ebullición), incendios de chorros, incendios de piscinas y explosiones de nubes de vapor (EPA, 2022).

Existen investigaciones para determinar los impactos que pudieran generar eventos en empresas donde se manejan sustancias químicas peligrosas (tabla 2).

Tabla 2. Investigaciones donde fue empleado el programa Aloha como un instrumento de simulación.

Autores	Nombre de la Investigación	Resultados
Soto Pacheco Samantha Abigail, Alcántara Garduño Martha Elena (2022)	Determinación de consecuencias ocasionadas por la explosión de nitrato de amonio en Celemania, Coahuila.	Se realizó la simulación de la dispersión de gases liberados de 25 toneladas de nitrato de amonio (NH_4NO_3), la zona de amenaza resultó de 5 kilómetros. Se propusieron los requisitos y acciones inmediatas que debían llevar a cabo los cuerpos de primera respuesta para la atención del incidente.
Luis Carlos Valdés L., Gustavo Adolfo Ortega B., Jesús María Consuegra G. (2019)	Mapa de riesgos tecnológicos asociados al manejo de mercancías peligrosas en los puertos de Barranquilla	Los autores realizaron una simulación de incendio de líquido inflamable en almacenamiento del puerto. La cantidad total de líquido quemado es de 134.861 kg durante 1 hora de conflagración. El incendio generó radiación térmica en un área radial de 127,0 m, desde el foco del siniestro, en donde la radiación alcanza 2,0 kW/m ² , esto implica quemaduras de 1er grado en personas expuesta a esta radiación térmica.
Catherine Andrea Parra Abril, Jonathan Fernando Ortiz Rey, Coautora, Sonia Lucia Meneses Velosa. (2015)	Uso de herramientas de ingeniería para la gestión de riesgo tecnológico en una central de abastecimiento agrícola con aglomeraciones permanentes en Bogotá.	Simulación Explosión Pipetas de Gas Oxietileno, de acuerdo a los resultados, se tienen una radiación térmica de 10 kW/m ² a los 30 metros, esto significa que es potencialmente letal a las personas, a los 50 metros se tiene 5 kW/m ² , significa quemaduras de segundo grado, y a los 75 metros se tiene 2kW/m ² que implica dolor a las personas que estén dentro de este radio.
Micaela Belén del Solé (2019).	Simulación de incidentes en el transporte de materiales peligrosos en Gran la Plata	Se realizó una simulación de una emisión de metanol en una cantidad de 37,000 litros. Los resultados muestran que la zona de amenaza es de 600 metro desde el origen de la emisión. De acuerdo a los resultados las áreas de afectación abarcan escuelas, clubes y espacios recreativos, para reducir el impacto de los desastres se requiere de un análisis y de la mitigación del riesgo.

Autores	Nombre de la Investigación	Resultados
Andrea León Sierra (2022).	Modelización de accidentes en una refinería de Tarragona usando ALOHA	Se realizó una simulación de BLEVE (explosión de vapores que se expanden al hervir el líquido) con propano en un volumen de 10,000 m3, los resultados muestran que el área de afectación con 5kW/m2 es de 1.7 millas, 0.6 millas se tiene una radiación térmica de 40 kW/m2 y 0.8 millas se tiene 20 kW/m2. Tras elaborar la simulación se aportan una serie de medidas para la prevención y protección contra estos accidentes, de forma que pueda evitarse que se produzca y en caso de que esto no sea posible, para reducir las consecuencias que pueden producirse sobre otros equipos o el personal presente en la zona.
Duche Chaquay Carlos Paul (2021).	Evaluación cuantitativa de explosión por riesgo químico en sistemas presurizados de la unidad separadora de aire de Linde Ecuador S. A	Se realizó una simulación de explosión de un tanque de oxígeno con capacidad de 250,000 litros. Dio como resultado una expansión del químico (oxígeno), de un diámetro de 7.24 km cerca de la zona de explosión, las personas que se encuentren en este rango tendrán síntomas como dolores de cabeza, irritación en los ojos, falta de aliento, posible riesgo de convulsión, los que se encuentren dentro de la zona naranja podrá sufrir de un leve dolor de cabeza.

El objetivo de este capítulo de libro es mostrar paso a paso el uso del programa Aloha y pueda contribuir a que personas aprendan a realizar simulaciones que les permitirá ser parte de un estudio de riesgo el cual buscara disminuir la probabilidad de que ocurra un accidente que pudiera causar muerte de personas, dañar la salud desde leve a gravemente, así como proteger instalaciones y el medio ambiente.

Metodología

Aprender a realizar modelaciones utilizando el programa Aloha de la EPA y que den como resultado áreas de afectación cuando se liberan sustancias químicas al ambiente que puedan dañar al entorno que rodean a la fuente de la emisión, permite que las empresas apliquen estrategias para evitar estos eventos que causarían efectos negativos a la salud de las personas y a los ecosistemas.

Revisión bibliográfica

Con base en el objetivo de mostrar la metodología para realizar una simulación de la liberación de una sustancia química, primeramente se realizó una revisión bibliográfica realizando una búsqueda con las palabras clave: programa Aloha, hoja de seguridad del Amoniaco, condiciones atmosféricas del norte de Sinaloa, legislación mexicana en materia de estudio de riesgo, en sistemas de indización como Scielo, Redalyc, Redib y Doaj, páginas gubernamentales y en directorios y catálogos como Latindex y Google académico, principalmente en investigaciones realizados en México y países de Latinoamérica.

Descarga de simulador Aloha

Posteriormente, el programa Aloha, se descargó de la siguiente liga <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>. Para mostrar la metodología de la simulación se fueron tomando capturas de pantalla para cada paso que se avanzaba y se describió cada una de las ventanas que aparecían, así como las distintas opciones que te ofrece el programa.

Información de datos atmosféricos

Debido a que en Sinaloa la actividad predominante es la agricultura y el uso de amónico como fertilizante es en grandes cantidades, la simulación se realizó empleando datos atmosféricos del norte de Sinaloa. El amoniaco aporta nitrógeno como nutriente primario y de acuerdo con Escobedo (2021), en el distrito de riego 075, el cual es el más grande de México y se encuentra ubicado en áreas del municipio de Ahome, El Fuerte y Guasave, se aplican más de 50,000 toneladas de unidades de nitrógeno por ciclo en cultivo. Esto significa que el amoniaco es almacenado, transportado y usado en grandes cantidades en esta región del país.

Los datos que se investigaron previo a usar el programa se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional (Conagua, 2023).

- Velocidad del viento: 3 m/s.
- Dirección del viento: Suroeste (SW).
- Nubosidad: Parcialmente nublado.
- Porcentaje de humedad: 75 %.
- Temperatura del aire: 30°C.

Para describir la fuente donde se libera el amoniaco, se ensayó con las siguientes características:

- Tanque cilíndrico horizontal.
- Dimensiones: 3 metros de diámetro, 10 metros de longitud y volumen de 70,686 litros.
- Estado de la sustancia dentro del tanque: Líquido.
- Temperatura del líquido dentro del tanque: -30°C.
- Masa del líquido dentro del tanque: 45,000 kilogramos.
- Tipo de falla en el tanque: Liberación de líquido no inflamable que escapa a atmósfera.
- Forma que mejor representa la liberación de la sustancia hacia fuera del tanque: circular.
- Diámetro de la abertura: 2 metros.
- Posición de la abertura en el tanque por donde se libera la sustancia: 1.5 metros

Información de efectos a la salud del amoniaco

Los parámetros de control de exposición para el amoniaco anhidro, se obtuvieron de las hojas de seguridad, ACGIH TLV: 25 ppm (17 mg/m³) TWA; 35 ppm (24 mg/m³) STEL OSHA PEL: 50 ppm (35 mg/m³) TWA.

Mapa para plasmar los resultados

Las zonas de afectación obtenidas fueron plasmadas sobre un mapa empleando el programa MARPLOT, lo cual permitió poder visualizar de una manera fácil las zonas de afectación y las diferentes concentraciones a distintas distancias.

Interpretación de resultados:

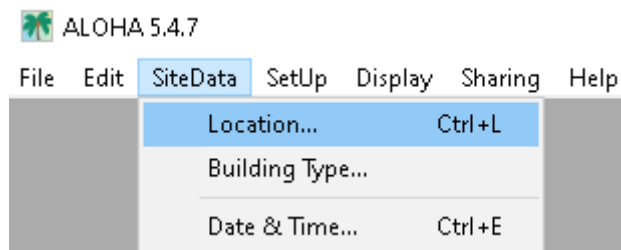
Una vez que se muestran los resultados sobre una imagen satelital, es posible ver de una manera precisa el área de afectación de la nube de amoniaco, se puede conocer la distancia en metros y sus respectivas concentraciones, y saber cuáles son los efectos a la salud de las personas que pudieran estar dentro de las zonas de amenaza dependiendo de la concentración o a la que están expuestos.

Resultados

Los resultados se mostrarán señalando paso a paso la metodología para las simulaciones de liberación de amoniaco en el aire, la formación de un charco de fuego de etanol y un BLEVE con gas propano. Se mostrarán las ventanas que aparecen en el simulador conforme se va realizando la simulación.

Para realizar la simulación de liberación de amoniaco en el aire, primeramente, se selecciona la ciudad donde será el evento de emisión de la sustancia peligrosas (Figura 1).

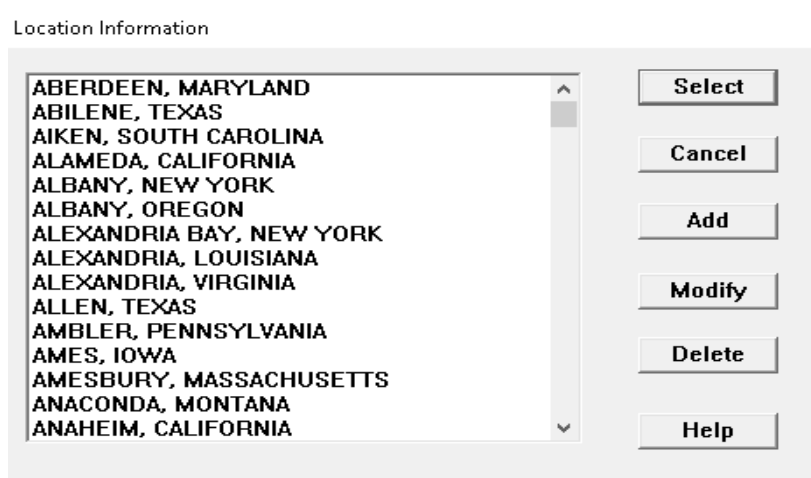
Figura 1. Datos del lugar de la simulación (localización, tipo de edificio y fecha y hora).



Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

Por ser un simulador de los Estados Unidos de Norte América (EE. UU.), nada más te muestra ciudades de este país, te da la opción de agregar otros lugares que no sean de EE. UU., para esto se selecciona la opción “Add” (figura 2).

Figura 2. Nombres de ciudades donde se realiza la simulación.



Nota. La figura muestra opciones de agregar ciudades, cancelar, modificar y borrar. Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

Se agrega el nombre del lugar donde se hará la simulación, para este ejemplo se escribió la ciudad de Los Mochis, la cual no es una ciudad de EE. UU., se encuentra aproximadamente a nueve metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2021). Es importante seleccionar las unidades en las que se expresa la altura sobre el nivel del mar, ya sea en pies (ft) o metros (m), sus coordenadas geométricas son Latitud Norte: 25° 47' y Longitud Oeste: 108° 00' (Figura 3).

Figura 3. Agregar un lugar nuevo a la lista de localizaciones.

Location Input

Enter full location name:

Location is

Is location in a U.S. state or territory ?

☐ In U.S. ☒ Not in U.S.

Enter approximate elevation

Elevation is ☐ ft ☒ m

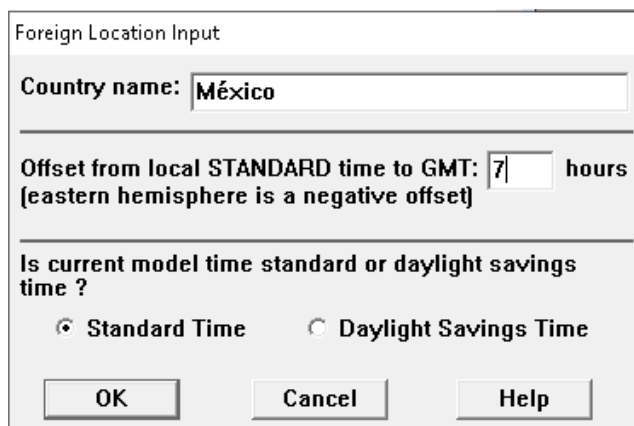
Enter approximate location

	deg.	min.	
Latitude	25	47	☒ N ☐ S
Longitude	108	00	☐ E ☒ W

Nota. La figura muestra la ventana con datos del lugar nuevo que se agrega a la lista. Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

Y finalmente se escribe el país donde se encuentra ubicada la localidad donde se hará la simulación y de igual manera se menciona la diferencia en horas de Greenwich Mean Time (GMT) y del tiempo de la localidad, siendo siete horas de diferencia (HORA.MX, 2023) (figura 4).

Figura 4. Información del nuevo lugar adicionado a la lista de localizaciones.

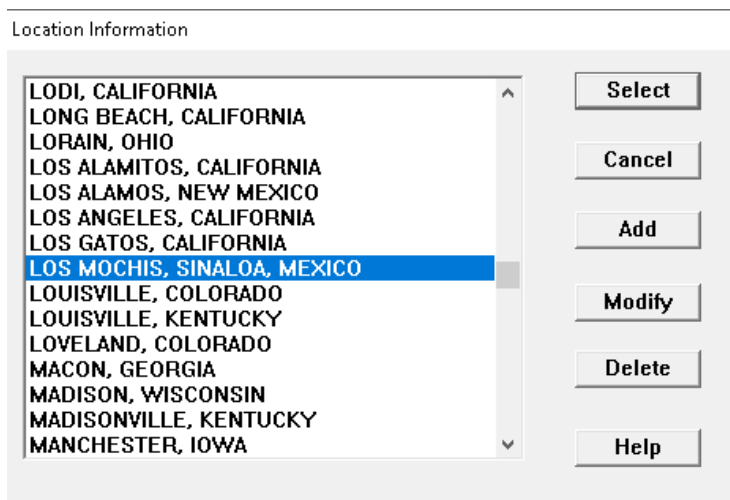


A dialog box titled "Foreign Location Input" with a light gray background. It contains a text input field for "Country name:" with "México" entered. Below this is a section for "Offset from local STANDARD time to GMT:" with a spinner box showing "7" and the text "hours [eastern hemisphere is a negative offset]". The next section asks "Is current model time standard or daylight savings time ?" with two radio buttons: "Standard Time" (selected) and "Daylight Savings Time". At the bottom are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

Una vez ingresados los datos de la localidad donde se realizará la simulación, aparecerá dentro del listado de ciudades y de esta manera se puede seleccionar (figura 5).

Figura 5. Selección de la localización donde se realiza la simulación.



A dialog box titled "Location Information" with a light gray background. It features a list box on the left containing a scrollable list of city names and states. The city "LOS MOCHIS, SINALOA, MEXICO" is highlighted in blue. To the right of the list box are six buttons: "Select", "Cancel", "Add", "Modify", "Delete", and "Help".

Location
LODI, CALIFORNIA
LONG BEACH, CALIFORNIA
LORAIN, OHIO
LOS ALAMITOS, CALIFORNIA
LOS ALAMOS, NEW MEXICO
LOS ANGELES, CALIFORNIA
LOS GATOS, CALIFORNIA
LOS MOCHIS, SINALOA, MEXICO
LOUISVILLE, COLORADO
LOUISVILLE, KENTUCKY
LOVELAND, COLORADO
MACON, GEORGIA
MADISON, WISCONSIN
MADISONVILLE, KENTUCKY
MANCHESTER, IOWA

Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

Después se describe el tipo de edificio donde se realizará la liberación del amoníaco. Para esta etapa de la simulación, te muestran diferentes tipos de edificios donde será el evento, por ejemplo, si es un lugar cerrado como una oficina, o si es un edificio de un solo piso o de dos pisos, en caso de conocer el número de cambio de aire por hora que se realiza en el lugar se puede agregar, y para completar el tipo de edificio debes seleccionar si está rodeado de árboles o arbustos o no existe ningún tipo de barrera (figura 6).

Figura 6. Opciones del tipo de edificación del lugar donde se realiza la simulación.

Infiltration Building Parameters

Select building type or enter exchange parameter Help

☐ Enclosed office building

☒ Single storied building

☐ Double storied building

☐ No. of air changes is per hour

Select building surroundings Help

☒ Sheltered surroundings (trees, bushes, etc.)

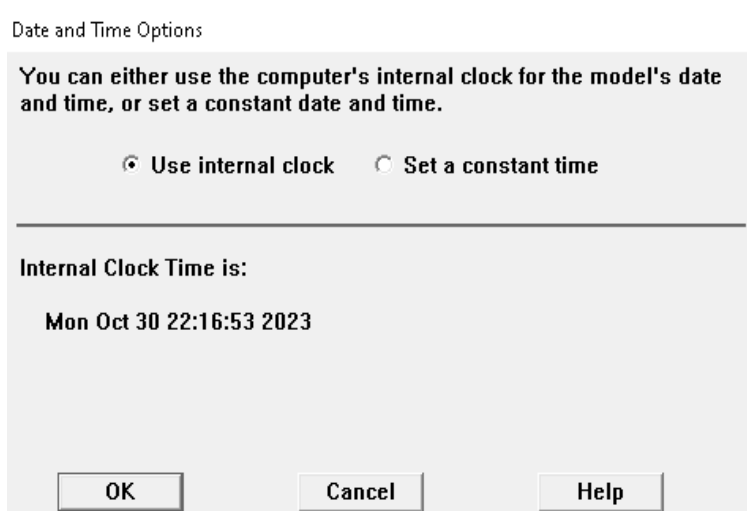
☐ Unsheltered surroundings

OK Cancel

Nota. En la figura se muestra las opciones para el tipo de edificio y los alrededores.
Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

Para la fecha y hora, se recomienda utilizar el reloj interno de la computadora (figura 7).

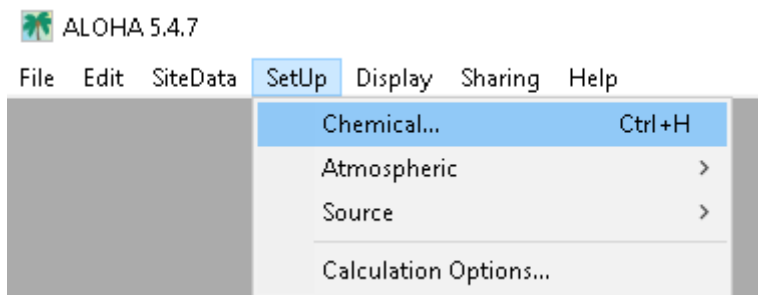
Figura 7. Opciones de seleccionar la fecha y hora de la simulación.



Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

Posteriormente pasamos a la pestaña de “SetUp”, en la cual se muestran las opciones para seleccionar la sustancia química, las condiciones atmosféricas del lugar donde se realiza la simulación y los datos de la fuente donde se libera la sustancia química (Figura 8).

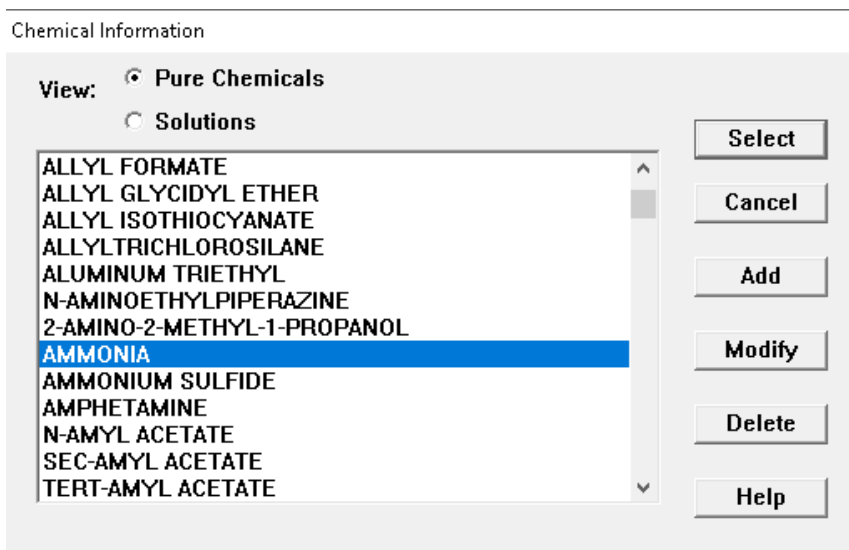
Figura 8. Configuración de la simulación (sustancia química, condiciones atmosféricas y fuente).



Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

En la opción de “Chemical”, aparecerán una gran cantidad de sustancias químicas para ser seleccionada la de interés, para este trabajo se selecciona la sustancia “Ammonia”, inmediatamente el programa te muestra propiedades químicas y físicas del amoniaco. Aloha cuenta con una biblioteca de una amplia cantidad de sustancias químicas y sus propiedades fisico-químicas las cuales utilizará para realizar los cálculos de la simulación (figura 9).

Figura 9. Selección de la sustancia química liberada.



Nota. En la figura se muestra el listado de sustancias químicas peligrosas que pueden ser seleccionadas para realizar la simulación. Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

Para la selección de las condiciones atmosféricas del lugar donde será la simulación, te ofrece la opción que se ingrese de manera manual los datos atmosféricos o los datos que proporciona una estación meteorológica. Dentro de las condiciones atmosféricas que requiere el simulador se encuentra la velocidad del viento la cual puede expresarse en nudos (knots), millas por hora (mph), metros por segundo (metres/sec).

La dirección del viento es necesario ingresarla por sus iniciales en inglés, por ejemplo, suroeste (SW), sureste (SE), Noroeste (NW), noreste (NE), norte (N), sur (S), Oeste (W) Y ESTE (E). De igual manera se ingresa el dato de la altura a la cual se realizó las mediciones anteriores.

Es necesario indicar la nubosidad del lugar donde se realiza la simulación, las opciones son, completamente nublado, parcialmente nublado y despejado (figura 10).

Figura 10. Alimentación de las condiciones atmosféricas que prevalecen en el lugar de la liberación.

Atmospheric Options

Wind Speed is : ☐ knots ☐ mph ☒ meters/sec

Wind is from : Enter degrees true or text (e.g. ESE)

Measurement Height above ground is:

☒  ☐  OR ☐ enter value : ☐ feet ☒ meters

Ground Roughness is :

☒ Open Country ☐ Urban or Forest OR ☐ Input Roughness [Z₀] :

☐ Open Water

Select Cloud Cover :

☐  ☐  ☐ 

☐ complete cover ☐ partly cloudy ☐ clear

OR ☐ enter value : [0 - 10]

Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

La temperatura del aire puede proporcionarse en grados centígrados o grados Fahrenheit, una vez ingresados la velocidad y temperatura del aire, nubosidad, dirección del viento, el programa Aloha, se arroja la clase de estabilidad atmosférica que existe en el lugar de la simulación (figura 11).

Figura 11. Datos atmosféricos del lugar donde se realiza la simulación.

Atmospheric Options 2

Air Temperature is : Degrees ☐ F ☒ C

Stability Class is : ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E ☐ F

Inversion Height Options are :

☒ No Inversion ☐ Inversion Present, Height is : ☒ feet ☐ meters

Select Humidity :

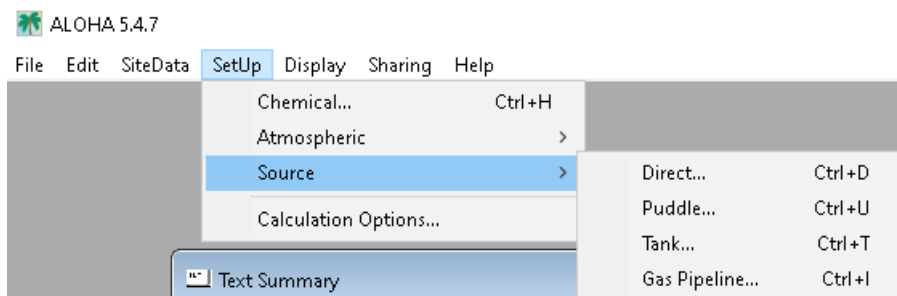
☒  ☐  ☐  OR ☒ enter value : %
[0 - 100]

Nota. Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

Y finalmente el programa pregunta si existe inversión y que altura en pies o metros, y el porcentaje de humedad del lugar, donde las opciones son húmedo, medio o seco, de igual manera tienes la opción de ingresar el valor del porcentaje (100 %, 75 %, 50 %, 25 % o 5 %).

En relación con los datos de la fuente donde se libera la sustancia química y de la cual se hará la simulación, primeramente, se selecciona si es de manera directa, si es forma de charco, si se libera de un tanque o una tubería (figura 12).

Figura 12. Opciones del tipo de fuente de la emisión de la sustancia química.



Nota. En la figura se muestran las opciones de Charco, Tanque o Tubería. Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

En caso de que la liberación sea de un tanque, el programa te pídela forma y las dimensiones de este, por ejemplo, si el tanque es esférico, cilíndrico horizontal, cilíndrico vertical. La longitud y diámetro del tanque es en metros o pies y el volumen en galones o pies cúbicos (figura 13).

Figura 13. Tipo y dimensiones del tanque.

Tank Size and Orientation

Select tank type and orientation:

Horizontal cylinder ☒ Vertical cylinder ☐ Sphere ☐

Enter two of three values:

diameter length volume

☐ feet ☒ meters ☐ liters ☒ cu meters

OK Cancel Help

Nota. En la figura se muestra las medidas del diámetro y largo del tanque. Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

El estado de la sustancia química dentro del tanque puede ser líquido o solamente gas o desconocido. Existen sustancias químicas que en condiciones atmosféricas son gases, pero al almacenarse en un tanque a presión o temperaturas muy bajas, la sustancia pasa a estado líquido (se licúa). O si las condiciones del tanque son atmosféricas el gas dentro del tanque permanecerá en su mismo estado (figura 14).

Figura 14. Estado y Temperatura de la sustancia química dentro del tanque.

Chemical State and Temperature

Enter state of the chemical: Help

☒ Tank contains liquid
☐ Tank contains gas only
☐ Unknown

Enter the temperature within the tank: Help

☐ Chemical stored at ambient temperature
☒ Chemical stored at degrees ☐ F ☒ C

OK Cancel

Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

La cantidad de masa que se encuentra dentro del tanque se puede expresar en libras, toneladas o kilogramos. De acuerdo con la densidad de la sustancia química dentro del tanque, el programa realiza las conversiones para indicar el volumen de llenado del tanque en galones, pies cúbicos, litros o metros cúbicos y mostrar el nivel de llenado del tanque, se recomienda realizar la simulación en las condiciones de llenado máximas (Figura 15).

Figura 15. Volumen y masa de la sustancia química dentro del tanque.

Liquid Mass or Volume

Enter the mass in the tank OR volume of the liquid

The mass in the tank is: ☐ pounds
☐ tons(2,000 lbs)
☒ kilograms

OR

Enter liquid level OR volume

☐ gallons
☐ cubic feet
☒ liters
☐ cubic meters

% full by volume

Nota. En la figura se muestra aparte de la masa y el volumen el porcentaje de llenado del tanque. Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

El programa se da la opción para que se seleccione el escenario que se presenta con la liberación de la sustancia química. Dependiendo de las características fisicoquímicas de la sustancia será el escenario, si se trata de una sustancia inflamable, al momento de liberarse como gas y encuentre un punto de ignición se formara una bola de fuego (BLEVE), si la liberación es en una tubería o un orificio pequeño, la sustancia se libera como un dardo de fuego, y en caso de que sea una sustancia química no flamable, se libera y se dispersa en el aire, dependiendo de las condiciones atmosféricas y topográficas será la distancia que recorrerá (figura 16).

Figura 16. Tipo de falla en el tanque.

Type of Tank Failure

Scenario:
Tank containing a pressurized flammable liquid.

Type of Tank Failure:

☒ Leaking tank, chemical is not burning as it escapes into the atmosphere

☐ Leaking tank, chemical is burning as a jet fire

☐ BLEVE, tank explodes and chemical burns in a fireball

Potential hazards from flammable chemical which is not burning as it leaks from tank:

- Downwind toxic effects
- Vapor cloud flash fire
- Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion

OK Cancel Help

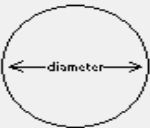
Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

Es necesario indicar la forma de la abertura por donde se liberará la sustancia química, puede ser una abertura circular o rectangular, si la abertura es circular es necesario indicar el diámetro en pulgadas, pies, centímetros o metros, si la abertura es rectangular se indica el largo y ancho en las mismas unidades del diámetro. Se indica si la liberación es por una abertura circular o por una tubería (figura 17).

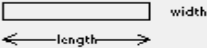
Figura 17. Área y tipo de la fuga en el tanque.

Area and Type of Leak

Select the shape that best represents the shape of the opening through which the pollutant is exiting



☒ **Circular opening**



☐ **Rectangular opening**

Opening diameter:

☒ **inches**

☐ **feet**

☐ **centimeters**

☐ **meters**

Is leak through a hole or short pipe/valve?

☒ **Hole**

☐ **Short pipe/valve**

OK

Cancel

Help

Nota. En la figura se muestra los datos que mejor muestran la forma de la abertura.
Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

Por último, se propone en que altura del tanque podría ser la abertura por donde se liberaría la sustancia química, en el fondo, en la parte superior o en alguna parte del medio del tanque (figura 18).

Figura 18. Altura de la abertura en el tanque.

Height of the Tank Opening



The bottom of the leak is:

☐ in ☐ ft ☐ cm ☒ m

above the bottom of the tank

____ OR ____

☐ % of the way to the top of the tank

OK

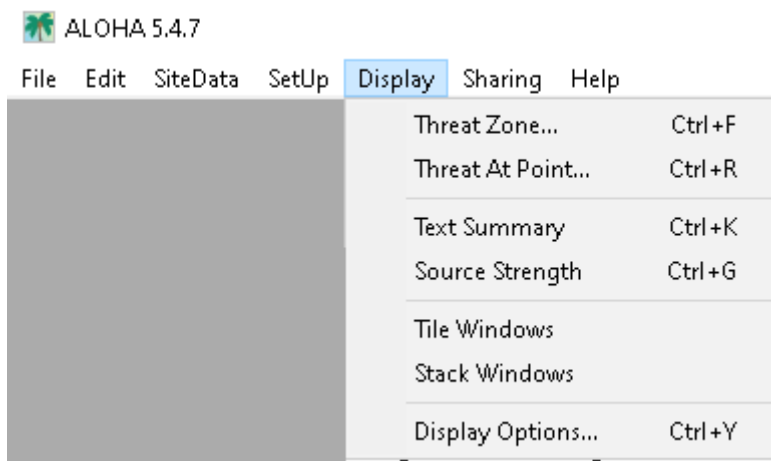
Cancel

Help

Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

Una vez ingresado los datos de la sustancia química, condiciones atmosféricas e información de la fuente emisora, se podrán mostrar los resultados de la simulación. Se puede visualizar la zona de amenaza (threat zone), la amenaza en el punto (threat at point), y un resumen de la información empleada en la simulación (text summary), la velocidad con que es liberada la sustancia química en kilogramos/minuto (source strength) y en display options puedes escoger el sistema de unidades en las que se puede mostrar los resultados, ya sea unidades inglesas o unidades métricas (Figura 19).

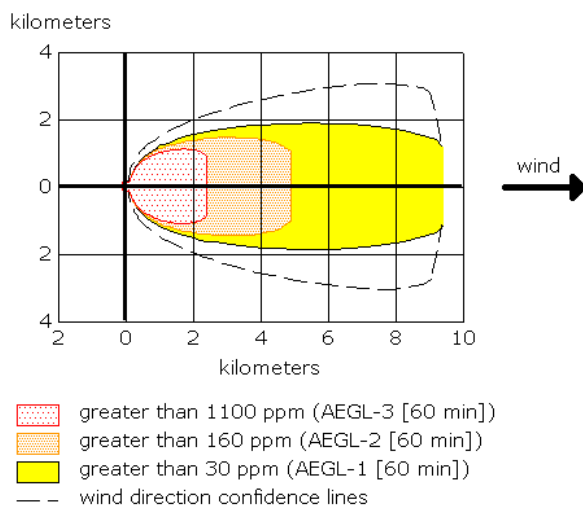
Figura 19. Opciones para mostrar los resultados de la simulación.



Nota. En la figura se muestra las opciones para dar los resultados en diferentes formas.
Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

En la zona de amenaza (threat zone) se muestra las áreas de la dispersión a diferentes concentraciones mediante el uso de colores, rojo muestra la concentración más alta, naranja concentración media y amarilla la menor concentración (figura 20).

Figura 20. Áreas de amenaza por la liberación de la sustancia química.



En la figura 21, se muestra el resumen de la información mostrada en los pasos anteriores.

Figura 21. Resumen de información sobre la sustancia química, condiciones atmosféricas y fuente.

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: AMMONIA
 CAS Number: 7664-41-7 Molecular Weight: 17.03 g/mol
 AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min): 1100 ppm
 IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm
 Ambient Boiling Point: -33.4° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 3 meters/second from SW at 3 meters
 Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
 Air Temperature: 30° C Stability Class: E
 No Inversion Height Relative Humidity: 75%

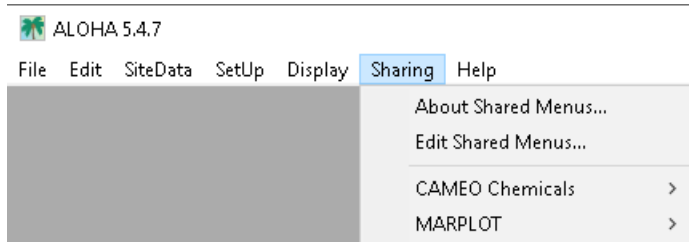
SOURCE STRENGTH:
 Leak from hole in horizontal cylindrical tank
 Flammable chemical escaping from tank (not burning)
 Tank Diameter: 3 meters Tank Length: 10 meters
 Tank Volume: 70.7 cubic meters
 Tank contains liquid Internal Temperature: -30° C
 Chemical Mass in Tank: 45000 kilograms
 Tank is 94% full
 Circular Opening Diameter: 2 meters
 Opening is 1.5 meters from tank bottom

Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

Y como resultado de la simulación, a una distancia de 2.25 kilómetros se tiene una concentración de 1,100 partes por millón (ppm), a los 5 kilómetros se tiene 160 ppm y a una distancia de 9.2 kilómetros se tiene una concentración de 30 ppm.

Los resultados anteriores también pueden ser mostrados sobre un mapa del lugar donde se encuentra la fuente de emisión del amoníaco. Para esta ocasión se empleó el programa MARPLOT, el cual puede ser descargado de la siguiente liga: <https://www.epa.gov/cameo/marplot-software> (figura 22).

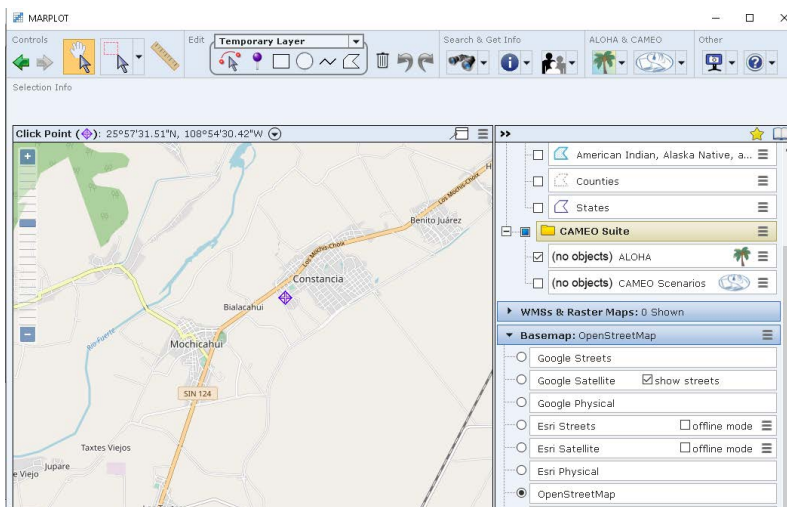
Figura 22. Opciones para mostrar los resultados sobre un mapa.



Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

MARPLOT, muestra cualquier ubicación por lo que se puede colocar las zonas de amenazas que se consideren para la simulación que se está realizando (figura 23).

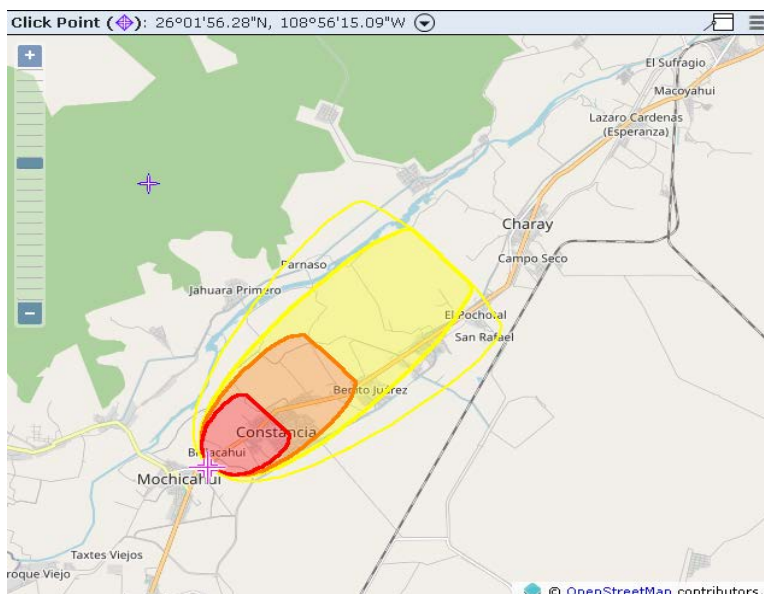
Figura 23. Mapa en Marplot para mostrar los resultados.



Fuente: Office of Emergency Management, EPA.

De esta manera, se puede visualizar de una mejor forma las zonas a las cuales llegará el amoníaco y en qué concentraciones (figura 24).

Figura 24. Resultados mostrados en mapa.



Discusión

Con el uso del programa Aloha se pueden simular diferentes eventos en lugares donde se emplean sustancias químicas peligrosas, desde el nivel de radiación térmica de un charco de fuego para el caso de derrame de un combustible, o una explosión por expansión del vapor de un líquido en ebullición (BLEVE) para el caso de almacenamiento a presión de algún gas inflamable, o un dardo de fuego igualmente para un gas inflamable almacenado a presión en un tanque pero que es liberado por una tubería o una pequeña abertura circular y también la simulación de liberación de una sustancia toxica no inflamable.

De acuerdo con la simulación mostrada en los resultados anteriores, se puede decir que la liberación de 45,000 kilogramos de amoníaco de manera casi instantánea se desplazara hasta un poco más de nueve kilómetros teniendo una concentración a esta distancia de 30 ppm. Exposiciones de amoníaco a un nivel de 100 ppm provocan irritaciones de las mucosas de la nariz y garganta.

Y 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. Las personas que se encuentren en dirección del viento a aproximadamente 5 kilómetros desde la fuente donde se originó la liberación podrían presentar irritación de las mucosas de la nariz y garganta y las que se encuentren aproximadamente a tres kilómetros podrían perder la vista.

Para el caso del trabajo de Soto (2022) donde se liberaron 25,000 kilogramos de nitrato de amonio (NH_4NO_3), la zona de amenaza resultó de 5 kilómetros, aunque el radio de afectación fue el mismo para los dos casos, se emplearon diferentes masas y distintas sustancias químicas. Cruz (2013), realizó una simulación de una fuga de amoniaco empelando 4,400 kg de amoniaco, teniendo como resultado 330 metros como área de amenaza, existe en proporción semejanza con los resultados obtenidos en este trabajo.

Dependiendo de la cantidad de masa que es liberada las sustancias químicas, las condiciones atmosféricas y las características de la fuente es la distancia que recorrerá el gas en el aire y por lo tanto los efectos que representará a la salud y medioambiente.

Para obtener un mejor análisis de los eventos que se pueden presentar dentro de una empresa que maneja sustancias químicas peligrosas, existe la opción de realizar más una simulación al emplear distintos escenarios, por ejemplo, utilizando condiciones atmosféricas que predominan en invierno y otra simulación con datos que predominan en verano.

Conclusión

De acuerdo con la legislación ambiental mexicana, las empresas que manejen, transporten, almacenen o hagan uso de sustancias químicas peligrosas deberán someter a evaluación un estudio e riesgo simulando la liberación de estas sustancias, con el objetivo de determinar las zonas de afectación y por lo tanto que lugares serán afectados y en qué grado. El programa Aloha, al igual que otros programas son una herramienta valiosa que ayuda a la realización de estudios de riesgo y que de esta manera las empresas cumplan con el deber de informar a las autoridades y sociedad el alcance de afectación de se tendrá en caso de la liberación de una sustancia peligrosa, y de esta manera la autoridad competente en materia de riesgo ambiental pueda determinar con estudios cuantitativos si el lugar propuesto para realizar una obra que maneje sustancias químicas peligrosas es viable de llevarse a cabo.

Referencias

- Cruz, L., A. (2013). *Análisis de riesgo por fuga de amoníaco en tanque de almacenamiento empleando modelo computacional*. [Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio Digital del Centro de Información y Documentación.
- Del Sole, M., B. (2019). *Simulación de incidentes en el transporte de materiales peligrosos en Gran la Plata*. [Tesis, Licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de la Plata]. Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/81818/Documento_completo.pdf-PDFA2u.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Duche, C., P. (2021). *Evaluación cuantitativa de explosión por riesgo químico en sistemas presurizados de la unidad separadora de aire de Linde Ecuador S.A.* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Guayaquil]. Repositorio de la Universidad de Guayaquil.
- EPA. 2022. ALOHA Software. *United State Enviromental Protection Agency*. Recuperado de: <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>.
- Fluideco. 2019. *¿Qué es el amoníaco, ¿cómo se obtiene y para qué se utiliza?* Recuperado de: https://fluideco.com/amoníaco-utilidades_usos/#:~:text=El%20amoníaco%20es%20un%20producto,se%20evapora%20muy%20de%20prisa.
- Gobierno de la Ciudad de México. (s.f). *Guía para el manejo seguro del gas LP*. Recuperado de: <https://www.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/61f/184/ab0/61f184ab0bb26681477942.pdf>
- Gutierrez, M. (2014). *Salud Ocupacional- Inhalacion Masiva de Amoníaco*. Obtenido de salud ocupacional- inhalacion masiva de amoníaco.
- Lana Sarrate. (2020). *Hablando de gases: el gas cloro*. Recuperado de: <https://www.lanasarrate.es/blog/deteccion-gas-cloro/#:~:text=El%20cloro%20se%20utiliza%20principalmente,de%20aguas%2C%20pl%C3%A1sticos%2C%20etc>.
- León, A. (2022). *Modelización de accidentes en una refinería de Tarragona usando ALOHA*. [Tesis de Maestría. Dpto. Ingeniería Química y Ambiental Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla]. Recueprado de: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/72347/fichero/TFM-2347+Le%C3%B3n+Sierra%2C+A..pdf>
- Martinez, J. C. (Viernes de agosto de 2006). Fuga de gas de amoníaco mata a dos en Sinaloa. *EL UNIVERSAL*. Recuperado de <https://archivo.eluniversal.com.mx/estados/62312.html>

- Parra Abril, C. A., Ortiz Rey, J. F., & Meneses Velosa, S. L. (2015). Uso de herramientas de ingeniería para la gestión de riesgo tecnológico en una central de abastecimiento agrícola con aglomeraciones permanentes en Bogotá. *Avances Investigación en Ingeniería*, 12(1). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.277>
- National Academy of Science. (1983). *Risks Assessment in Federal Government Managing the Process*. National Academy Press. Whashington D.C.
- NJHealth. (2016). *Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas-Amoniac*. <https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0084sp.pdf>
- Pelayo, J. (2001). Curso-Taller de Mecánica Automotriz. *Facultad de Ingeniería UNAM*. Recuperado de: http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/14676/1/decd_2897.pdf
- SEMARNAT. (2008). Actividades Altamente Riesgosas. *Compendio de Estadísticas Ambientales 2008*. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_2008/compendio_2008/compendio2008/10.100.8.236_8080/ibi_apps/WFServlet90e3.html
- SEMARNAT. (2018). Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. *Riesgo Ambiental*. Recuperado de: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap7.html#tema5>
- Soto, S., A. Alcantara M., E. (2022). Determinación de consecuencias ocasionadas por la explosión de nitrato de amonio en Celemania, Coahuila. *Repositorio Institucional Zaloamati*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Suroeste Grupo. (2023). *Usos del Gas Natural*. Recuperado de: <https://grupo-suroeste.es/blog/usos-del-gas-natural/>.
- Torres, E. (2018). Evacuan a 3 mil 604 personas tras fuga de amoníaco en Guasave. *Luz Noticias*, Recuperado de: <https://www.luznoticias.mx/multimedia/evacuan-a-3-mil-604-personas-tras-fuga-de-amoniaco-en-guasave/53283>.
- Valdés L., Ortega B., Consuegra G. (2019) “Technological risks map associated with dangerous goods management in ports of Barranquilla”, *Prospectiva*, Vol 17, N° 1, 45-50, 2019.

