

ESTUDIO DE LA DISPERSIÓN DE GASES LIVIANOS TÓXICOS EMPLEANDO SIMULACIÓN MONTE CARLO CÁLCULO DE DISTANCIAS SEGURAS PARA PLANES DE EVACUACIÓN

Urquiza, Berenice¹; Kraft, Romina¹; Orellano, Santiago¹; Mores, Patricia¹; Scenna, Nicolás¹

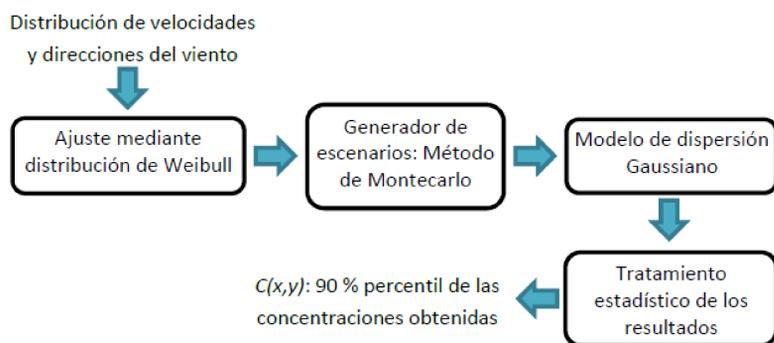
¹CAIMI, Centro de Aplicaciones Informáticas y Modelado en Ingeniería, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Zeballos 1346, S2000BQA Rosario, Argentina.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los **accidentes en la industria** comienzan con la **fuga de una sustancia peligrosa**. La dispersión de gases/vapores dañinos para la salud de las personas es un foco importante de preocupación. Por ende, predecir la dispersión de las sustancias presentes en el inventario de una planta, conociendo que las condiciones atmosféricas son altamente influyentes en los resultados, es de interés para diseñar **planes de evacuación efectivos**. En la confección de dichos planes se debe contemplar que el nivel de daño causado puede variar **desde molestias leves hasta la muerte** en función de la naturaleza de la sustancia, el tiempo de exposición y la distribución espacial de la concentración en la atmósfera, siendo de importancia considerar también efectos no fatales, como mareos, parálisis temporal, pérdida de la visión, etc., que disminuyen la capacidad de respuesta y dificultan la evacuación. El modelado de la dispersión del tóxico se realiza mediante el empleo del **modelo gaussiano** y las variables estocásticas involucradas se abordan mediante el empleo del **método Monte Carlo**. A través de un análisis estadístico se definen los puntos donde se manifiestan concentraciones inferiores a los umbrales (AEGL) en el 90 % de los escenarios evaluados.

METODOLOGÍA

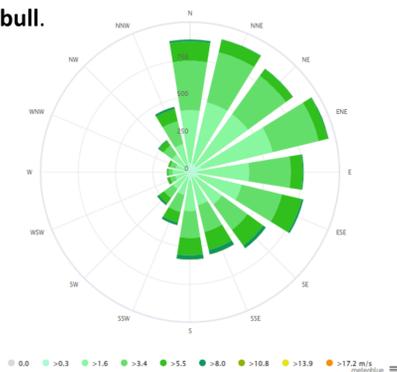
Estimación de distancias de seguridad dada la dispersión de gases livianos



Las variables ambientales más influyentes en la dispersión de un gas liviano son la **dirección y velocidad del viento**, y la **estabilidad atmosférica**. A partir de un relevamiento histórico de las direcciones y velocidades de viento presentes en los alrededores de la ciudad de Rosario, se realizó un ajuste para cada dirección mediante la **distribución de Weibull**.

Luego se aplicó el método de **Monte Carlo** Permitiendo definir un conjunto de escenarios a evaluar. Esos escenarios se simulon mediante la implementación del **Modelo de Dispersión Gaussiano**.

Finalmente, se determinaron las distancias en cada dirección donde se manifiestan las concentraciones correspondientes a distintos valores umbrales de exposición reconocidos internacionalmente.



IDENTIFICACIÓN DE LA DEMANDA SOCIOPRODUCTIVA

La naturaleza estocástica de la dispersión de tóxicos exige el desarrollo de metodologías y herramientas para su evaluación cuantitativa. En este marco, se busca implementar una metodología materializada en una herramienta computacional desarrollada en **Excel** que permita determinar de manera rápida, distancias de seguridad en el caso de la fuga de cualquier gas liviano, en este caso en particular **-HCN-**. Esta resulta de particular importancia en el Análisis Cuantitativo de Riesgos.

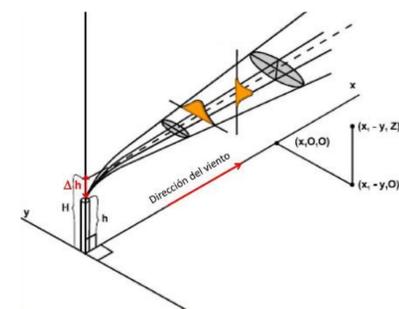
MODELO MATEMÁTICO

El **modelo de dispersión Gaussiano de gases livianos** utilizado se fundamenta a partir del siguiente conjunto de hipótesis: el contaminante es liberado a la atmósfera en forma continua desde una fuente puntual con un caudal (Q [g/s]) constante; se considera que el viento es estacionario y con una velocidad uniforme ($u \neq u(x,y,z,t)$ [m/s]). Bajo estas hipótesis, las ecuaciones de variación para la transferencia de masa pueden simplificarse, e integrarse, obteniéndose la Ec. 2.

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (2)$$

Donde:

C es la concentración del contaminante [g/m³];
 σ_y y σ_z representan los coeficientes de dispersión que pueden estimarse en función de la estabilidad atmosférica y la distancia desde la fuente;
 H representa la altura efectiva de la fuente.



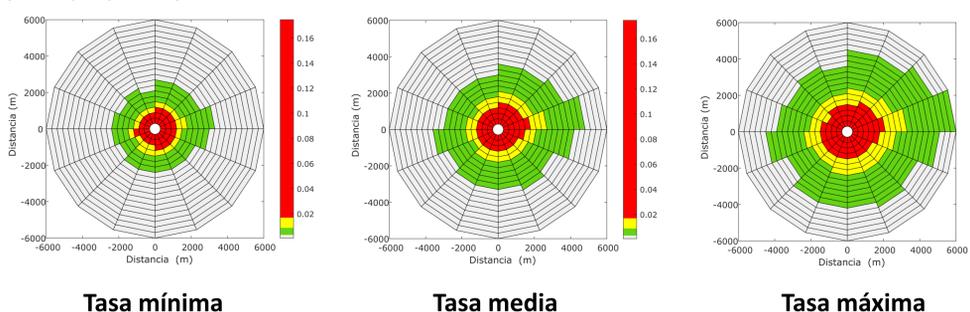
Tratamiento estadístico de los resultados :

Se procede a la discretización del espacio (inmediaciones de la ubicación de la **fuente puntual** considerada), adoptando un $\Delta x, \Delta y$ igual a **300 m**, obteniendo una grilla de puntos de 40 x 40. Para cada punto espacial (x,y) se calculó la concentración asociada a cada uno de los **100 escenarios** evaluados por dirección de viento, obteniendo una distribución de concentraciones. De esa distribución, se estima la concentración con un 90% de confianza asumiendo que dicho valor caracteriza al punto espacial (x,y) en cuestión.

RESULTADOS

Para determinar las distancias de seguridad se utilizaron los límites de exposición **AEGL** (Acute Exposure Guideline Level). Los niveles de referencia de exposición aguda establecen niveles de concentración química que representan un nivel definido de riesgo para las personas. Para el cianuro de hidrógeno, considerando un tiempo de exposición de 60 minutos, los AEGL adoptan los siguientes valores: **AEGL-1: 0.00221 g/m³; AEGL-2: 0.00784 g/m³ y AEGL-3: 0.01655 g/m³**. Mediante la implementación del modelo se lograron obtener las curvas de iso-concentración correspondientes a los niveles AEGL con un **90% de confianza**.

Se presentan las zonas de riesgo ante la dispersión accidental de dicha sustancia obteniéndose tres diagramas presentando la dispersión de cianuro de hidrógeno con respecto a las siguientes tasas de evaporación: **tasa mínima (8 kg/min), tasa media (13,4 kg/min) y tasa máxima (18,8 kg/min)**, evidenciando cada nivel de riesgo de acuerdo a éstos índices para las distancias evaluadas en cada



CONCLUSIÓN

Se obtuvieron distancias de hasta **6 Km** desde la fuente donde se manifiesta el nivel de AEGL-1 para el máximo caudal evaluado. A partir de las figuras, puede observarse una elevada variabilidad de la distancia de seguridad con respecto a la posición relativa entre la fuente y el punto receptor. El modelo de dispersión atmosférica generado es una herramienta que puede aplicarse no sólo para obtener distancias de seguridad ante una fuga de cianuro de hidrógeno, sino también para cualquier otro gas liviano que se emita al ambiente. El **cálculo de distancias de seguridad** ante accidentes de esta magnitud es indispensable para disponer de datos anticipados de los efectos de la **dispersión de contaminantes gaseosos**, lo que supone para las industrias un poderoso elemento con el fin de anticiparse y establecer acciones correctivas que eviten posibles accidentes, como así también la correcta elaboración **planes de evacuación** de personal operativo.

En futuros trabajos, se incorporarán mediante el método de Monte Carlo, las variables estocásticas no consideradas hasta aquí. Entre ellas la altura de nivel de líquido en el tanque y el diámetro de agujero, usando funciones de densidad de probabilidad para estas. El desarrollo de tal herramienta considerando toda la cadena estocástica representa una herramienta extremadamente valiosa desde el punto de vista de la gestión del riesgo.