

## CAPÍTULO 6

# Modelos utilizados en emergencias

*Karina B. Balbi*

Los modelos aplicados en emergencias son muy utilizados como modelos de respuesta y herramientas de planificación. En esta sección se desarrollarán los conceptos básicos de dichos modelos. Se abordarán casos de aplicación real utilizando el modelo ALOHA. Se explicarán niveles de preocupación: AEGL y otros, como así también la interpretación de resultados.

El término emergencia química es utilizado para referirse a un evento que resulta en la emisión no controlada de una o varias sustancias peligrosas para la salud humana, el ambiente y las construcciones edilicias o los materiales, con costos económicos asociados. En este marco se incluyen incendios, explosiones, fugas o descargas de sustancias tóxicas.

Frente a una emergencia química, es necesario conocer el mecanismo por el cual se producen los efectos sobre la comunidad impactada, y de este modo, identificar las condiciones “pre-impacto” que hacen a las poblaciones vulnerables. Disponer de esta información permite planificar una intervención eficiente ante la ocurrencia de un incidente (Sánchez, 2012). Los especialistas en la materia de prevención y gestión de riesgos aseguran para mejorar la respuesta frente a una emergencia es necesario optimizar la preparación. La planificación se basa en un análisis de los riesgos y está estrechamente vinculada con los sistemas de alarma temprana. No resulta factible una correcta planificación o una intervención eficiente, si se desconocen los procesos involucrados en el lugar del evento, las características de la fuga o derrame, cómo se dispersa la pluma, y su potencial impacto sobre la población. Este desconocimiento puede incurrir en, por ejemplo, el inapropiado uso de los recursos (en general limitados), toma de decisiones no acertadas, etc.

Asimismo, para obtener respuestas acertadas a situaciones de emergencias, es necesario contar con una simulación que represente eficazmente al fenómeno y así facilitar una evaluación temprana de los alcances del evento, y del grado de impacto sobre la población y los bienes.

## Algunos modelos que aplican a emergencias químicas

Existe una serie de modelos que sirven para evaluar escenarios de emergencias y planificar la respuesta a las mismas. En general se caracterizan por trabajar sobre un tipo específico de modelo de dispersión de aire que se ocupa de fugas o liberaciones de índole accidental.

Algunos ejemplos se describen brevemente a continuación (Lakes Environmental, 2022):

- **SLAB View** (*Emergency Release Dense Gas Model*): es una interfaz gráfica del modelo SLAB, modelo de dispersión atmosférica para gases más densos que el aire. Se considera una herramienta muy útil para predecir las zonas peligrosas y los impactos potenciales de las emisiones accidentales, ya que permite mostrar cómo se desarrolla la liberación a través del tiempo, así como cuál será la huella global de la liberación.
- **CBRNE Web** (*Chemical Biological Radiological Nuclear & Explosive Model*): proporciona información sobre liberación de agentes químicos, biológicos, radiológicos y nucleares, brindando soluciones de modelado de los mismos y haciendo previsión de potenciales explosivos. Agrega datos a sistemas de mando y control ya existentes.
- **SEVEX View** (*Emergency Release Dense Gas Model with Complex Terrain*): es un modelo 3D para modelar gases densos que avanzan en un terreno complejo. Este modelo es extremadamente poderoso, capaz de proporcionar información muy realista respecto del entorno del accidente.
- **ALOHA** (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*): es un modelo de respuesta a emergencias destinado principalmente para el despliegue rápido de respuesta, así como para su uso en la planificación previa de emergencia. Incorpora datos como intensidad de la fuente, y aplica tanto modelos Gaussianos como de gases densos. Posee además una extensa biblioteca de propiedades químicas.

La principal diferencia entre los ejemplos previos, más allá de las potencialidades propias para la modelización del fenómeno que se presentaron brevemente, es que los primeros tres son softwares comerciales y el último es de acceso gratuito.

### **ALOHA® (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*)**

ALOHA® es utilizado principalmente en emergencias para el despliegue rápido en la etapa de respuesta, así como para su uso en la planificación previa a la emergencia. (K.B., 2015) Es una marca registrada por el gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica, recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de tal país (US EPA). En la actualidad, ALOHA es aplicado por muchos organismos gubernamentales, consultoras y universidades para estimar en forma rápida la dispersión de los contaminantes y su impacto sobre la población.

Este software se diseñó pensando en los primeros respondedores de emergencias y desastres, considerando que no suelen tener experiencia en el modelado de la dispersión atmosférica. De este modo, ALOHA es extremadamente fácil de usar y posee menús desplegables con indicaciones, y mensajes de advertencia y precaución. Se ejecuta en sistema operativo Windows.

ALOHA posee un interesante modelo de emisión a través del cual puede predecir las tasas con que las sustancias químicas pueden escapar a la atmósfera, desde tuberías rotas de gas, fugas de tanques, y charcos en evaporación. La dispersión de los contaminantes en aire es estimada bien por un modelo de gases densos o por un modelo gaussiano. Cuenta con una extensa biblioteca de propiedades químicas que facilita la aplicación del software, pero también dispone de la opción de carga de nuevas sustancias y propiedades químicas. Los resultados del modelo se presentan tanto en formato de texto como gráfico. Este último representa el área de afectación a sotavento de la emisión, diferenciando zonas en donde las concentraciones pueden exceder un nivel umbral establecido por el usuario (Ej. AEGL, TEEL, ERPG, etc.). Estos niveles de preocupación se abordarán más adelante.

Las salidas gráficas del software, bajo la extensión de .kml, pueden exportarse a cualquier sistema de información geográfica (SIG) y mostrarse como una capa más sobre el mapa del escenario en cuestión. ALOHA hace uso también de información meteorológica para estimar la dispersión de los contaminantes, y esta puede provenir desde estaciones de monitoreo portátiles.

Los cómputos de ALOHA representan un compromiso entre exactitud y velocidad de ejecución: se ha diseñado para que genere buenos resultados con la suficiente rapidez y que pueda utilizarse en la etapa de respuesta a emergencias químicas.

Como cualquier modelo, ALOHA no puede ser más preciso que la información que se le suministra para trabajar. Pero aun cuando se ingresa información fiable a la entrada del modelo, ALOHA no puede garantizar la bondad de sus resultados bajo ciertas condiciones que se describirán a continuación:

- Velocidades de viento muy bajas
- Condiciones atmosféricas muy estables
- Cambios de la dirección del viento y efectos de conducción del terreno.

Finalmente, es importante aclarar que ALOHA no da cuenta de los efectos frente a incendios o reacciones químicas, particulados y topografía. ALOHA se ocupa específicamente de los peligros para la salud humana asociados con la inhalación de vapores químicos tóxicos, radiación térmica de incendios químicos y los efectos de la onda de presión de explosiones de nubes de vapor.

## Escenarios posibles de modelación

La introducción de datos al software ALOHA se centra en la descripción más precisa del escenario de descarga accidental. Se puede contar con información precisa y certera, pero en la práctica habitual no siempre se dispone de todos los valores o antecedentes. Se define entonces uno o más escenarios hipotéticos para estimar el comportamiento de la sustancia química a evaluar. Los criterios de selección tienen en cuenta los siguientes ítems:

### 1. Sustancia química

Para el uso de ALOHA como herramienta de planificación: en virtud de los antecedentes de emergencias químicas, las sustancias que prevalecen, sus características toxicológicas, las fuentes locales que la generan o utilizan durante los procesos productivos, cantidades utilizadas o almacenadas y la factibilidad de ser modeladas se procede a seleccionar el compuesto a investigar. También es factible seleccionar una sustancia de interés y enfocar la modelación en ella.

### 2. Emisión

Si se trata de una fuga accidental, evento que se modela con frecuencia, la emisión está condicionada por el contenedor, las características termodinámicas de la sustancia, las condiciones de almacenamiento (temperatura y presión) la posición y dimensiones de la rotura. En función de estos parámetros el fluido irrumpe en el exterior en forma monofásica (totalmente gasificado o prácticamente líquido) o bifásica. La fase líquida se extiende sobre el terreno y se evapora. Si la sustancia emitida tiene una densidad similar o menor a la del aire (gas neutro o ligero), o si la mezcla de la sustancia y el aire en el momento de la emisión es muy intensa, se pasa a una etapa de dispersión pasiva.

### 3. Contenedores

Se clasifican en tres tipologías: depósitos, tuberías conectadas a depósitos y tuberías aisladas.

La geometría de los depósitos tiene escasa relevancia en la dinámica de la emisión, siendo la altura del recipiente la característica más destacable por su influencia en la dilución inicial, si la fuga se produce por la parte superior del equipo. Por ello, la forma de los contenedores, ya sean de almacenamiento o equipos de procesos, pueden asimilarse a esferas o cilindros (verticales u horizontales).

En las tuberías es importante conocer si están o no conectadas a depósitos. Esta información define, en caso de sufrir una rotura, cuál será el volumen de emisión y/o derrame producido, pudiendo en ciertas condiciones ser el caudal de emisión decreciente o cíclico.

### 4. Fugas

En el momento de producirse es muy importante conocer el estado físico de los fluidos. Cabe distinguir entre gases, gases licuados y líquidos, que dependen de la presión y temperatura de almacenamiento.

El tamaño del orificio de fuga establece la duración de la emisión (gas) o vertido (líquido) estableciéndose:

- Si el orificio es grande en relación al volumen del recipiente (siendo la rotura catastrófica el caso extremo) la irrupción suele ser muy rápida (instantánea)
- Si el orificio es pequeño con relación al volumen del recipiente se produce una fuga continua, aunque en general de caudal decreciente. El tipo de fuga depende del estado físico del fluido y de la situación (altura del orificio en el en el contenedor), salvo que se trate de gas almacenado a presión.

## 5. Meteorología

Cuando acontece una emisión accidental de una sustancia química y ésta se mezcla con el aire dando lugar a la formación de una nube tóxica, la dinámica atmosférica juega un rol preponderante. Los fenómenos relacionados con estos procesos, en especial mezcla y dispersión, se producen en la capa de aire más próxima al suelo, denominada capa límite, cuya altura puede oscilar entre 200 y 1000 metros. Desde el punto de vista fluidodinámico, es la capa más compleja por su interacción con la litosfera e hidrosfera. Los parámetros meteorológicos más significativos que intervienen en la misma son los que a continuación se detallan, y representan las diferentes variables a combinar en el momento de correr el modelo planteado.

- a. Velocidad del viento: tiene gran importancia en la dispersión, ya que a modo de aproximación, se entiende que la concentración del producto fugado en la dirección del viento resulta inversamente proporcional a esta magnitud. La velocidad varía con la altura. Por ello, es necesario referenciar la altura a la que se realiza la medida.
- b. Dirección del viento: condiciona la dirección del transporte de sustancias fugadas y, por consiguiente, su impacto. A nivel de micro y mesoescala (extensiones con distancias hasta 10km), la topografía, la presencia de obstáculos y la proximidad al mar, influyen considerablemente en la dirección del viento.
- c. Persistencia del viento: expresa el número de ocasiones que en períodos determinados la dirección del viento permanece estable. Este parámetro permite prever los posibles cambios de dirección de la nube y, por consiguiente, las probables localizaciones de los impactos.
- d. Temperatura: del ambiente que influye en la cinética de las reacciones de transformación de las sustancias fugadas en el aire, acelerando generalmente estos procesos. De la temperatura dependerán parámetros como la densidad del aire y de la nube, la presión de vapor, etc.
- e. Presión atmosférica: a nivel del suelo está relacionada con la estabilidad. A escala sinóptica (para distancias superiores a 100km) se producen dos grandes movimientos rotacionales provocados por diferencias térmicas en grandes extensiones de litósfera e hidrósfera y las fuerzas de Coriolis: las borrascas (presiones bajas, inestabilidad) y los anticiclones o zonas de alta presión (condicionan situaciones de estabilidad).

- f. Humedad: provoca la formación de aerosoles líquidos cuando el producto fugado es higroscópico (amoníaco, cloruro de amonio, cloruro de hidrógeno) y puede transformar las nubes ligeras en pesadas al aumentar la masa molecular. También influye en los procesos de transformación
- g. Pluviosidad: resulta importante desde el punto de vista de la eliminación de los contaminantes atmosféricos, incluso para los productos insolubles.
- h. Radiación solar: es el fenómeno primario más importante que dinamiza los movimientos de la atmósfera y, además, propicia las reacciones fotoquímicas (responsables en parte de la transformación de los contaminantes).
- i. Turbulencia atmosférica: es el mecanismo más importante que interviene de manera decisiva en la mezcla y dispersión de las emisiones accidentales. La misma puede diferenciarse en turbulencia de origen mecánico y de origen térmico. La primera está provocada por la velocidad horizontal del aire, su interacción con el suelo y la geometría, distribución y altura de los obstáculos presentes. La turbulencia de origen térmico está condicionada por el perfil vertical de temperatura que provoca los movimientos verticales del aire.

#### 5.1. Clases de Estabilidad Atmosférica

Los parámetros atmosféricos son críticos para el uso de modelos de dispersión de contaminantes. En efecto, los coeficientes de dispersión que aparecen en las fórmulas Gaussianas, están determinados por el mezclado o poder dispersivo del flujo turbulento dentro de la capa límite atmosférica. Al respecto, Pasquill propuso un método que permite asociar diferentes parámetros atmosféricos a seis categorías de estabilidad:

- A extremadamente inestable
- B moderadamente inestable
- C ligeramente inestable
- D neutral
- E ligeramente estable
- F moderadamente estable

#### 6. Rugosidad

Se conoce como rugosidad del terreno al efecto conjunto de la superficie del terreno y los obstáculos, los cuales conducen a un retardo del viento cerca del suelo. La vegetación y las edificaciones son ejemplos de elementos de la rugosidad, no así las colinas largas y suaves. La rugosidad de un área dada está determinada por el tamaño y distribución de los elementos de rugosidad que contiene, por tal motivo a cada tipo de terreno se le puede asociar una clase de rugosidad. En términos físicos, la rugosidad es la altura sobre el suelo en que la velocidad media del viento es igual a cero, si el perfil es logarítmico. Comúnmente esta es definida con la variable  $Z_0$

El grado de turbulencia atmosférica influye en la rapidez con que una nube contaminante que se desplaza con el viento, se mezcla con el aire que la rodea, y luego se diluye por debajo de su NP (nivel de preocupación), es decir el umbral de concentración del contaminante por encima de la cual puede revestir peligro. La fricción entre el suelo y el aire que circula sobre éste, es una de las causas de la turbulencia atmosférica denominada turbulencia mecánica, cuanto más rugosa es la superficie del suelo, mayor es la turbulencia que se manifiesta. El software ALOHA requiere información acerca de la rugosidad del suelo en la zona, a favor del viento durante una descarga, pues esta característica de la superficie perturba el flujo del aire.

## Simulación con ALOHA de los potenciales escenarios de emisión

Para ejecutar el ALOHA se introduce información en una serie de “cuadros de diálogo” (ventanas) (ALOHA®, 2022) para describir un escenario. Los datos de entrada al modelo son completados en el siguiente orden:

1. Selección de *Ubicación* en el menú Datos del Sitio. La lista de nombres de ciudades incluidas comprende localidades de los Estados Unidos (ver Figura 6.1).

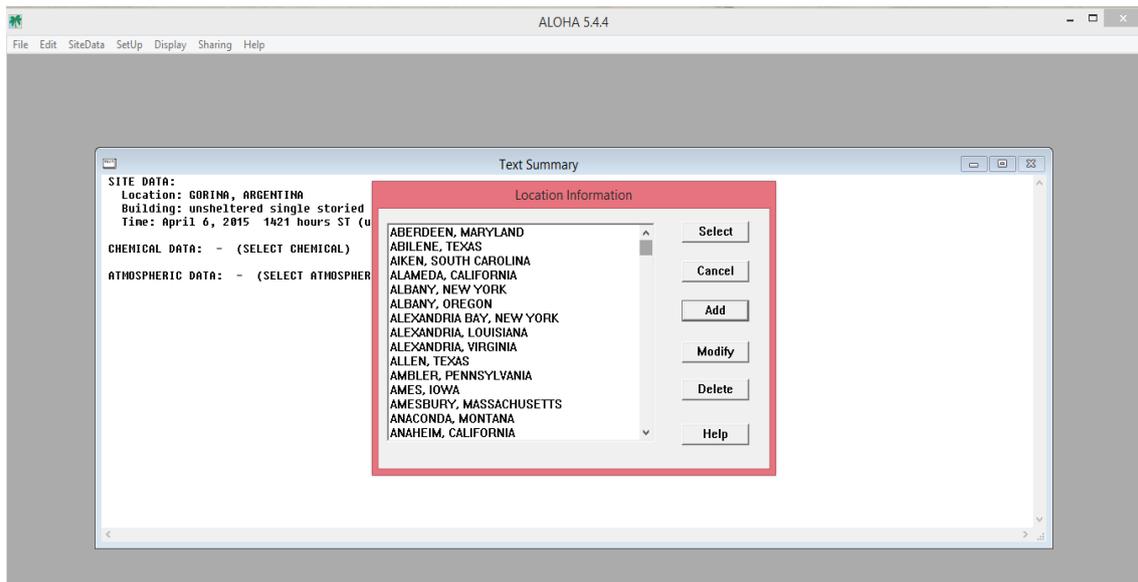


Figura 6.1: Captura de pantalla de cuadro de diálogo "Ubicación".

2. Dado otro sitio, se procede a cargar coordenadas de localización y demás datos.

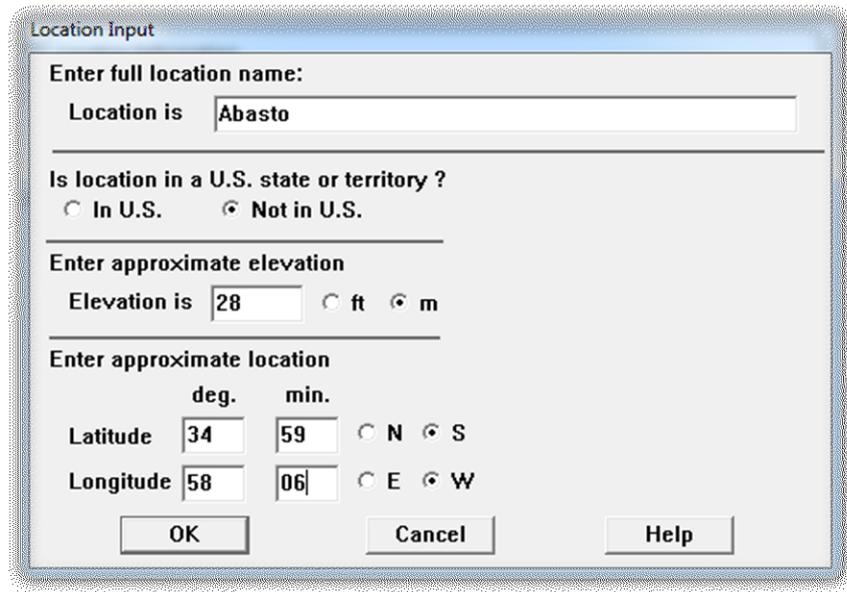


Figura 6.2: Captura de pantalla de cuadro de diálogo "Ubicación" para el ingreso de nuevo lugar

3. Puede agregarse información acerca del tipo de edificación existente, si el objetivo es estimar la tasa de infiltración dentro de la construcción.
4. En la biblioteca química de ALOHA, seleccionando la pestaña de *Información Química*, se elige la sustancia de interés (ver Figura 6.3).

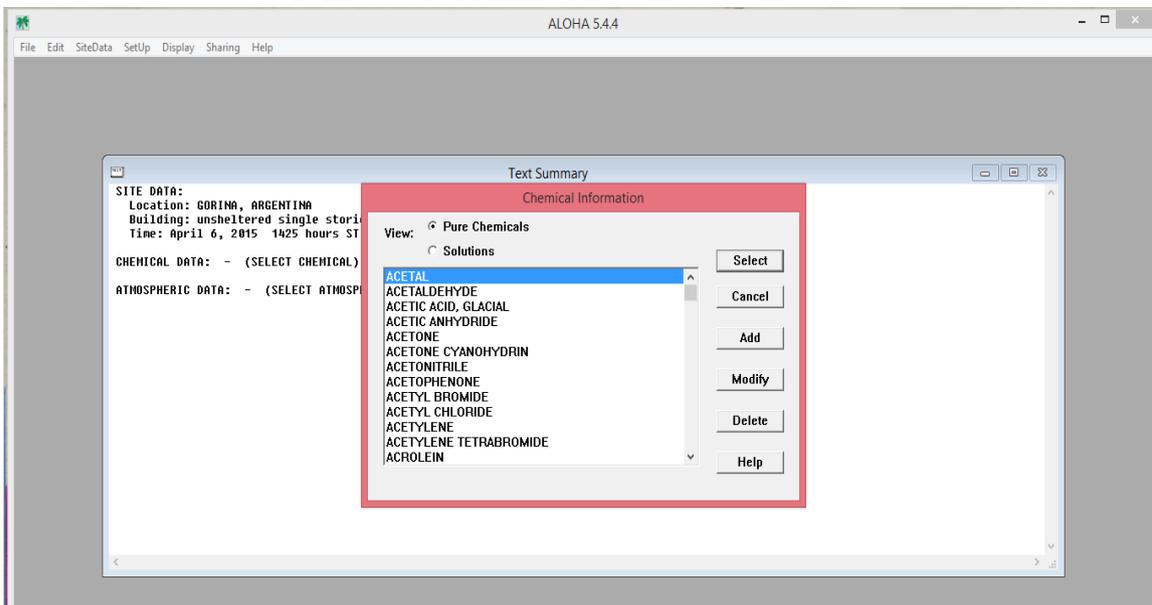


Figura 6.3: Captura de pantalla de cuadro de diálogo "Información Química".

5. En el menú de opciones *Atmosféricas*, que es de tipo jerárquico, se introduce la información meteorológica (en forma manual o mediante estación meteorológica portátil).
6. Las condiciones meteorológicas para el escenario son: velocidad del viento, cobertura por nubes, temperatura del aire y humedad relativa (ver Figura 6.4)

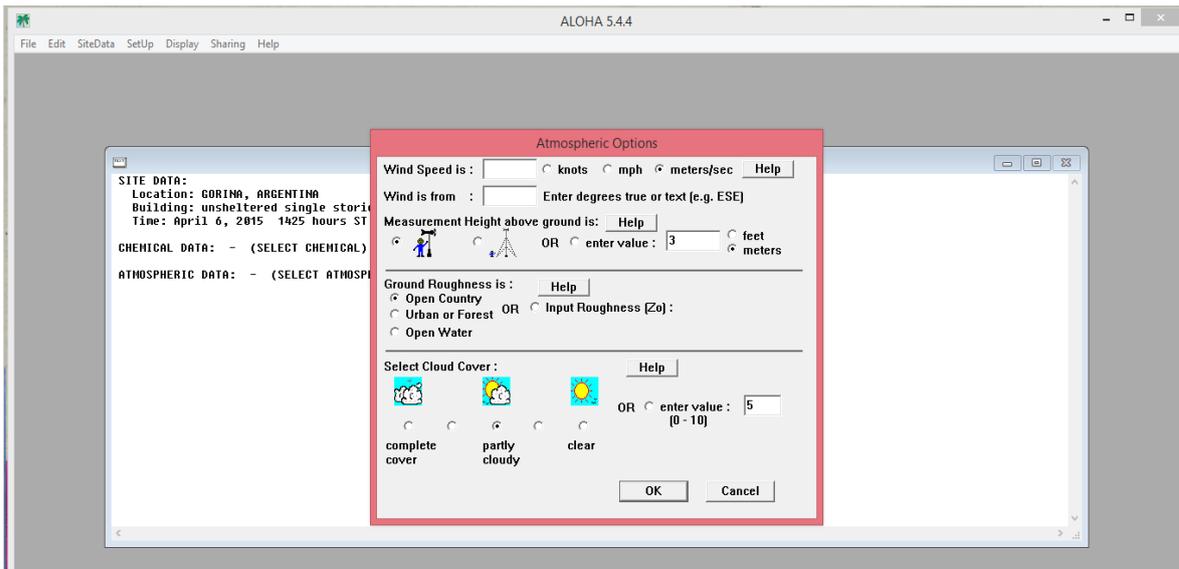


Figura 6.4: Captura de pantalla de cuadro de diálogo "Opciones atmosféricas".

La estabilidad atmosférica es asignada por el programa en función de los parámetros introducidos, o bien, puede ser definida por el usuario.

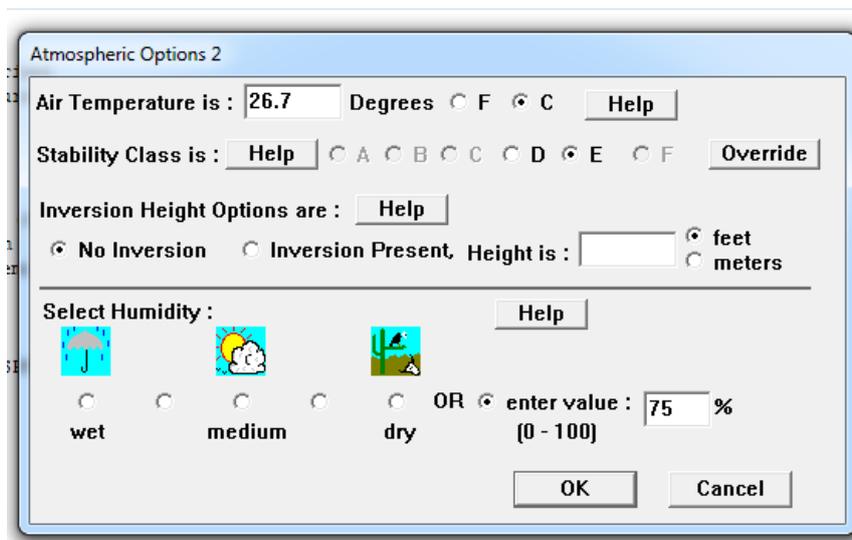


Figura 6.5: Captura de pantalla de cuadro de diálogo "Opciones atmosféricas".

7. La *Rugosidad* del suelo, como medida de la desigualdad del terreno sobre la que pasa la nube de gas, puede cargarse como dato pre-clasificado o bien con el índice correspondiente ( $Z_0$ ). ALOHA, por default, utiliza dos clases de rugosidad: Campo Abierto (baja rugosidad, baja turbulencia) o Urbana/Bosque (alta rugosidad, turbulencia mayor).

8. Para describir la descarga se contempla el tipo de Fuente, por ejemplo un Tanque, del cual se detalla forma, orientación y dimensiones (ver Figura 6.6).

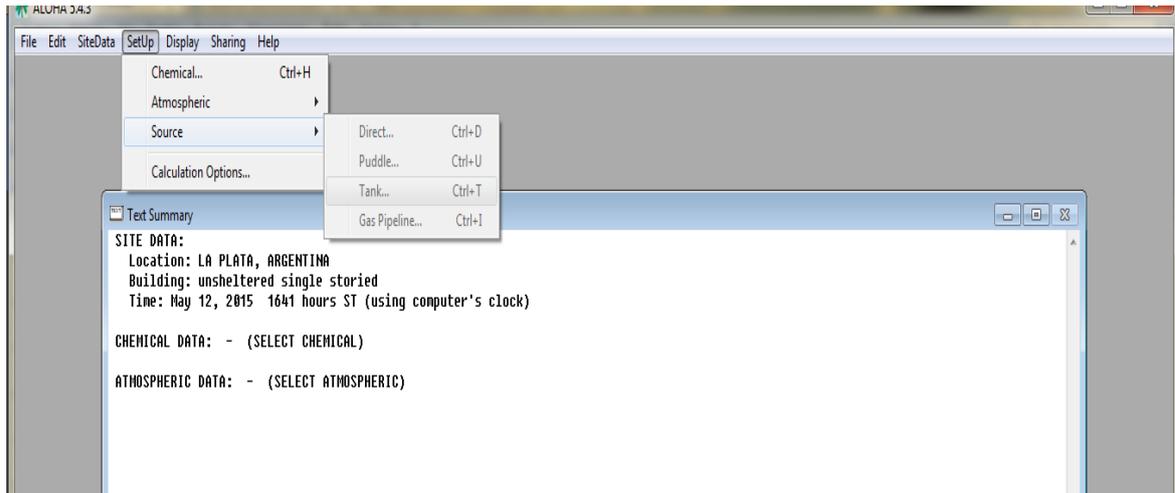


Figura 6.6: Captura de pantalla de opciones de fuente.

En caso de no disponer de todos los datos de diseño o asociados al contenedor, bastará con ingresar alguno de ellos y el programa completará la información faltante. Merece ser destacado que se trata de una modelación para ejecutar sencilla y velozmente, con la mejor aproximación.

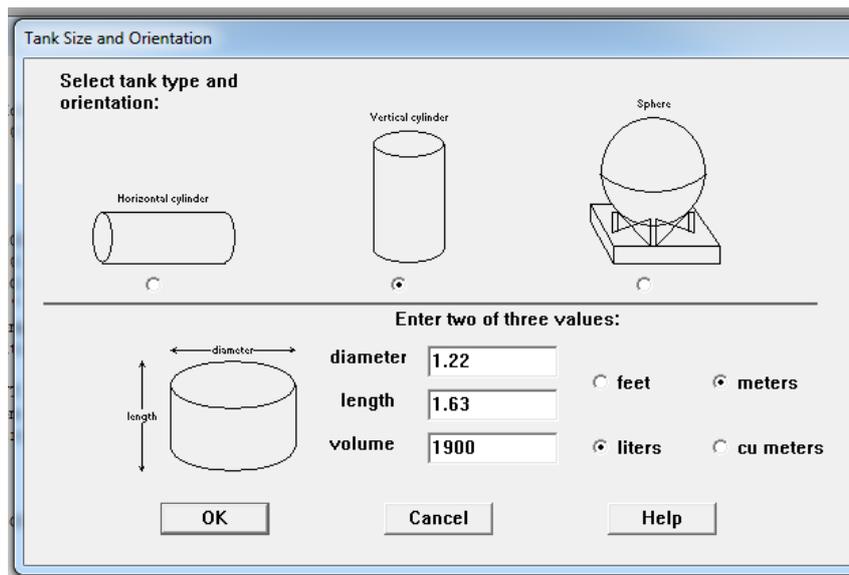


Figura 6.7: Captura de pantalla de opciones de fuente- Orientación y tamaño de tanque

9. También se describe el contenido (líquido), masa o volumen de producto y si está almacenado a temperatura ambiental.

10. A continuación se detalla la forma en que la sustancia escapa de su contenedor, dando idea si es Orificio u otro tipo de Abertura. De acuerdo a la opción seleccionada, se abrirán otras ventanas para ingresar información asociada. En la siguiente figura se muestra el proceso de input considerando un orificio en un tanque (ver Figura 6.8)

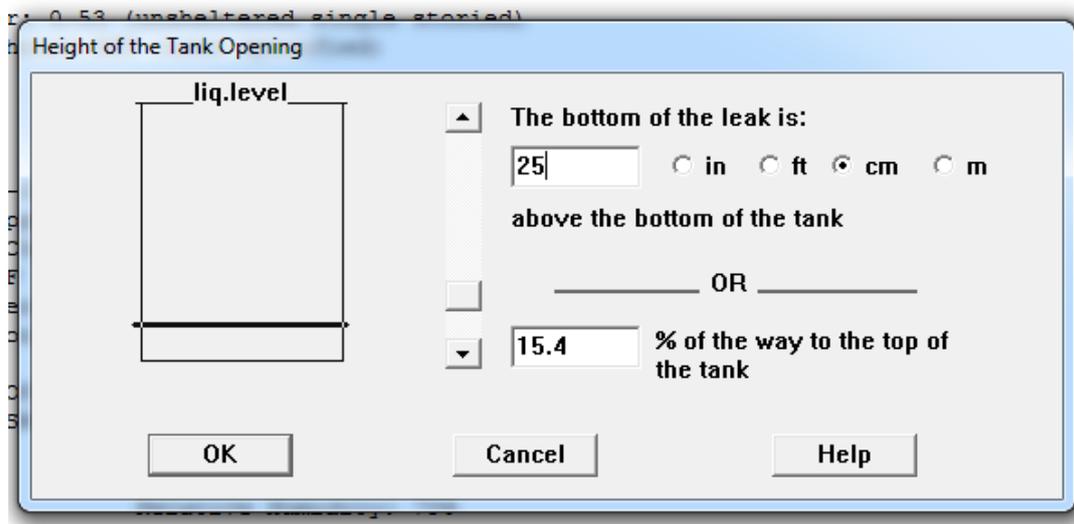
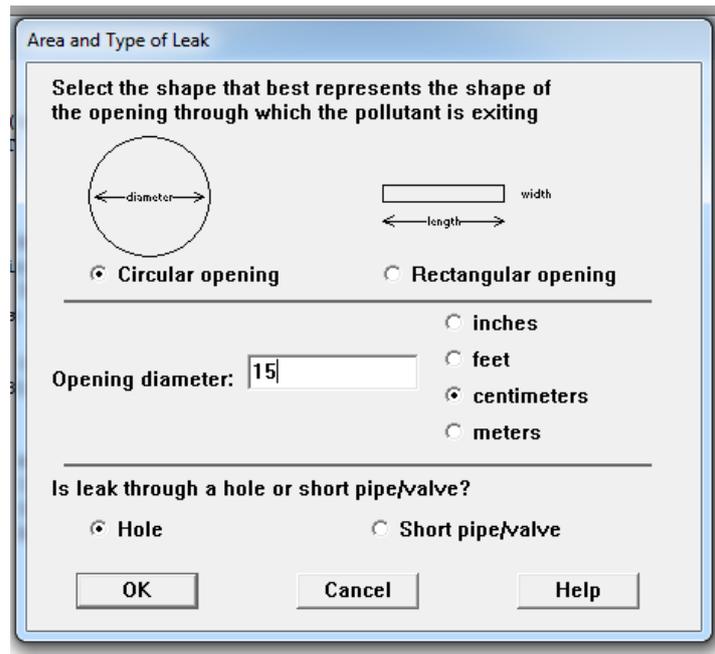


Figura 6.8: Captura de pantalla para simulación de fuga por orificio y datos de contenedor

11. En el menú Configurar, se selecciona Computacional, de manera que el modelo decida el ajuste de cálculo más adecuado.

12. Elección del Nivel de Preocupación (NP), como el límite de concentración de un gas contaminante, por encima del cual se cree que existe riesgo. ALOHA traza una "huella", que representa la zona donde la concentración del contaminante a nivel del suelo puede exceder su NP en algún momento luego de la descarga.

En la actualidad es una práctica común emplear una jerarquía de índices toxicológicos, como NP, para la exposición a diferentes sustancias químicas en el aire. Para la estimación del daño provocado por exposiciones agudas, los índices de preferencia son los AEGL (*Acute Exposure Guideline Levels*). Cuando la sustancia no dispone de AEGL se recomienda utilizar el índice

ERPG (*Emergency Response Planning Guidelines*) y en última instancia puede ser utilizado el índice TEEL (*Temporary Emergency Exposure Limits*).

Los AEGLs representan límites umbrales de exposición, para el público en general, y son aplicables a los períodos de exposición de emergencia que van desde 10 minutos a 8 horas. Los procedimientos operativos de los AEGLs, definen a este índice como la concentración en el aire (expresada en ppm o mg m<sup>-3</sup>) de una sustancia por encima de la cual se prevé que la población general, incluyendo individuos susceptibles, podría experimentar diferentes síntomas. Tres niveles diferentes de referencia se establecen y se corresponden con aumentos en la severidad de los síntomas (AEGL-1, AEGL-2 y AEGL-3). Los múltiples períodos disponibles para cada nivel de daño permiten una interpolación fiable a diferentes tiempos. Los AEGL han sido publicados para varias sustancias químicas. A través del sitio Web de la EPA se puede acceder al estado actual de este proyecto.

Los AEGL han sido propuestos por la EPA y adoptados por organismos de otros países al ser reconocida su credibilidad científica. Estos niveles guía se van desarrollando para diferentes sustancias, a través de cuatro niveles: 1) Inicial o de partida; 2) Propuesto; 3) Provisional y 4) Final: se publica por el National Research Council, adquiriendo categoría de valor definitivo

El AEGL para el amoníaco se encuentra en estado FINAL (USEPA, 2022) y sus valores son presentados en la Tabla 6.1.

Amoníaco- CAS 7664-41 (Final)

	10 minutos	30 minutos	60 minutos	4 horas	8 horas
Ppm					
AEGL 1	30	30	30	30	30
AEGL 2	220	220	160	110	110
AEGL 3	2700	1600	1100	550	390

Tabla 6.1. Valores AEGL

Los efectos asociados a cada nivel guía se describen a continuación:

AEGL-1: Concentración a/o por encima de la cual se predice que la población general puede experimentar molestias notables, irritación o ciertos efectos asintomáticos. Estos efectos son transitorios y reversibles una vez que cesa la exposición. Concentraciones por debajo del AEGL-1 representan niveles de exposición que producen ligero olor, sabor u otra irritación sensorial leve.

AEGL-2: Concentración a/o por encima de la cual se predice que la población general puede experimentar efectos duraderos serios o irreversibles o ver impedida su capacidad para escapar. Concentraciones por debajo del AEGL-2, pero por encima del AEGL-1 representan niveles de exposición que pueden causar notable malestar.

AEGL-3: Concentración a/o por encima de la cual se predice que la población general puede experimentar efectos amenazantes para la vida e incluso provocar la muerte. Concentraciones

por debajo del AEGL-3 pero por encima del AEGL-2 representan niveles de exposición que pueden causar efectos duraderos, serios o irreversibles o impedir la capacidad de escapar.

13. Producto, entendido como la información de salida del programa, tiene opciones como Huella, Concentración, Coordenadas Relativas y otras. En función de lo que se desea estimar o evaluar se escogen los gráficos y su extensión al finalizar la corrida. Las representaciones de salida tendrán sus particularidades según se trate de áreas de atmósferas tóxicas o inflamables.

ALOHA proporciona gráficamente las extensiones superficiales de las nubes tóxicas a nivel del suelo, limitadas por las concentraciones máximas de interés (niveles de AEGL en este caso), complementándolas con zonas de “posible afectación” (líneas discontinuas) como consecuencia de probables desviaciones de la dirección del viento.

A continuación se presentan las “capturas de pantalla” correspondiente a una modelación. Se selecciona la opción “Huella” como gráfico de salida (sobre cuadrícula y escala). Los resultados de las corridas se muestran como distancias alcanzadas por la nube tóxica, desde la fuente, y se expresan en metros. Estas longitudes se corresponden con cada nivel de AEGL asignado al amoníaco. (Ver Figura 6.9).

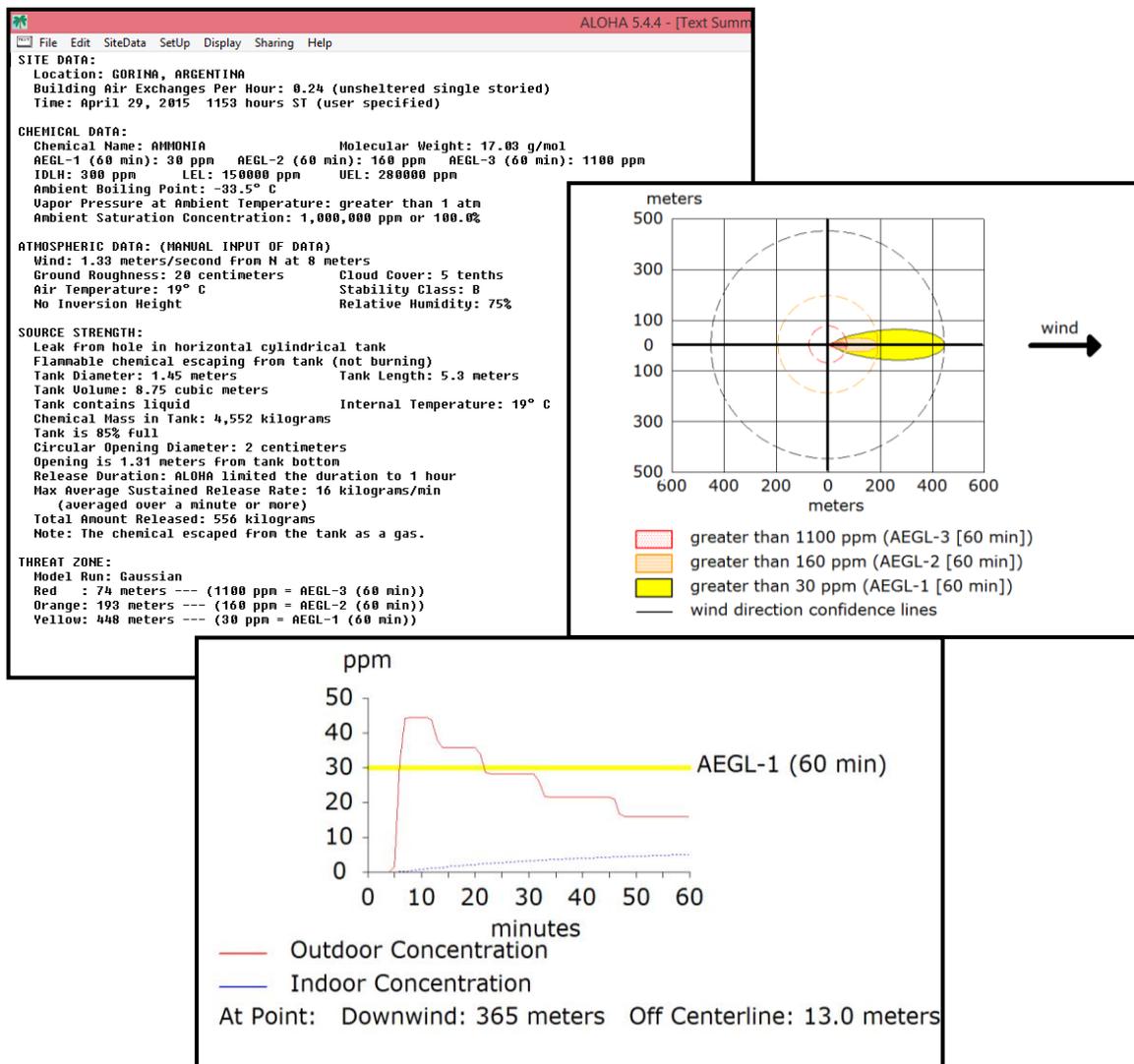


Figura 6.9: Información de salida: texto resumen, gráfico de huella y perfil de concentración en un punto. Modelación de fuga de amoníaco.

Es posible apreciar la vasta información que arroja el modelo, en sus diferentes formatos.

En la salida textual se visualiza el resumen de los datos cargados al software, facilitando su revisión. También queda registrada información descriptiva de la emisión. De este modo, ALOHA estima la duración de la emisión en el escenario modelado y la tasa máxima de descarga. Asimismo, el amoníaco líquido fugado desde el tanque lo hace en forma de gas, expresando la masa total liberada.

El gráfico sobre cuadrícula de la Figura 6, exhibe la Huella correspondiente a este escenario. Del análisis del gráfico se puede estimar que las concentraciones de amoníaco pueden exceder los 30 ppm en una extensión de aproximadamente 450 metros a favor del viento apartir del tanque que presenta la fuga. Para cada AEGL es posible definir el Area que excederá una concentración determinada.

El gráfico inferior de la Figura 6, muestra el perfil de concentración (*outdoor e indoor*) a una distancia a sotavento y en relación al eje central de dispersión de la pluma definida por el usuario. En este caso en particular, la coordenada de interes corresponde a 365 metros a sotavento de la fuente de emisión y a 13 m del eje central. Por su parte, la recta amarilla representa el nivel de protección seleccionado, la línea continua roja a la concentración estimada en función del tiempo en la ubicación seleccionada, y la línea punteada azul muestra la concentración estimada dentro de los edificios. Esta información resulta de gran utilidad en la gestión de emergencias, contemplando sitios de mayor densidad de población. Por ejemplo: escuelas, hospitales, centros recreativos y comerciales, templos, etc.

Finalmente, con la información de las coordenadas geográficas, es posible exportar las salidas gráficas de ALOHA sobre cartografía digital (archivos .kml). Un ejemplo en la siguiente imagen:

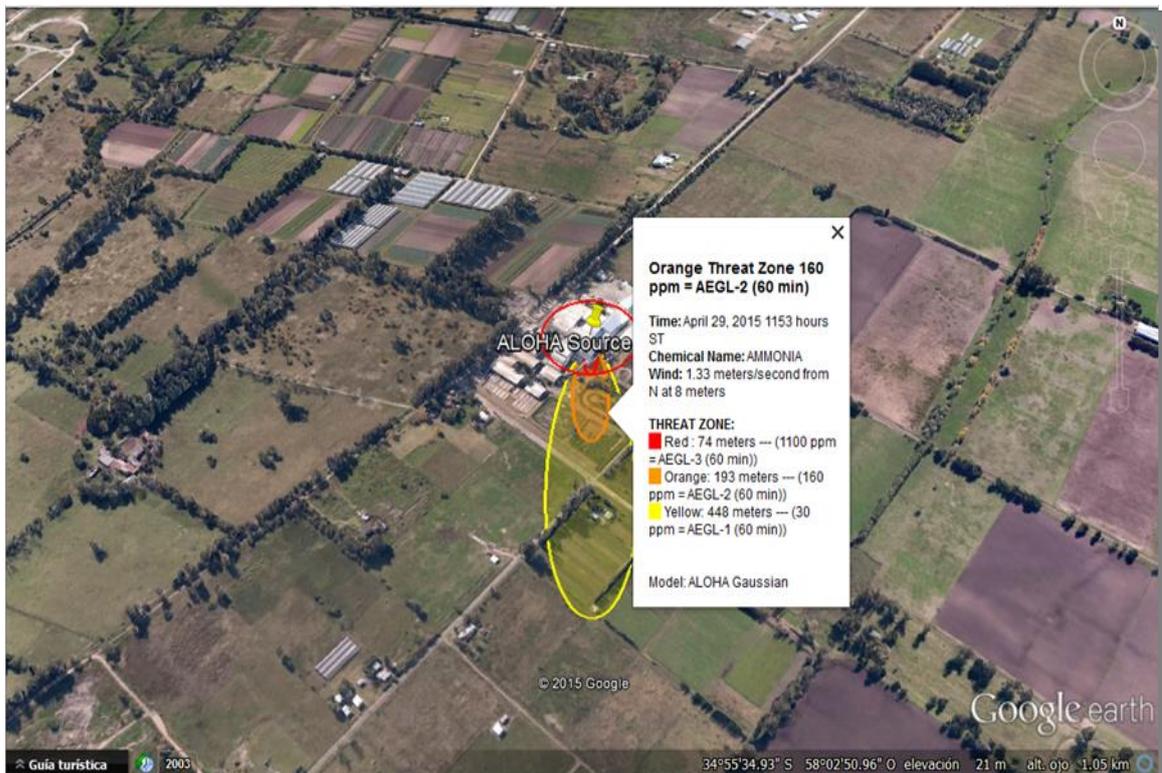


Figura 6.10: vista satelital de zonas de atmósferas peligrosas. Datos exportados desde ALOHA®

## Fortalezas del modelo

Se destaca la aplicación de este software como herramienta para resolver situaciones de emergencias químicas que ponen en riesgo (K.B., 2015) la salud de la población expuesta. Así, definir en pocos minutos el alcance de una nube tóxica, permite una intervención más efectiva al momento de responder y gestionar adecuadamente los recursos disponibles.

Su uso es relativamente simple y presenta una dificultad baja-media para la obtención de datos que alimentan el programa. Es posible añadir nuevas sustancias químicas a la biblioteca existente con los datos fisicoquímicos que las identifican.

Como herramienta de evaluación de la difusión y el comportamiento de agentes químicos, resulta de gran utilidad durante etapas de planificación de respuestas o en el marco de normativas de aplicación en materia ambiental (USEPA, 2022).

## Bibliografía

- ALOHA®. (2022). *ALOHA®*. Obtenido de <http://www.epa.gov/cameo/aloha-software>
- K.B., B. (2015). *Tesis UNLP*. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/100338>
- Lakes Environmental. (abril de 2022). *Lakes Environmental*. Obtenido de [http://weblakes.com/products/emergency\\_release.html](http://weblakes.com/products/emergency_release.html)
- Sánchez, E. (2012). *SEDICI*. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2779>
- USEPA. (Julio de 2022). *Acute Exposure Guideline Levels*. Obtenido de <http://www.epa.gov/aegl/ammonia-results-aegl-program>