

V CONGRESO COLOMBIANO Y CONFERENCIA INTERNACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE Y SALUD PÚBLICA,  
BUCARAMANGA, AGOSTO 12-14 DE 2015

## APLICACIÓN DE MODELOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO DE ESCAPES EN FRIGORÍFICOS

Sánchez Erica Yanina<sup>1</sup>, Balbi Karina<sup>1</sup>, Orte Marcos Agustin<sup>1</sup>, Represa Natacha Soledad<sup>1</sup>, Giuliani Daniela<sup>1</sup>, Colman Lerner Jorge Esteban<sup>2</sup>, Porta Atilio Andres<sup>1</sup>, Elordi María Lucila<sup>1</sup>

1. CIMA-Universidad Nacional de La Plata, 2. Centro de Investigación y Desarrollo en Procesos Catalíticos (CINDECA); CONICET-UNLP

*Autor de correspondencia:* [yaninasanch@gmail.com](mailto:yaninasanch@gmail.com)

### RESUMEN

Las grandes ciudades suelen verse acompañadas de actividad industrial en su entorno y dentro del ejido urbano. Si bien el desarrollo industrial está directamente relacionado con la prosperidad y la calidad de vida, y es considerado la principal medida de progreso, también está asociado a preocupaciones como la contaminación y desastres imprevistos que podrían exponer a la población circundante a concentraciones atmosféricas no deseadas. Por lo expuesto, el desarrollo de herramientas predictivas que permitan determinar la población afectada por exposición a contaminantes atmosféricos, forma parte de las estrategias que optimizan el uso de los recursos frente a políticas ambientales y sanitarias no sostenibles, y constituyen un tema prioritario a nivel mundial. De acuerdo a un informe estadístico sobre los accidentes con sustancias químicas en Argentina, elaborado por CIQUIME (Centro de Información Química para Emergencias), el amoníaco es una de las sustancias que más aparece entre los eventos químicos no deseados. Por tal motivo, en este trabajo se analiza el impacto potencial que presentan las industrias frigoríficas en función de su uso y almacenamiento. Para tal fin, se aplica el software ALOHA como herramienta para modelar la emisión y la dispersión del amoníaco en la atmósfera, y para reconocer las regiones vulnerables y evaluar los impactos potenciales en la población afectada. Los mapas obtenidos, junto al análisis de fortalezas y limitaciones de la herramienta utilizada, exponen el aporte de los mismos para el desarrollo de protocolos específicos; así como dejan en manifiesto la necesidad de contar con inventarios de emisiones, caracterización de las fuentes de emisión y una estadística de la meteorología local. Finalmente, la organización territorial no es un punto menor entre las repercusiones de los resultados ya que permite limitar las zonas industriales de las urbanizadas de acuerdo a las regiones de afectación modeladas. Para aquellas industrias ya insertas en el ejido urbano, es de suma importancia detectar los alcances de una potencial nube tóxica y la población vulnerable al evento, a fin de preparar una respuesta eficiente.

### PALABRAS CLAVE

Análisis de Riesgo, evento no deseado, amoníaco, planificación, frigorífico

### INTRODUCCION

Frente a los tiempos que corren, en el marco de ciudades superpobladas, importante actividad industrial, comunidades consumistas y normas que buscan alcanzar la armonía entre el ambiente, la economía y la sociedad, vivimos expuestos a situaciones de

riesgo que ameritan ser estudiadas a modo de reducir el factor sorpresa y dar herramientas a los decisores para actuar frente a tales amenazas. Las políticas de planificación de emergencias se basan en el análisis de eventos previos no deseados, a diferentes escalas. Asimismo, la aplicación de herramientas que

ayuden a simular escenarios potenciales sin la necesidad de que ocurra el evento, y sin pérdidas de vidas y de bienes materiales, constituye un paso importante en la gestión integral de riesgos y emergencias. Por lo expuesto, el desarrollo de herramientas predictivas que permitan determinar la población afectada por exposición a contaminantes atmosféricos, forma parte de las estrategias que optimizan el uso de los recursos frente a estas políticas ambientales y sanitarias no sostenibles, y constituyen un tema prioritario a nivel mundial [1-3]. Estas herramientas proponen utilizar información científica disponible, a un costo razonable para la toma de decisiones en el marco de la protección de la salud humana [4].

#### 1.1 Herramientas de modelado

La modelización de eventos químicos no deseados constituye un aspecto básico de la prevención y protección, dado que el nivel y la extensión de las consecuencias permiten establecer la proporcionalidad de las medidas necesarias para evitarlas o mitigarlas [5]. Para evaluar el alcance de consecuencias, se dispone actualmente de numerosos modelos informáticos, [6-7] que partiendo de las características de la sustancia y de las condiciones del equipo accidentado (volumen, cantidad retenida, orificio de fuga, etc.) determinan la cronología de la emisión (instantánea o continua). El resultado se introduce en el módulo de dispersión, que necesita también las variables meteorológicas responsables del transporte y la dilución de la nube, proporcionando información sobre los parámetros característicos de la misma, tales como perfiles concentración-tiempo, concentración-distancia, dosis-distancia [5]. Dado que ALOHA [8-10] posee una interfaz amigable, que la información de entrada es acotada y relativamente de fácil acceso, constituye un software ampliamente utilizado en el sector público y privado. 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. 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. 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.).

#### 1.2 Riesgos químicos en Argentina

En el territorio Argentino existen diferentes tipos de riesgos químicos, siendo de mayor nivel de amenaza los accidentes que ocurren en instalaciones fijas y durante el transporte de sustancias peligrosas. Las regiones mayormente afectadas son la Patagonia, el Centro y el Área Metropolitana de Buenos Aires [11]. El mayor riesgo se da en los polos petroquímicos ubicados en áreas urbanas y suburbanas y con instalaciones portuarias. Alguno focos de riesgo a citar son Dock Sud; Capital Federal, Avellaneda, Lanús y Quilmes; Bahía Blanca – Ingeniero White; Zárate y Campana; Ensenada – Berisso; Puertos del Gran Rosario; Luján de Cuyo y Neuquén. Dentro del marco nacional, CIQUIME (Centro de Información Química para Emergencias) tiene como función principal brindar información integral, directa e inmediata sobre conductas a seguir en caso de eventos que involucren sustancias químicas. Un informe estadístico sobre accidentes con materiales peligrosos [12], autoría de esta entidad, concluye que en Argentina:

- Los accidentes químicos ocurren mayoritariamente en instalaciones fijas (principalmente fábricas y depósitos), durante los días hábiles y en la franja horaria de 8 a 17 hs.

- Los productos con mayor incidencia son los líquidos, pero los productos en estado gaseoso son los más peligrosos debido a la dificultad de controlarlos y la gran superficie que ocupan una vez dispersos.
- La principal vía de ingreso al organismo es la respiratoria. La mayor cantidad de víctimas resultaron intoxicadas por productos gaseosos.
- Los accidentes ocurren principalmente en zonas industriales ubicadas en áreas densamente pobladas.
- La sustancia involucrada con mayor frecuencia es el amoníaco.

1.2 El amoníaco como refrigerante y la industria cárnica La refrigeración es un proceso conocido de mucho tiempo atrás. En el siglo XII los chinos utilizaban mezclas de salitre con el fin de enfriar agua; en los siglos XVI y XVII, investigadores y autores como Boyle, Faraday (con sus experimentos sobre la vaporización del amoníaco) hacen los primeros intentos prácticos de producción de frío. El amoníaco fue el primer refrigerante utilizado en plantas de refrigeración por medio de compresión mecánica en 1876 por Carl von Linde. Desde entonces, se ha venido utilizando en grandes plantas de refrigeración como son lecherías, cervecerías, industrias cárnicas y otros lugares con grandes demandas de enfriamiento, por sus bajos costos y buena capacidad de absorción de calor [13]. En el contexto internacional, la industria cárnica ha crecido lentamente pero de manera sostenida en los últimos años. La producción mundial de carne se ha triplicado en las tres últimas décadas, y en el año 2050 podría duplicar su nivel actual [14-15]. Argentina en particular, posee 51.5 millones de cabezas de ganado y presenta el mayor consumo anual por

habitante (65 kg/hab. año) , seguido de Estados Unidos (43 kg/hab. año) y Uruguay (41 kg/hab. año) [16-17]. Por lo expuesto, dado la envergadura de la industria cárnica en nuestro país, el amplio uso del amoníaco como refrigerante y los antecedentes de eventos no deseados con esta sustancia, es de nuestro interés y objetivo de este trabajo, estudiar escapes de amoníaco en frigoríficos a través de herramientas de modelado para estimar los impactos potenciales en el marco de la planificación de emergencias.

## MATERIALES Y METODOS

Estudio de la región:

Para definir los escenarios de interés de este trabajo, como punto de partida se aborda el estudio de la región de La Plata y Capital Federal, a través del:

- Relevamiento de antecedentes documentados de escapes de fuentes fijas mediante entrevistas con actores competentes en la Respuesta y Planificación a Emergencias
- Relevamiento de fuentes fijas potenciales de emisión y la caracterización de los procesos industriales
- Análisis de las características meteorológicas locales
- Análisis de la rugosidad del suelo.

Selección de fuentes potenciales de emisión:

De acuerdo a lo relevado en el inciso anterior, se seleccionan dos frigoríficos de la región para estudiar escapes de amoníaco y su impacto sobre la población circundante. Uno de ellos (F1) ubicados en el partido de La Plata, Prov. Buenos Aires, Argentina; y el otro (F2) en el conurbano bonaerense de la Prov. Buenos Aires, Argentina (ver Figura 1).

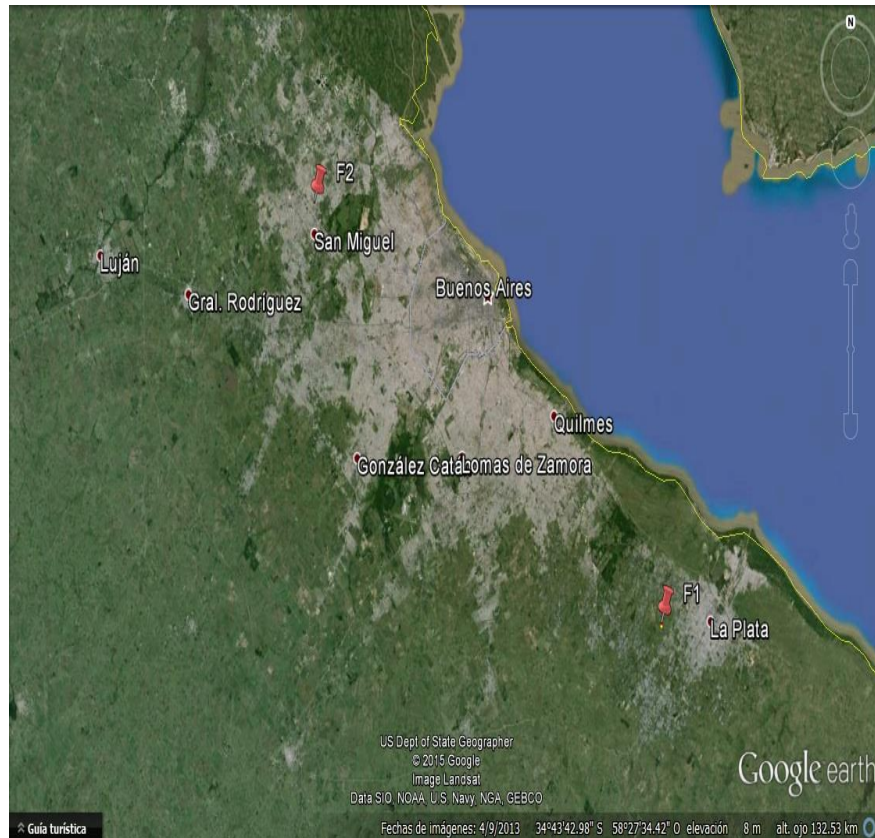


Figura 1: Mapa que muestra los dos frigoríficos de estudio: F1 y F2. Google earth, 2015.

La elección se fundamenta en la representación de los escapes bajo diferentes espacios territoriales: urbanos (F2), suburbanos-rurales (F1). Para los dos frigoríficos, en base a información relevada sobre condiciones de operación, se consideran los siguientes supuestos para la fuente de emisión considerada (tanque receptor):

- Cilíndrico horizontal (1.45 m de diámetro y 5.30 m de largo).
- Presión de trabajo 12 kg/cm<sup>2</sup>.
- El tanque contiene amoníaco líquido en un 85% de nivel de llenado.
- Tipo de rotura: orificio de 2 cm de diámetro.

Definición de contextos de evaluación de riesgos:

En función de los parámetros que afectan en mayor medida, tanto el ingreso a la atmósfera de la nube tóxica como su posterior dispersión, se confeccionan diferentes escenarios. En lo que a parámetros meteorológicos se refiere, los criterios seleccionados hacen foco en valores promedios y en otras condiciones climáticas extremas relevadas en la región de estudio, de modo de apreciar diferentes panoramas de impactos significativos. En la Tabla 1 se detallan las condiciones de corrida de cada escenario (E) donde todos se corresponden con una emisión de amoníaco a partir de una pinchadura del tanque receptor por encima del nivel de llenado.

		FRIGORIFICO									
		F1 (Zona sub-urbana- rural)					F2 (Zona urbana)				
Ubicación	Coordenadas	34° 55' 21.6" S 58° 02' 50.95" O					34° 30' 43.12" S 58° 42' 42.28" O				
	Elevación (m)	14					31				
Escenarios Clasificación		E1	E2		E3		E4		E6		
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	
Condiciones meteorológicas	Mag. velocidad viento (km h <sup>-1</sup> )	4.8	5.6	3.6	4.0	3.6	27.4	20.9	14	3.6	
	Dirección velocidad viento	N	SE	NNO	NNE	N	NNE		NE		
	Alt. anemómetro (m)	8					8				
	Cobertura de nubes	media	total		total		alta	total	media	total	
	Humedad Relativa (%)	75	99	94	54	71	99	96	39	71	
	Temperatura (°C)	19	4.5	2.4	34.9	31.5	17.2	16.7	24	31.5	
Terreno	Rugosidad (m)	Zo: 0.2					Zo: 0.35				
	Tipo de edificación	Tipo III (Áreas industriales/suburbios de grandes ciudades)					Tipo intermedio entre III y IV (urbanizado)				

Tabla 1: Condiciones de corrida con ALOHA para los diferentes escenarios. E1: Promedio de parámetros meteorológicos 2011-2014. E2: Temperatura mínima registrada durante año 2014. E3: Temperatura máxima registrada durante año 2014. E4: Vientos más fuertes registrados durante año 2014. E5: Condiciones meteorológicas características de un día otoñal y de una noche cálida. (a) Condiciones diurnas; (b) Condiciones nocturnas.

La diferencia entre ellos surge de las características climáticas consideradas que condicionan la dispersión de la nube tóxica. De este modo, E1 representa al promedio de parámetros meteorológicos del período 2011-2014; E2 y E3 consideran la temperatura mínima y máxima, respectivamente, registrada durante el año 2014. E4 por su lado, tiene en cuenta los vientos más fuertes registrados durante el año 2014. Todos los mencionados hasta aquí, se corresponden con F1 (terreno suburbano-rural). E5 considera

condiciones meteorológicas características de un día otoñal y de una noche cálida para F2 (terreno urbano). (a) representa a las condiciones diurnas y (b) a las condiciones nocturnas.

#### Ejecución de ALOHA:

Esta herramienta informática es utilizada en este trabajo para simular eventuales escapes de amoníaco, y evaluar los impactos potenciales en la población de áreas circundantes, profundizando el estudio de la dispersión de los contaminantes en la región y la utilidad de

esta herramienta en la respuesta y planificación de emergencias. Las salidas gráficas del software bajo la extensión de \*.kml pueden importarse desde un sistema de información geográfica (SIG) y mostrarse como una capa más sobre el mapa del escenario en cuestión, a fin de facilitar el cruce de la información y el análisis de los resultados.

## RESULTADOS

Considerando una ruptura del tanque receptor por encima del nivel de llenado, ALOHA estima que para E1 la duración de la emisión está limitada a 1 hora, y que la tasa máxima de descarga es 16 kg/min. Asimismo, el amoníaco líquido descargado desde el tanque lo hace en forma de gas, siendo 556 kg la masa total liberada. Para E1, escenario promedio, las concentraciones de amoníaco estimadas con ALOHA pueden exceder los 30 ppm (valor correspondiente a AEGL 1) en una extensión de aproximadamente 450 metros a

sotavento del tanque que presenta la fuga. Frente a estas concentraciones, la población general, incluyendo individuos susceptibles pero excluyendo los hipersusceptibles, pueden experimentar una incomodidad notable. Asimismo, una extensión de 193 m a sotavento puede superar concentraciones de 160 ppm (valor correspondiente a AEGL 2), y esta se asocia a efectos a largo plazo serios o irreversibles, o ver impedida la capacidad de escape. Por otra parte, concentraciones de 1100 ppm (valor correspondiente a AEGL 3) pueden observarse hasta distancias de 74 m desde la fuente de emisión, experimentando efectos amenazantes para la vida o la muerte. Considerando el entorno de F1, los impactos no resultan significativos por la baja densidad poblacional que presenta, sin embargo esto no podría concluirse en un escape de cualquier magnitud en F2 ya que este frigorífico se encuentra emplazado dentro del ejido urbano densamente habitado (ver Figura 2).



Figura 2: Representación de E1 (izquierda) y de E5a (derecha).

AEGL	E1	E2a	E2b	E2b(*)	E3a	E3b	E3b(*)	E4a	E4b
3	74	114	138	420	232	230	677	63	72
2	193	321	390	1.2 km	673	668	1.8 km	172	197
1	448	829	998	3 km	1.7 km	1.7km	4.7 km	429	494
Estab. atmosf.	B	D	D	F	D	D	F	D	D

AEGL	E6a	E6b
3	45	146
2	119	392
1	275	907
Estab. atmosf.	C	D

Tabla 2: Distancias (en metros, salvo aclaración) alcanzadas por las huellas, para cada escenario evaluado en la Tabla 1, discriminando los tres niveles del índice guía considerado: AEGL, y las clases de estabilidad atmosférica correspondientes a cada escenario. (\*) Se modifica al escenario en cuestión, considerando una cobertura nubosa parcial.

Cuando de gestionar se trata, es importante contar con estudios del fenómeno que aborden los escenarios más adversos. De este modo, la planificación será más protectora y la repuesta más efectiva. Bajo este criterio se construyeron los escenarios E2 a E5. En la Tabla 2 se presentan las distancias simuladas para cada escenario, discriminadas en los diferentes niveles del AEGL para el amoníaco.

Del análisis de los resultados obtenidos, en términos generales se desprende que la turbulencia atmosférica tiene el mayor impacto sobre la tasa de dispersión de la nube de amoníaco y que la estabilidad atmosférica, concepto utilizado para caracterizar las propiedades de la baja capa límite atmosférica, gobierna la mezcla del aire. De este modo, una atmósfera estable (E-F) inhibe la mezcla vertical, una atmósfera neutra (D) no permite ni inhibe el mezclado vertical, y una atmósfera

inestable (A-C) manifiesta fenómenos turbulentos y de mezclado. En lo particular se observa que tanto en los escenarios suburbanos-rurales evaluados para F1, como para los escenarios urbanos evaluados con F2, el mayor impacto (mayor alcance de las áreas simuladas) se presenta para la conjunción de condiciones nocturnas, altas temperaturas atmosféricas y bajas velocidades del viento. Un análisis más profundo considerado en el estudio de F1, demuestra que cielos despejados/parcialmente nublados contribuyen a la presencia de atmósferas más estables que no favorecen a la dispersión del amoníaco y por ende las áreas de impacto estimadas son mayores que aquellas correspondientes a cielos con alta cobertura nubosa. Esto puede apreciarse en la Figura 3 donde se muestran las salidas de ALOHA para el escenario E3b (\*) y E5b.

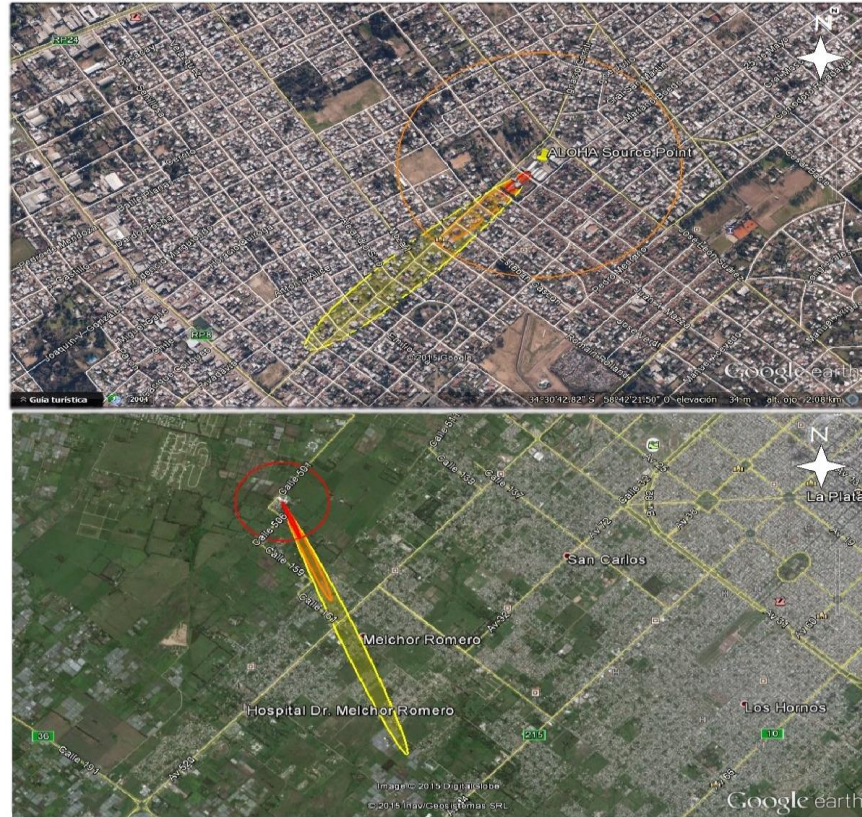


Figura 3: Representación de los escenarios de mayor impacto para los diferentes territorios: E5b (imagen superior) y E3b (\*) (imagen inferior). Google earth.

El parámetro de la temperatura también tiene su peso en el modelado de la emisión con ALOHA, y esto se ve principalmente reflejado en la masa de amoníaco liberada a la atmósfera

ya que el tanque receptor almacena al amoníaco a temperatura ambiente (ver Tabla 3).

Escenario	Temperatura ambiente (°C)	Tasa de emisión (kg min <sup>-1</sup> )	Masa emitida (kg)
E2b	2.4	9.67	383
E2a	4.5	10.4	404
E4b	16.7	15.2	531
E4a	17.2	15.5	528
E1	19	16	556
E3a	34.9	25.1	742
E3b	31.5	22.9	701

Tabla 3: Tasa de emisión y masa descargada desde el tanque receptor para cada uno de los escenarios, en función de la temperatura.



Por su parte, la comparación de escenarios con temperaturas extremas regionales representados en E2 y E3 muestra que el mayor impacto se corresponde a condiciones de altas temperaturas, duplicando la distancia de alcance de las zonas de afectación frente a escenarios con temperaturas mínimas (ver Tabla 2). Cuando la magnitud de la velocidad del viento es pequeña, la cobertura de nubes en escenarios nocturnos y la radiación solar incidente en escenarios diurnos son parámetros de gran peso en la dispersión de la nube tóxica. Como se observa en la Figura 4A, la región de impacto de un escape de amoníaco bajo condiciones atmosféricas como las que se describen para el escenario E3b -con cobertura nubosa total- es mucho menor que si se mantienen las condiciones meteorológicas pero con cobertura nubosa parcial o cielo despejado, E3b(\*). Cabe destacar que la corrida de E3b se corresponde con información observada el 18 de enero de 2014 a las 4 a.m., por lo que pensar en una noche con cielo despejado o parcialmente nublado puede referirse a condiciones climáticas características de la época del año. Un análisis similar se muestra en la Figura 3B, para E2b. La fundamentación en ambos casos, del mayor alcance de la pluma, se debe a que la estabilidad pasa de ser neutra D (cobertura total de nubes) a ser moderadamente estable F

(misma situación ocurre para cielos despejados). Para escenarios como E4, donde la magnitud de la velocidad del viento es grande ( $> 17 \text{ km. h}^{-1}$ ), la cobertura de las nubes deja de afectar en gran medida la dispersión del amoníaco debido a que la advección se vuelve el fenómeno gobernante. Este comportamiento es bien explicado por las tablas de doble entrada de estabildades atmosféricas de Pasquill-Gifford. La rugosidad por su parte, tiene un gran efecto en la dispersión de los contaminantes dado que está directamente relacionada a la turbulencia atmosférica, y en consecuencia a la dispersión de los contaminantes. Este comportamiento es claramente observable en la información que se presenta en la Tabla 2, a través de los escenarios E1 y E5, debido a que la nube tóxica alcanza mayores distancias en escenarios suburbanos-rurales, F1, por experimentar una menor dispersión (menor turbulencia por escasa presencia de obstáculos), que la misma nube de amoníaco con iguales condiciones atmosféricas pero en un terreno urbanizado, F2. Adicionalmente, se simuló una pinchadura del tanque por debajo del nivel de llenado con las condiciones meteorológicas promedios de E1. Como resultado, ALOHA informó una zona de impacto que superaba 7 veces los valores de distancias correspondientes a E1 (ver Figura 5).

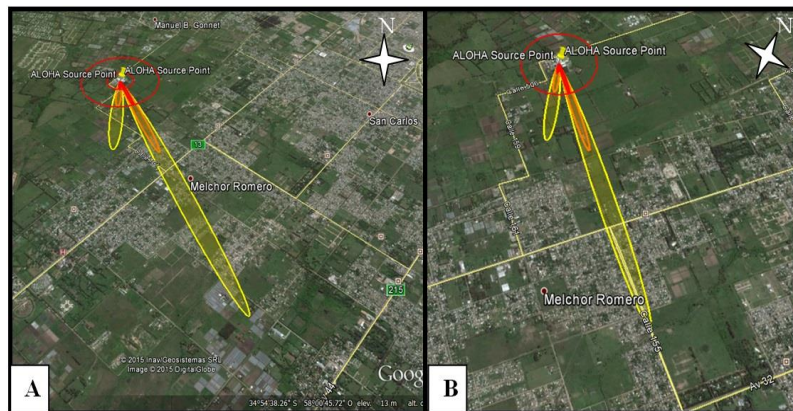


Figura 4: (A) La huella más pequeña se corresponde con E3b –cobertura total de nubes- mientras que la huella más grande lo es a E3b(\*)-cobertura parcial de nubes-. (B) La huella más pequeña se

corresponde con E2b -cobertura total de nubes- mientras que la huella más grande lo es a E2b (\*) -cobertura parcial de nubes-. Google earth.

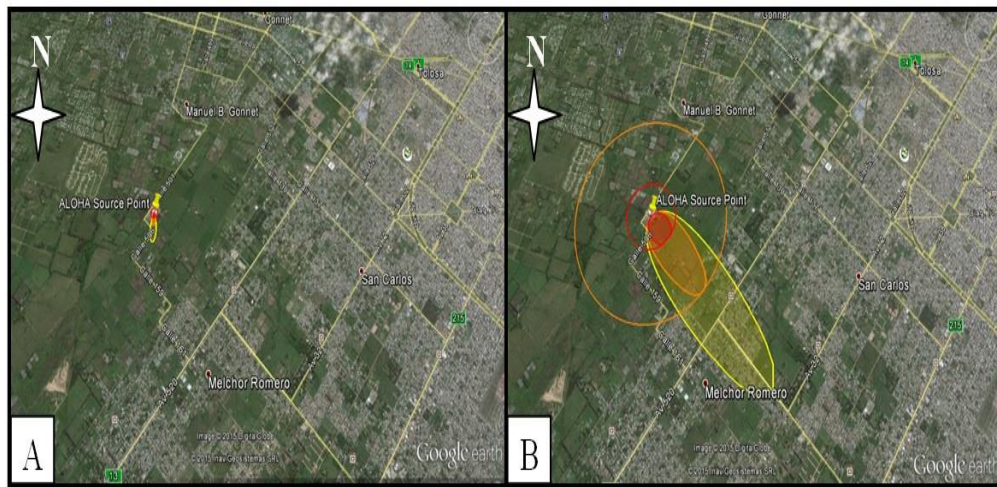


Figura 5: Comparación de escenarios con diferente ubicación del orificio de descarga: (A) Por encima del nivel de llenado. (B) Por debajo del nivel de llenado. Google earth.

En este caso, a diferencia de las emisiones evaluadas hasta aquí, la descarga es una mezcla de gas y aerosol, y la tasa de descarga promedio supera en 21 veces la simulada por sobre el nivel de llenado (342 kg/min vs. 16 kg/min). Por su parte, la masa total descargada en esta última situación triplica la de la primera modelación (1727 kg vs. 556 kg) y representa al 38% de la masa total contenida en el tanque (4552 kg).

### CONCLUSIONES

La planificación de emergencias, junto a los reportes del almacenaje de materiales peligrosos y a la existencia de inventarios de escapes/derrames de dichas sustancias, constituyen los requisitos básicos para que los estados y las comunidades desarrollen una amplia perspectiva de los peligros químicos para toda la comunidad como también para las industrias. En este contexto, es importante estudiar los peores escenarios que pueden enfrentar una industria y la población circundante, a fin de trabajar en la mitigación. De la evaluación de las zonas de afectación de potenciales escapes de amoníaco en diferentes territorios y escenarios, en función de condiciones meteorológicas típicas de la

región, se concluye que: - Las condiciones nocturnas pueden calificarse como las más desfavorables respecto a las diurnas para la dispersión atmosférica. - Para vientos suaves, la estabilidad atmosférica depende fuertemente de la cobertura nubosa en escenarios nocturnos y de la radiación solar incidente en escenarios diurnos. - Frente a vientos fuertes ( $> 17 \text{ km h}^{-1}$ ), la advección se presenta como el proceso gobernante de la dispersión. - Las altas temperaturas ambientales manifiestan un impacto mayor (medido en superficie) de la nube tóxica frente a escenarios invernales o de bajas temperaturas atmosféricas. - El índice de rugosidad se muestra directamente proporcional al grado de turbulencia, por lo que F2 se haya emplazado en una región más propicia para la dispersión que F1, pero con un entorno más vulnerable que amerita un estudio más cuidadoso y detallado. - El alcance de las huellas de impacto es mayor para situaciones en donde el orificio de emisión de localiza por debajo del nivel de llenado del amoníaco. Dado que los tanques recibidores suelen estar completo en el 85% del volumen del mismo, es que la superficie probable para sufrir una

rotura/perforación en tales condiciones es mayor que la que se encuentra por encima del nivel de llenado. Por lo expuesto hasta aquí, como punto de análisis tanto para la planificación de eventuales escapes de amoníaco como para el funcionamiento cotidiano de las plantas industriales que utilicen al amoníaco como refrigerante, es importante focalizar sobre las conclusiones mencionadas para arribar a los escenarios más desfavorables. El análisis de los resultados evidencia las fortalezas y las limitaciones de ALOHA en el campo de estudio, y alienta al desarrollo de la metodología propuesta para trabajos futuros en el tema. De modo complementario, y de acuerdo a la directa relación que presenta la rugosidad del terreno con la dispersión de una nube tóxica, sería de utilidad considerar la posibilidad de incluir barreras físicas que delimiten el avance de la nube tóxica a distancias acordes para que no alcance a poblaciones circundantes pero que tampoco afecte a los empleados de la propia industria. Finalmente, ALOHA permite limitar las zonas industriales de las urbanizadas. Para aquellas industrias ya insertas en el ejido urbano, es de suma importancia detectar los alcances de una potencial nube tóxica y la población vulnerable al evento, a fin de preparar una respuesta eficiente. Por lo contrario, ALOHA no produce de forma directa una estimación del volumen de medio afectado, por tanto el empleo de esta herramienta de simulación requiere del procesamiento de los resultados, por parte del usuario y fuera del modelo para estimar, por ejemplo, el número de individuos afectados por la nube tóxica.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) , a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC PBA) , y a la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) , que han contribuido con fondos para este trabajo.

Agradecen también al Departamento de Sismología e Información Meteorológica (SIM) de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG) de la UNLP y a la UTN-FRLP por suministrar la información meteorológica, y a todas las personas que colaboraron con este trabajo.

#### **REFERENCIAS**

- [1] LaGrega MD., Buckingham PL. & Evans JC. Hazardous Waste Management: treatment, disposal and recovery of soils. McGraw-Hill, New York. (1996)
- [2] Sánchez EY y Acquesta AD. El Sistema CRISIS para la Gestión de Riesgos. Tesina de Diplomatura. Consejo Provincial de Emergencias e Instituto Provincial para la Administración Pública, PBA. La Plata, Argentina. (2011)
- [3] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Cruz Roja Argentina. Documento País 2012. Riesgo de desastres en Argentina. (2012) Disponible en: [http://www.msal.gov.ar/salud-y-desastres/images/stories/4-biblio-recursos/pdf/2014-04\\_documento-pais.pdf](http://www.msal.gov.ar/salud-y-desastres/images/stories/4-biblio-recursos/pdf/2014-04_documento-pais.pdf), accedido en mayo de 2015.
- [4] Sánchez EY. Tesis de Doctorado aprobada en la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP. (2012) Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2779>.
- [5] Ruiz Boada F., González Ferradas E., Miñana Aznar A. (2003). Zonas de Planificación para accidentes graves de tipo tóxico. Guía técnica (en el ámbito del Real Decreto 1254/99 [Seveso II]). Murcia: Universidad de Murcia.
- [6] Mazzola C. y Addis R. Atmospheric Dispersion Modeling Resources. U.S, Department of Energy, Emergency Management Advisory Committee, Subcommittee on Consequence Assessment and Protective Actions and

- Oak Ridge Associated Universities. (1995)
- [7] Less FP. Loss Prevention in the Process Industries. Vol 1. Butterworth Hernemann. Oxford. (2001)
- [8] ALOHA. Disponible en <http://www2.epa.gov/cameo/aloha-software>, accedido mayo de 2015.
- [9] National Oceanic and Atmospheric Administration, Hazardous Materials Response and Assessment Division (NOAA-HMRAD). ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) , 5.0 Theoretical Description, Contribution No. HMRAD 92-5, draft report, Seattle. WA. (1992).
- [10] NOAA-HMRAD and United States Environmental Protection Agency, Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office. ALOHA User's Manual, National Safety Council, Washington, D.C. (1992).
- [11] Ministerio de Salud de la Nación Argentina (MSAL). Disponible en <http://www.msal.gov.ar/salud-y-desastres/index.php/riesgos-de-desastres-en-argentina/principales-amenazas/problemas-con-materiales-toxicos>, accedido en mayo de 2015
- [12] Centro de Información Química para Emergencias (CIQUIME). Accidentes con sustancias químicas en Argentina. Informe Estadístico 1991-1998. Disponible en <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Diciembre2005/pdf/spa/doc11470/doc11470-contenido.pdf>, accedido mayo de 2015.
- [13] York International. Industrial Refrigeration with Ammonia for the Food Industry. Seafood Today. (2005) Disponible en: <http://www.seafood-today.com/ediciones/SF%202-5/4-6.pdf>, accedido en julio 2015.
- [14] Amazings. Crecimiento Demográfico e Industria Cárnica, un Problema de Difícil Solución. Barcelona, España. Disponible en [http://www.amazings.com/ciencia/articulos/crecimiento\\_demografico.html](http://www.amazings.com/ciencia/articulos/crecimiento_demografico.html), accedido en julio 2015.
- [15] FAS-USDA. Foreign Agricultural Service- United State Department of Agriculture. Disponible en: <http://www.fas.usda.gov/>, accedido en julio 15.
- [16] CRA (Confederaciones Rurales Argentinas). Disponible en: <http://www.cra.org.ar/0/vnc/index.vnc>, accedido en julio 2015.
- [17] Otaño C. Mercado de la Carne Vacuna en Argentina. INTA. Revista IDIA XXI: N°2 Julio de 2002. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/carne/carnem03.pdf>, accedido en julio 2015.