

[20]

# Análisis de escenarios de escape de cloro mediante la simulación con DDC acoplado a diferentes modelos de dispersión en aire

E.Y. Sanchez\*, A.D. Acquesta\*\*, J.E. Colman\*<sup>\*\*\*</sup>,  
A.A. Porta<sup>†</sup>, P.M Jacovkis<sup>†</sup>

## Resumen

LA GESTIÓN INTEGRAL de riesgos conforma un concepto relativamente nuevo que involucra a todos los habitantes de este planeta. En lo que a incidentes químicos respecta, los modelos de simulación constituyen una importante herramienta ya sea para la respuesta a una emergencia en tiempo real, como para la planificación en supuestos escenarios y condiciones. El tipo de modelo adecuado para su aplicación dependerá del nivel de detalle de simulación y del tiempo disponible para la ejecución. A la actualidad, se ha encontrado una importante vacancia en los modelos de exposición a incidentes agudos ya que no contemplan la variable temporal en sus cálculos y es así como una foto estática de las regiones de amenaza son presentadas por los modelos de uso corriente en situaciones de emergencia. Por lo expuesto, constituye un avance importante para la gestión de riesgos que los respondedores o decisores en una emergencia puedan conocer la evolución temporal no sólo de la nube tóxica sino además de las regiones de daño representativas de la población potencialmente expuesta. En este trabajo hemos aplicado el reciente modelo desarrollado de exposición para incidentes químicos, DDC, a dos tipos de escenarios: Parque Industrial de Pilar- ARG y

\* Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (CIMA). Facultad de Ciencias Exactas, UNLP. 47 y 115. 1900 – La Plata.

\*\* Departamento Modelado y Manejo de Crisis, CITEDEF.

\*\*\* Departamento de Computación e Instituto de Cálculo, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (UBA).

† Departamento de Matemática, Facultad de Ingeniería, UBA.

Chicago-E.E.U.U; acoplándose a diferentes modelos de transporte de contaminantes en aire: modelo simple de resolución numérica y CFD (FLACS); analizando de este modo los alcances del acoplamiento, de las partes que lo forman y de la aplicación. Los resultados demuestran cómo el conocimiento de la influencia de los obstáculos en la trayectoria de la nube tóxica, y en la dispersión de los contaminantes transportados, junto a la información dinámica de la población potencialmente afectada, contribuyen a una mejor planificación de las medidas de protección y respuesta ya que permiten una mejor comprensión de la situación y del tiempo disponible para la intervención oportuna.

**Palabras clave:** incidente químico, DDC, FLACS.

### Introducción

Existe un progreso tangible en desarrollos tecnológicos en la materia de gestión de riesgos, y aún hay mucho por aprender. Haber comprendido que el afrontamiento de estos temas debe ser de carácter multidisciplinario y que la tecnología puede contribuir enormemente a la gestión de riesgos, es un gran paso para el manejo de emergencias y desastres (Sanchez y Acquesta, 2011).

Para obtener respuestas eficientes a situaciones de emergencias, se requiere de una estrecha coordinación y colaboración entre los actores para garantizar que las necesidades sean atendidas, que no se dupliquen los esfuerzos y que se utilicen los recursos de manera óptima (El Proyecto Esfera, 2011). Sin embargo, este conjunto de pautas no puede cumplirse en su totalidad, si se desconoce cómo evoluciona el fenómeno y su potencial impacto sobre la población.

Por lo expuesto, resulta de suma importancia la existencia de una herramienta para la toma adecuada de decisiones, que minimice la confusión, los rumores y la exageración. De este modo, una estimación más detallada y dinámica de la distribución del contaminante en un incidente químico, y del daño sobre la población expuesta, ofrece un mejor conocimiento de la situación y del tiempo disponible para la intervención oportuna (Acquesta et al., 2010; Sanchez et al., 2011).

En una emergencia es sabido que es tan importante la respuesta como la planificación y por tal motivo resulta significativo poder contar con una herramienta que sea útil en todas las etapas de la gestión integral de la emergencia (Sanchez y Acquesta, 2011). A tal fin, DDC constituye un modelo de exposición para situaciones de emergencias químicas aplicable tanto a la respuesta en tiempo real como al estudio y análisis de escenarios para la planificación de estrategias ante un incidente. Su modularidad permite acoplarse a cualquier modelo de transporte que ofrezca una salida de datos en función del tiempo. El tipo de modelo de transporte apropiado dependerá de la magnitud

del problema, del nivel de detalle de la información disponible como entrada al modelo, del nivel necesario de la salida del modelo, de la precisión requerida y del tiempo disponible de espera para concluir los cálculos del modelo (Beychok, 1994; Dandrieux, 2006). Por tal motivo, lo apropiado es contar con un modelo que ofrezca el máximo nivel de detalle con el menor tiempo posible de ejecución, en función de la etapa de la gestión de riesgos a la que se quiera responder.

### Método

DDC (Damage Differential Coupling) constituye un modelo de exposición capaz de acoplarse a cualquier modelo de transporte de contaminantes en aire que tenga una salida de datos en forma temporal. De este modo, para cada ubicación donde la nube tóxica pasa, DDC analiza el perfil de concentración (salida de modelo de transporte) y lo asocia con alguna concentración de referencia de alerta (LOC) para así identificar las áreas de riesgo.

En ventaja a los métodos vigentes, DDC proporciona una estimación progresiva en el tiempo de los daños experimentados. Por lo tanto, los datos cronológicos de los posibles efectos experimentados por la población expuesta se encuentran disponibles y, a su vez, se puede mantener un registro de las consecuencias más probables para la salud de la población. Teniendo en cuenta que DDC se basa en la noción de un campo continuo de curvas de isodaño, el resultado concluye en un enfoque más descriptivo. Un mayor detalle de DDC se puede encontrar en Acquesta et al., 2010.

Para realizar una evaluación temprana de los alcances de una emergencia y del grado de impacto sobre la población y los bienes (competente a la planificación de emergencias), los modelos de transporte del tipo CFD son los más adecuados para un análisis profundo en áreas densamente pobladas (Delaunay, 1996; Hanna et al., 2007). Este tipo de modelo tiene una gran capacidad descriptiva de los escenarios con una muy buena aproximación. No sólo poseen un elevado grado de complejidad sino que además demandan un gran costo computacional, requieren de numerosos datos y de un tiempo grande de ejecución (desde minutos hasta días), por lo que su aplicación para la respuesta a emergencias en tiempo real no resulta factible. Para esta última situación, se utilizan modelos más simples (como pueden ser los gaussianos o los de caja) que recurren a simplificaciones en la descripción del fenómeno y del escenario y obtienen, en tiempos de ejecución del orden de los segundos, simulaciones bastante fiables para escenarios sencillos. Si bien es sabido que los modelos sencillos describen pobremente el fenómeno en terrenos complejos, son los más adecuados para la etapa de respuesta debido al compromiso que existe entre el nivel de detalle descripto y el costo computacional.

## Resultados

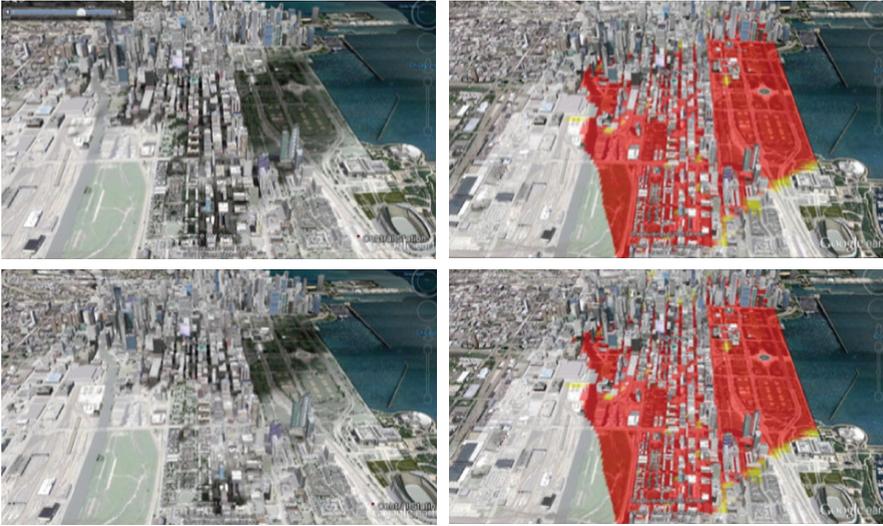
El acoplamiento de DDC con un modelo CFD y con un modelo euleriano sencillo nos ha permitido en este trabajo estudiar los alcances de la herramienta para su uso en la gestión integral del riesgo.

En primer lugar se implementó el acoplamiento entre un modelo CFD, FLACS (FLame ACceleration Simulator), con el método DDC para la simulación de una liberación de cloro cerca del centro de Chicago, IL, Estados Unidos.

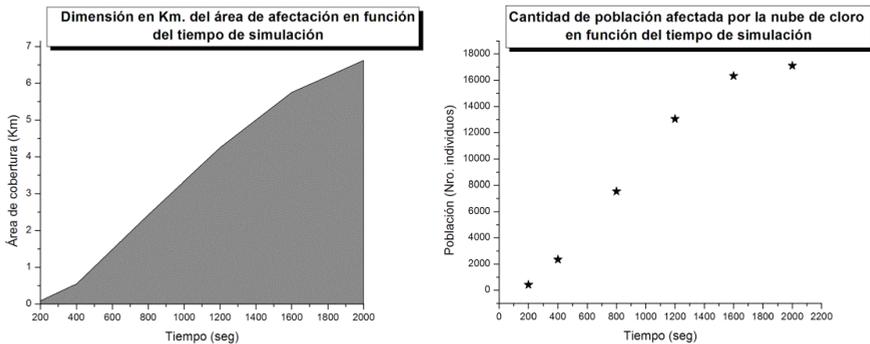
Se supone para esta corrida un escenario en el que la nube de cloro se transporta hacia el norte, rumbo a una región densamente edificada, caracterizada por edificios altos, con una densidad poblacional de aproximadamente 3949 individuos  $\text{km}^{-2}$ . Una mejor descripción del escenario estudiado, del mallado y de los modelos implementados se encuentra en Sanchez et al., 2011.

Los resultados de la simulación mostraron que, la nube de cloro se desplaza a mayor velocidad y con menor dilución a través de un terreno plano y abierto, extendiéndose más de 1000 m desde la fuente de emisión en la dirección del viento durante los primeros 400 s. Cuando la nube encuentra en su trayectoria al área densamente edificada, su extensión a sotavento se ve limitada debido a que la mezcla turbulenta (característica de terrenos complejos y zonas con edificaciones altas) contribuye a la disminución de la concentración local. Del mismo modo se observa que un volumen de gas queda atrapado al sudeste, entre los edificios elevados que actúan como área de atrapamiento, aún para tiempos avanzados de simulación. Por otra parte, queda en evidencia que para cualquier tiempo de simulación predomina el mayor nivel de daño (color rojo): ND 3 (superior al 85 % de las regiones), el cual está asociado a efectos graves en la salud, e incluso la muerte. Tal situación se encuentra directamente relacionada con la magnitud de la liberación de cloro. Ver figura 1.

DDC no sólo proporciona una representación gráfica de las regiones de afectación sino que además da conocimiento de la cantidad de personas que han sido potencialmente afectadas en función del nivel de daño. Finalmente, en la figura 2 se muestra el crecimiento cuantitativo de las regiones de afectación y la cantidad de población alcanzada por dichas regiones. El cambio de pendiente se asocia al momento en el que la nube tóxica se encuentra con el área de edificios altos, característica que sólo puede ser contemplada con un modelo de tipo CFD.



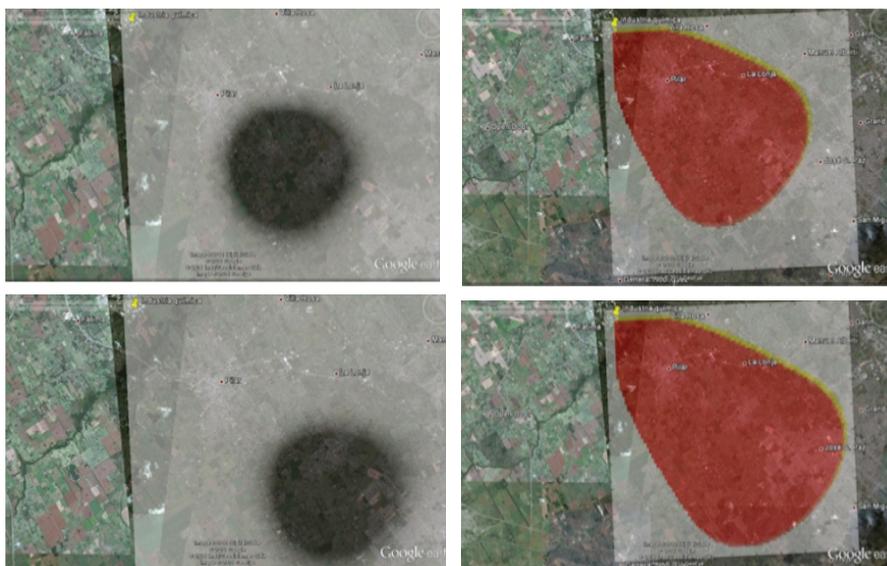
**Figura 1:** Representación de la evolución de la nube tóxica (izq.) Y de la region de afectación (der.), para el escenario de chicago sobre una imagen satelital proporcionada por google earth, 2011. Tiempos de simulación: 1600 (arriba) y 2000 s (abajo).



**Figura 2:** Análisis de la dimensión de las regiones de afectación y de la cantidad de población afectada en función del tiempo de simulación.

Como una segunda aplicación, se simula un escape de cloro en una industria química de Pilar con un modelo euleriano sencillo (figura 3), en la que puede observarse la evolución de la nube tóxica en las primeras dos horas y media de simulación, y las regiones de afectación relacionadas a las zonas de alto riesgo. La nube aquí representada presenta formas muy redondeadas y no se visualizan las edificaciones. Esto se debe a las simplificaciones a las que recurren los modelos de transporte sencillos.

Una herramienta de la que dispone el INDEC se ha utilizado en esta sección para estudiar la cantidad de población potencialmente expuesta a la nube tóxica. La misma nos ha permitido deducir que a los 28 minutos de simulación las poblaciones de Pilar (231639 habitantes) y del Barrio Parque Almirante Irizar (3085) comienzan a percibir al cloro en el aire, superando la concentración a las 0.31 ppm que representa al umbral olfativo. De este modo, los afectados sumarían un total de 234724 habitantes. Tiempo más tarde, aproximadamente a las 2 horas y 20 minutos, la nube alcanza a la población de José C. Paz con un total de 230208 habitantes.



*Figura 3:* Representación de la evolución de la nube tóxica (primera columna) y de las regiones de daño maximal (segunda columna) para el escape en el parque industrial de pilar, en los tiempos de simulación de 120 (arriba) y 180 (abajo) minutos.

Fuente: google earth, 2011.

## Conclusiones

Se concluye de este trabajo que el acoplamiento de DDC con diferentes modelos de transporte constituye una herramienta interesante para el análisis de riesgo. Conocer en forma temporal cuántas personas son potencialmente afectadas y en qué nivel, ofrece a los decisores en una emergencia química las herramientas para sacar conclusiones acerca de cuánto tiempo se dispone para evacuar a aquellos individuos que en el futuro inmediato serán alcanzados por la nube

tóxica, cuánta población necesitará de atención médica inmediata de acuerdo al grado de afectación y de cuánta logística se requerirá disponer para responder a la emergencia, entre otras cosas.

Cabe destacar que, aún cuando se disponga de la mejor herramienta para simular un fenómeno, no resulta suficiente si no se cuenta con información propia del sitio y/o de la población que se está estudiando. Situación muy frecuente en nuestro país que debería poner en alerta a las autoridades competentes, a fin de elaborar una base de datos completa para el manejo de emergencias en distintos escenarios.

### Referencias

- ACQUESTA A.; SÁNCHEZ E.; PORTA A.; JACOVKIS P., 2010. A method for computing the damage level due to the exposure to an airborne chemical with a time-varying concentration. *Risk Analysis*. 31(9), 1451-1469.
- BEYCHOK M, 1994. *Fundamentals of stack gas dispersion*. 3rd Ed. Irvine, CA.
- DANDRIEUX A, DIMBOUR JP, DUSSERRE G, 2006. Are dispersion models suitable for simulating small gaseous chlorine releases? *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19: 683-689.
- DELAUNAY D, 1996. Numerical simulation of atmospheric dispersion in an urban site: Comparison with field data. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 64(2-3): 221-231.
- EL PROYECTO ESFERA. Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria. Tercera edición 2011. ISBN 978-1-908176-02-8.
- HANNA S, WHITE J, HANNAN J, KOLBE R, KILEY C, BROWN M, HARRIS T, WANG Y, FRY R, BOWERS J, GARVEY D, WILLIAMSON C, MOUSSIFIR J, 2007. An intercomparison of diagnostic urban wind flow models based on the rökke methodology using the joint urban 2003 field data. *Proceedings of the 6th International Conference on Urban Air Quality*. Limassol, Cyprus.
- NOAA's (National Ocean Service), Office on Response and Restoration. 2012.
- PEÑA CE, CARTER DE, AYALA-FIERRO F, 2001. *Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental*. 1996-2001, The University of Arizona.
- SÁNCHEZ EY, GONZALEZ EM, PORTA AA, JACOVKIS PM, ACQUESTA AA, 2011. Simulación de un accidente químico con la herramienta CFD-DDC: planificación de respuesta a emergencias en ciudades. *Contaminación Atm. e Hídric. en Argentina*. UTN. 257-268.
- SÁNCHEZ EY Y ACQUESTA AD, 2011. *El Sistema CRISIS para la Gestión de Riesgos*. Tesina de la diplomatura en Gestión de Riesgo a para Emergencias y Desastres. Consejo Provincial de Emergencias e IPAP, Argentina.