

MODELIZACIÓN DE INCENDIOS

VENTAJAS Y RIESGOS

La ingeniería de SCI está convirtiéndose cada vez más en un reconocido y establecido ámbito de la ingeniería y en una parte importante en el proceso de diseño de edificios y de infraestructuras. Una parte especialmente importante de la ingeniería de SCI, y en particular del diseño basado en prestaciones, es la modelización. Esta tiene el objetivo ambicioso de predecir numéricamente el desarrollo de incendios y de las variables involucradas en el proceso de combustión, la dinámica de fluidos y el proceso de transferencia de calor. Este artículo presenta las propiedades de los modelos computacionales complejos utilizados en la ingeniería de SCI.



Autor: **GABRIELE VIGNE**
Fire Safety Engineer
Arup Fire, Responsable Europeo de Modelización de Incendios



Autor: **GUILLERMO REIN**
Experto en Dinámica del Fuego e Incendios
Profesor de Ingeniería Mecánica
Universidad de Edimburgo (Reino Unido)

Hay una variedad de modelos disponibles para la predicción del desarrollo de un incendio. Los más sencillos son simples correlaciones algebraicas basadas en coeficientes semi-empíricos. Otros más elaborados son los modelos de zonas que representan el espacio de un compartimento con un pequeño número de zonas de fluido con propiedades uniformes. Los más sofisticados son los modelados de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) –también llamados modelos de campo– que aproximan el espacio a un dominio de cálculo constituido por un gran número de volúmenes discretos. Los ingenieros que trabajan en la ingeniería de Seguridad Contra Incendios, SCI, son a

menudo responsables de los análisis relacionados con la seguridad de las personas, y para ayudarse en el proceso de diseño están equipados con una serie de herramientas de cálculo muy potentes como

Los ingenieros que trabajan en la ingeniería de SCI son a menudo responsables de los análisis relacionados con la seguridad de las personas

lo son estos modelos. Las suposiciones hechas por el usuario, la recopilación de datos de entrada y la selección de los valores de los parámetros de cálculo (algunos disponibles en la literatura, otros que se pueden extraer de experimentos, pero varios desconocidos y cuyo valor es hipotético) son elementos determinantes que conducen a la creación del modelo y obtención de resultados. Además, al final de todo el proceso de modelización viene otra etapa importante de interpretación de los resultados, que es una componente clave que resalta aún más el importante papel del usuario en la interacción con el modelo.

BENEFICIOS – CASOS RESUELTOS CON CFD

De modo puramente ilustrativo, presentamos aquí algunos ejemplos prácticos de análisis avanzados de modelización de incendio realizados por Arup Fire. La Figura 1 muestra la geometría de un recinto deportivo cerrado de 10.000 m² de planta para el que se realizó un estudio del sistema de control de humos (proyecto de TYM asociados). Inicialmente se realizó un pre dimensionamiento del sistema considerando un incendio localizado de 20 MW, en base a simples cálculos algebraicos. Este tamaño de fuego se determinó en base al peor de los casos posibles dado el uso esperado del recinto. Posteriormente se recurrió a herramientas de Dinámica de Fluidos Computacional (el software FDS versión 5.2.6 en este caso), con el que se logró disponer de un solo depósito con una superficie aerodinámica de extracción natural de 200 m² sobre la pista central. El modelo computacional se hizo con 18 millones de celdas y se necesitó de 30 procesadores de cálculo en paralelo computando durante semanas simultáneamente.

En la estación metropolitana de la se-

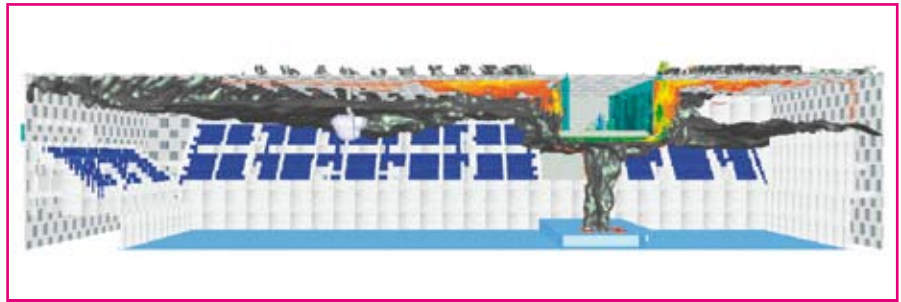


Figura 1. Superficie Iso de visibilidad y vectores de velocidad enfatizando la propagación de humo generado por un doble penacho de derrame

gunda avenida de Nueva York se realizó un estudio de CFD con el software FLUENT (v.6.3.26) (ver Figura 2). El objeto del análisis fue predecir el movimiento y la acumulación de humo y calor dentro

de la estación y al mismo tiempo integrar los resultados con un análisis de aerodinámica mediante SES (Subway Environmental Simulation), un modelado unidimensional de red utilizado en la pre-

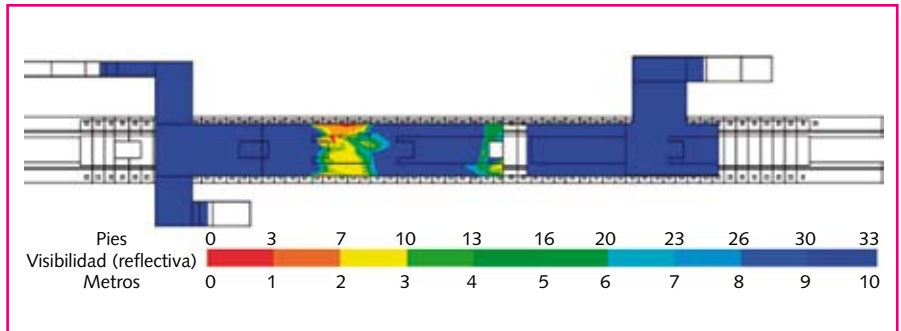


Figura 2. Modelo computacional de parte de la estación de la segunda avenida en Nueva York usando FLUENT

FUNDACIÓN FUEGO

para la seguridad contra incendios y emergencias

FORMACIÓN ON-LINE

AVANCE FORMACIÓN ON-LINE • PRIMER SEMESTRE 2011

Curso	Fecha	Horas	Lugar de Celebración
Planes de autoprotección. 2ª Edición	7 Febrero a 20 Marzo	40	www.formacionincendios.org
Avanzado de investigación de incendios. 3ª Edición	7 Marzo a 26 Junio	225	www.formacionincendios.org
Principios de PCI: Módulo I. Introducción a la PCI, comportamiento del fuego, protección activa, protección pasiva, autoprotección. 4ª Edición	14 Marzo a 17 Mayo	70	www.formacionincendios.org
RSCIEI, RIPCI y sus modificaciones. 2ª Edición	4 Abril a 29 Mayo	40	www.formacionincendios.org
CTE. 1ª Edición	2º Trimestre	40	www.formacionincendios.org
Psicología en la emergencia. 1ª Edición	2º Trimestre	50	www.formacionincendios.org

Además están previstas, entre otras, para el primer semestre las Jornadas Técnicas de: Autoprotección • SCI y Emergencias en Grandes Eventos • Jornadas Internacionales de SCI y Emergencias en Túneles



Figura 3. Ensayos a escala real, instrumentación y foco del incendio

Los gráficos realizados y que corresponde a la temperatura bajo techo 2 m desde el foco del incendio en condiciones de régimen estacionario), la tendencia general de FDS es de sobrestimar la temperatura dentro del túnel, aunque la diferencia entre los datos encontrados y los modelos de ensayo es pequeña.

EXPERIMENTOS A ESCALA REAL DE DALMARNOCK

En el 2006, el BRE Centre for Fire Safety Engineering juntó ocho equipos internacionales de expertos en simulación numérica de incendios, tanto de empresas de Seguridad Contra Incendios como de grupos de investigación, para realizar una validación a priori de herramientas modernas de simulación usando un experimento de fuego detallado y realista. El experimento a gran escala de Dalmarnock (Abecassis Empis et al. 2007, Rein et al. 2008) se realizó en julio de 2006 en un edificio de hormigón armado de 23 pisos en la ciudad de Glasgow, Reino Unido. El apartamento constaba de un corredor principal, dos dormitorios, un baño, una sala de estar y una cocina. La sala de estar, donde se inició el incendio, era de unas dimensiones de 3,50 m por 4,75 m, y 2,45 m de altura, con un conjunto de ventanas en la pared que mira al oeste de 2,35 m por 1,18 m. El compartimento estaba amueblado con muebles y decoración típicos de una sala de estar y oficinas. La Figura 7a muestra una fotografía tomada antes de la prueba. La densidad de carga de combustible se estimó en 32 kg/m² equivalentes de madera. Como refe-

dicción del movimiento de aire y calor por el movimiento de los trenes y la fuerza de flotabilidad del aire y del humo.

V&V (VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN)

En la actualidad se están utilizando modelados para estudiar la dinámica de los incendios en recintos y para simular el movimiento de llamas, los penachos, las capas calientes, el movimiento del humo en cada etapa del desarrollo del incendio desde la ignición, la propagación de llamas en los materiales y hasta la extinción de incendios. Sin embargo, la validación de dichos modelos constituye una tarea esencial para un correcto uso de los mismos. En los últimos 3 años, Arup Fire ha llevado a cabo varios ensayos de incendios a escala real en dos túneles diferentes cerca de Ponferrada, España. Las instalaciones fueron equipadas con una amplia gama de instrumentación para medir el desarrollo termo-fluidodinámico del incendio (ver Figura 3).

Se realizaron modelos a priori, modelos a posteriori y modelos calculando la pirolisis líquida del combustible directamente, opción disponible en FDS pero

todavía sin validar de forma adecuada (de hecho produjo un fuego significativamente diferente al observado). Para la modelización se utilizó FDS y CFAST, escogidos a propósito ya que son bien conocidos y utilizados en el panorama de la ingeniería contra incendios (ver Figuras 4 y 5).

La combinación de las incertidumbres experimentales asociadas tanto con los parámetros de entrada del modelo como con los datos de salida es de particular importancia en el proceso de verificación y validación. La comparación con los ensayos, se realizó considerando unas barras de error del $\pm 10\%$. FDS muestra un buen desempeño en la predicción de la magnitud de temperatura en el interior del túnel aunque hay que enfatizar, una vez más, la importancia de utilizar una correcta resolución del mallado para obtener resultados fiables ya que la diferencia entre mallados de resoluciones diferentes produjo errores de hasta el 100%. CFAST confirmó su incompatibilidad en la modelización de escenarios de este tipo. Como se puede ver en la Figura 6 (que solo representa uno de los numero-



Figura 4. Modelo del túnel realizado con FDS

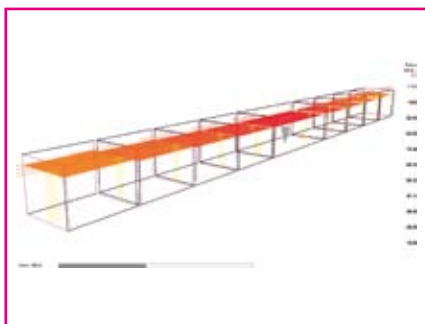


Figura 5. Modelo del túnel realizado con CFAST

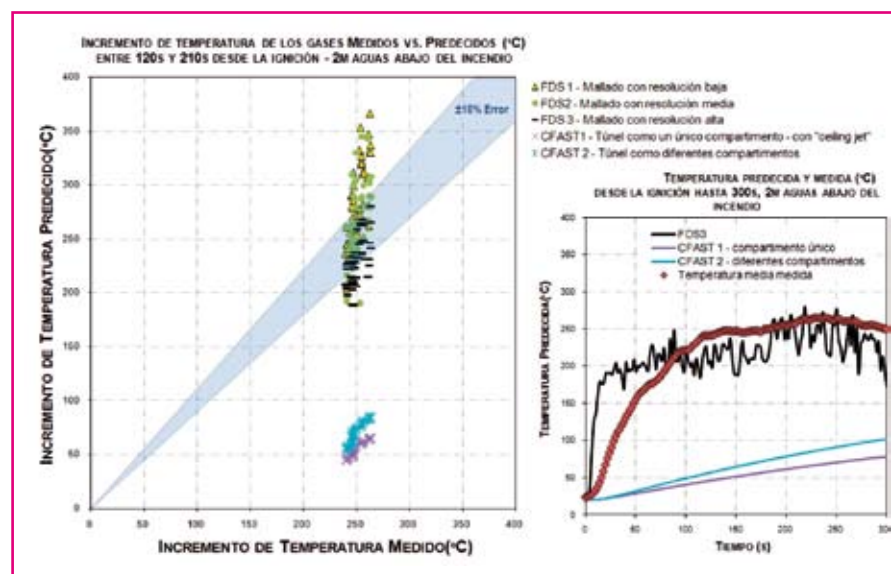


Figura 6. Comparación de los resultados de la modelización con resultados en escala real realizados en el túnel FSB2009 en Ponferrada

rencia, un valor típico para edificios de oficinas es de alrededor de 25 kg/m². La fuente de ignición fue una papelera de plástico llena de papel de periódico arrugado y 500 ml de heptano.

Más de 270 termopares se distribuyeron en todo el compartimento principal para obtener datos de temperatura del gas a alta resolución espacial adecuada para la comparación con modelos de CFD. El descenso de la capa de humo se midió con 8 pares de sensores láser. La velocidad de los gases de entrada y salida al compartimento se midieron en las puertas y ventanas con 14 sondas de velocidad bidireccional. Además, más de 15 cámaras de video, flujos de calor a la pared y el techo, detectores de humo en habitaciones diferentes, y la deformación de los elementos estructurales. El incendio se inició prendiendo la papelera, y se extendió rápidamente al sofá. Después de unos 4,5 minutos la estantería se prende, seguido rápidamente por la transición a la combustión súbita generalizada (*flashover* en Inglés). El fuego siguió ardiendo y el vidrio de la ventana de la cocina se rompió a los 12 min. El vidrio de la ventana al norte



Figura 7. Vista de la fuente de ignición, el sofá y muebles en el compartimento experimental: [Abecassis-Empis et al. (2008) y Rein et al. (2009)]

se rompió externamente a propósito a los 13 min. Y finalmente, el fuego fue extinguido por los bomberos después de 19 min. La mayor parte del combustible se quemó completamente; la Figura 7b) muestra una fotografía tomada después de la prueba.

El objetivo de la validación era predecir los resultados del experimento con la mayor precisión posible y evitar los análisis conservativos o la inclusión de factores de seguridad. Todos los equipos tuvieron acceso libre al conjunto de información muy detallada sobre el escenario, el compartimento, el

contenido y las condiciones iniciales. La información incluía planos originales, medidas precisas de la sala, las puertas y ventanas, más de 50 fotografías del escenario, localización detallada y descripciones individuales de cada objeto en la sala de estar y localización de todos los sensores. Cada equipo era libre de elegir el tipo de herramienta computacional a usar. En total se enviaron diez simulaciones, ocho realizadas con FDS4 y dos con CFAST. La comparación de resultados, tanto predicciones como medidas experimentales, se muestra en la Figura 8.

Esta Navidad Regala Seguridad



Detector de Incendios Óptico
20 €

- << Pequeño electrodoméstico que detecta el incendio y hace sonar una fuerte alarma que te avisa para que puedas escapar del incendio.
- << Si es de noche, esta alarma te podrá despertar. Es el mejor sistema para sobrevivir en un incendio cuando se produce por la noche.
- << Funciona con una pila que viene incluida.

Manta Apagafuegos
25 €

- << Sirve para apagar los fuegos de líquidos inflamables, como el aceite de una sartén o de una freidora. También puede servir para envolver a una persona en caso de que ardiessen sus ropas.
- << Se presenta en una funda de PVC rígida que dispone de dos bandas para su rápida extracción y desplegado.



Detector de Monóxido de Carbono
37 €

- << Pequeño aparato que debe instalarse en todas las habitaciones donde haya quemadores de gas, queroseno, chimeneas, etc.
- << El detector utiliza una célula electroquímica que comprueba la concentración de CO cada 50 segundos. El indicador verde parpadea cada minuto para indicar que el suministro de la batería es correcto. Cuando el detector detecta CO la alarma suena y el indicador rojo parpadeará en velocidades diferentes según el nivel de CO.
- << Funciona con 3 pilas que vienen incluidas.



www.aptb.org

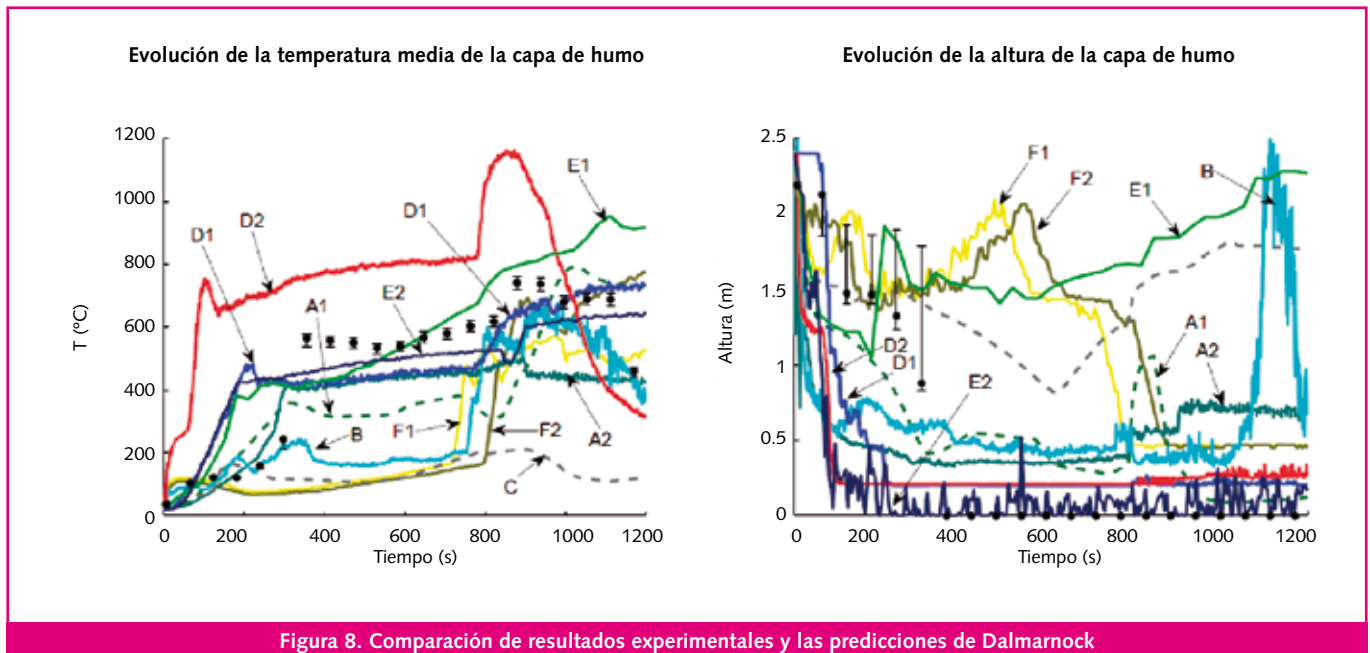


Figura 8. Comparación de resultados experimentales y las predicciones de Dalmarnock

Los resultados de la Figura 8 muestran una gran dispersión y una importante disparidad entre las simulaciones en sí, y entre las simulaciones y los experimentos. La dispersión es mucho mayor que la variabilidad observada en el experimento (para más detalles ver Rein et al 2009). La discrepancia en los resultados es fruto principalmente de la incertidumbre asociada a la definición del escenario computacional y de fichero de entrada (presunciones, hipótesis, propiedades físicas, y valor de los parámetros). La mayor fuente de incertidumbre se origina en la predicción de la curva de crecimiento del fuego (la potencia o *heat release rate*). Esto se debe a la complejidad de modelar la propagación de una llama sobre combustibles sólidos y la ignición secundaria de objetos en el compartimento.

CONCLUSIONES

La gran disponibilidad de herramientas, desde las más básicas hasta las más sofisticadas, ya a disposición de la comunidad de la ingeniería de Seguridad Contra Incendios, ha dado lugar a un campo específico dentro de la misma disciplina con un sesgo hacia las herramientas más complejas, en la que el papel del ingeniero se ha convertido más en un rol de modelador. Si bien este cambio es evidente y requerido a menudo, también puede llevar a una falta de comprensión de las herramientas que, sin duda, tienen una enorme potencia. En cualquier situación de diseño se debe considerar una serie de factores antes de seleccionar un modelo, incluidos los recursos computacionales, las limita-

ciones de tiempo, el nivel de exactitud requerido, y lo más importante, si las ecuaciones que gobiernan la física del fenómeno y los supuestos del modelo son apropiados para el tipo de análisis y si el modelo ha sido validado suficientemente. Es imprescindible comprender las aproximaciones numéricas y físicas hechas por el modelo, las sub-rutinas de transporte conectivo, turbulencia, flotación, radiación, pirolisis, las condiciones de contorno y demás. Es el conocimiento profundo de estos aspectos claves lo que induce al usuario más experto a mirar con desconfianza algunas de las herramientas más novedosas y sobresalientes presentes en algunos softwares como, entre muchos otros, la propagación de llamas, la modelización de partículas y hasta sus influencias en el desarrollo del incendio. No obstante, los mismos usuarios reconocen el gran aporte que estas herramientas dan a la comunidad científica y haciendo posible, quizá en futuro, que las mismas puedan ser utilizadas de manera fiable en la ingeniería de Seguridad Contra Incendios.

Este artículo ha querido mostrar algu-

nas de las ventajas pero también algunos de los inconvenientes de usar modelos computacionales complejos disponibles hoy en día al ingeniero de Seguridad Contra Incendios. El futuro nos traerá una mejora de estas herramientas, pero solo si la actividad investigadora y la difusión del conocimiento técnico continúan junto con un mayor número de experimentos a escala real. ■

REFERENCIAS

- G Rein, JL Torero, W Jahn, J Stern-Gottfried, NL Ryder, S Desanghere, M Lázaro, F Mowrer, A Coles, D Joyeux, D Alvear, JA Capote, A Jowsey, C Abecassis-Empis, P Reszka, Round-Robin Study of a priori Modelling Predictions of The Dalmarnock Fire Test One, *Fire Safety Journal* 44 (4), pp. 590-602, 2009. <http://hdl.handle.net/1842/2704>.
- C Abecassis-Empis, P Reszka, T Steinhilber, A Cowland, H Biteau, S Welch, G Rein, JL Torero, Characterisation of Dalmarnock Fire Test One, *Experimental Thermal and Fluid Science* 32 (7), pp. 1334-1343, 2008. <http://hdl.handle.net/1842/2513>.
- G Vigne, S Winter, J Jönsson, J Stern-Gottfried, "The use of CFD Modelling to Predict Smoke Movement in Tunnels", *Smoke Control in Buildings and Tunnels*, International Congress, October 2008, Santander (España).
- G Vigne, J Jönsson, "Experimental Research - Large-Scale Tunnel Fire Tests and the use of CFD modelling to predict Heat Flux and Thermal Behaviour", *Fire Protection and Life Safety in Buildings and Transportation Systems*, International Congress, October 2009, Santander (España).

Al final de todo proceso de modelización viene otra etapa importante de interpretación de los resultados