

**UNA NUEVA METODOLOGÍA PARA LA
PREDICCIÓN DE LA GRAVEDAD DE LOS
ACCIDENTES INDUSTRIALES APLICANDO
EL ANÁLISIS HISTÓRICO**

Memoria presentada por
Sergio Carol Llopart
para optar al grado de
Doctor Ingeniero Industrial

Barcelona - Junio - 2001

Als meus pares, les persones
que més s'han sacrificat durant
molts anys per que aquest
moment pogués arribar.

A la meva dona, que ha patit
amb resignació tots els petits
entrebancs d'aquesta feina.

En mitad de la noche, oí mucho ruido en el exterior. La gente gritaba “levántate... corre, corre, el gas ha escapado”. Mi hermano Jawahar se levantó y dijo “todo el mundo está corriendo, vámonos”. Abrí los ojos y vi que la habitación estaba llena de humo blanco. Mis ojos empezaron a llorar y el aire me quemaba los pulmones. Los seis, mis hermanos y mi hermana, salimos al exterior. Mi hermana llevaba a mi hermano menor Rajesh en brazos. Mi padre no quiso abandonar la casa y mi madre se quedó con él.

(...)

Por la mañana iniciamos el regreso. Cerca de casa, vi al abuelo de mi amigo Santosh muerto, en el suelo. Vimos muchos cuerpos de hombres, mujeres y niños muertos que yacían frente a la puerta de Union Carbide. Mi perro también estaba allí. Dos de mis amigos, Santosh y Rajesh también habían muerto...

Ramesh, víctima del accidente de la planta de Union Carbide en Bhopal (India), el 2 de Diciembre de 1984.

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis se ha elaborado bajo la dirección de los Doctores Joaquim Casal i Fàbrega y Juan Antonio Vilchez Sánchez, en el Departamento de Ingeniería Química de la Universitat Politècnica de Catalunya (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona). Me resulta difícil pensar en haber desarrollado este trabajo sin sus aportaciones y sin sus sugerencias. En numerosas ocasiones han aportado ese “juicio experto” del que tanto carezco y que tanto admiro.

Asimismo, deseo transmitir mi agradecimiento más sincero:

A M^a Ángeles Martínez y Gina Alberó por su ayuda e interés en el tratamiento estadístico de los datos y por haber dedicado su atención a este proyecto.

A los compañeros del Centre d'Estudis del Risc Tecnològic (CERTEC), del Departamento de Ingeniería Química, por los agradables momentos compartidos. Me ha resultado enormemente gratificante vivir esta experiencia junto a ellos.

A PREPERSA por la ayuda económica aportada para la realización de este trabajo y en particular a Josep M. Ollé, por el apoyo y la confianza que depositó en mi y por haberme introducido en el mundo de la seguridad industrial, marcando definitivamente mi trayectoria profesional.

A mis compañeros de PREPERSA, a quienes debo todas y cada una de las aportaciones que a lo largo de los años hemos ido compartiendo.

A mis compañeros del Grupo Catalana Occidente por el soporte bibliográfico y técnico prestado y por descubrirme nuevas técnicas estadísticas mediante aportaciones desinteresadas que han dado significativos impulsos a este trabajo.

A mis profesores, de quienes guardo un recuerdo muy especial. Aunque haya sido de forma indirecta todos ellos han contribuido a que este trabajo pudiera elaborarse. Muy especialmente quiero hacer llegar mi agradecimiento a Rodrigo Segarra por despertar en mi, tal vez sin saberlo, el interés por el noble ejercicio de trabajar.

A mi mujer le debo el apoyo prestado durante estos años. A mis padres debo agradecerles los esfuerzos realizados en mi educación y en mi desarrollo como persona, transmitiéndome la ilusión por el trabajo constante y bien hecho. En los momentos de decaimiento a lo largo de este tiempo (que los ha habido y muchos), me ha ayudado enormemente pensar en el orgullo con el que vivirían, o hubieran vivido, este momento junto a mi.

SUMARIO

La presente tesis va encaminada al estudio de la gravedad de los accidentes industriales con sustancias peligrosas mediante la utilización del análisis histórico de accidentes. Su objetivo final es utilizar el tratamiento cuantitativo de dicho análisis para desarrollar una metodología que permita predecir la gravedad de los accidentes.

Los factores de riesgo que determinan la mayor o menor gravedad de los accidentes son tantos y tan complejos, que las aproximaciones determinísticas tradicionales no permiten desarrollar modelos adecuados que describan correctamente la realidad. Pretender establecer una correlación de determinados factores de riesgo para predecir la potencial gravedad de un accidente es, hoy por hoy, cuanto menos, difícil.

Existen muchas publicaciones y trabajos de recopilación en los que se detallan innumerables situaciones accidentales. En los últimos años, el desarrollo de bases de datos informatizadas permite una utilización masiva de estas informaciones. Sin embargo, la utilización tradicional del análisis histórico de accidentes se ha encaminado prioritariamente a la detección cualitativa de factores de riesgo y de forma secundaria, al desarrollo cuantitativo de determinados modelos.

El trabajo aquí presentado parte del estudio de diversas recopilaciones de accidentes de reconocido prestigio y de la aplicación de técnicas cuantitativas que permitan establecer o aproximar la potencial gravedad de los accidentes industriales en los que intervienen de manera directa sustancias peligrosas.

Para ello, en el Capítulo 1, introductorio, se analiza la **situación global de la seguridad industrial en España**, se estudian las **técnicas utilizadas en el análisis de riesgos** y se presenta la orientación y el esquema general de este trabajo.

En el Capítulo 2 se revisan los **índices de riesgo** más reconocidos, con el triple objetivo de conocer cuáles son los factores de riesgo determinantes en la gravedad de un accidente industrial, qué ponderación se hace de cada uno de ellos y qué relación matemática se establece para determinar el nivel de riesgo asociado a cada instalación.

Dado que para el desarrollo de este trabajo era preciso seleccionar una base de datos en la que se recopilaran numerosos accidentes con sustancias peligrosas, en el Capítulo 3 se incluye una descripción detallada de las **bases de datos** y de las referencias bibliográficas que han servido de base o apoyo al estudio realizado. En los Anexos 1 y 2 se detallan la estructura y características fundamentales de las bases de datos MARS y MHIDAS. Este análisis permite identificar también determinados factores de riesgo en el uso industrial de sustancias peligrosas. Por la mayor disponibilidad de acceso, facilidad de tratamiento de la información y cantidad y calidad de los datos recogidos, se optó en su momento por basar el estudio en los accidentes de la base de datos MHIDAS. No obstante, en el análisis de diversas situaciones accidentales, se ha recurrido en muchas ocasiones a otras fuentes, también descritas.

El Capítulo 4 presenta el estudio de la gravedad de los accidentes industriales en función de los factores descriptores disponibles en la base de datos MHIDAS (muertos, heridos y pérdidas económicas). Supone una primera aproximación al

problema mediante **estadística descriptiva** permitiendo ratificar y cuantificar, a la luz del análisis histórico de accidentes, lo que el juicio experto indica de forma más o menos intuitiva y establecer las probabilidades de ocurrencia de accidentes de una determinada gravedad.

La limitación más importante observada en los métodos estadísticos descritos en el Capítulo 4, es que los análisis realizados son uni o bivariantes, por lo que en cada caso se observan las relaciones entre una única variable explicativa y una variable respuesta. Con el fin de generalizar este análisis y poder observar las relaciones entre unas y otras variables, se presentan en el Capítulo 5 los resultados más significativos obtenidos al aplicar a los datos recopilados en MHIDAS, diversos **métodos estadísticos multivariante**. Los métodos utilizados han sido los siguientes: análisis de correspondencias múltiples y análisis de conglomerados, análisis de regresión múltiple, modelos logit, árboles de clasificación o decisión y análisis discriminante.

En la medida en que cada uno de ellos lo permite, se ha intentado conocer el potencial predictivo y/o explicativo que cada método aplicado aporta al ser utilizado con los datos de MHIDAS. Los resultados obtenidos pueden tener validez y utilidad en el análisis cuantitativo de riesgos al permitir estimar la gravedad de los accidentes a partir de unos pocos parámetros generales.

El Capítulo 6 presenta tres estudios concretos derivados de los análisis anteriores en los que, para ciertas tipologías de accidentes, se predice la evolución de su coste económico con el tiempo, la gravedad de los mismos en función de la cantidad de sustancia interviniente en las explosiones accidentales y una primera aproximación a los árboles de sucesos para sustancias inflamables.

Finalmente se resumen las conclusiones derivadas de la realización de esta tesis y se recopila la bibliografía utilizada como referencia a lo largo de todo este estudio.