

### **3. FUENTES DE INFORMACIÓN PARA EL ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES CON SUSTANCIAS PELIGROSAS**

### 3.1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo describe todas las fuentes de información consultadas para obtener referencias de los accidentes ocurridos en el pasado, ya sean bases de datos informatizadas o referencias bibliográficas.

Su utilización permite evidenciar algunos puntos críticos de la instalación (construcción, diagrama de flujo, procedimientos de operación, etc.) que pueden desencadenar un accidente. Aportan además una serie de consejos sobre acciones de emergencia o soluciones correctivas a los problemas planteados e información útil sobre la magnitud de los accidentes que pueden producirse en una instalación concreta por comparación con otras similares que hayan provocado accidentes en el pasado.

Una base de datos debe estar permanentemente actualizada. Los registros más útiles suelen ser los más actuales, pues hacen referencia a accidentes recientes en instalaciones modernas, con tecnologías y procesos similares a los desarrollados en la actualidad. El uso de accidentes muy distantes en el tiempo como referencia puede llevar a conclusiones erróneas. Este mantenimiento constante implica que las entidades que lo realizan tengan contactos institucionales que les permitan un eficaz y completo conocimiento de los eventos producidos.

Resulta de vital importancia a la hora de valorar una base de datos la calidad de la información recogida (cantidad de información, fiabilidad de la misma, ordenación de los campos, ...) así como las diversas posibilidades de acceso desde el punto de vista de los sistemas informáticos disponibles para ello y desde el de la distribución pública de la propia base de datos. En este sentido es importante valorar la calidad del sistema de gestión de la base de datos y la forma en que se accede a ellos (consulta formalizada por cuestionario a la entidad que la gestiona, consulta a través de INTERNET, adquisición de la base de datos completa en CD-ROM, ...).

Para una correcta selección de una o varias recopilaciones de accidentes deben tenerse en cuenta una serie de aspectos o características fundamentales que marcarán de forma significativa la utilidad de la misma. En general, serán relevantes los siguientes aspectos:

1. Número de accidentes registrados. Evidentemente, cuanto mayor sea el número de accidentes recopilados en una base de datos, más generalizables serán las conclusiones que se deriven del estudio. Debe tenerse en cuenta que aunque una recopilación disponga de muchos accidentes (más de 15.000 en algunos casos), al aplicar criterios de selección (por ejemplo "explosiones tipo bleve en instalaciones de proceso de gases licuados del petróleo") suelen quedar, con suerte, unas decenas de accidentes.
2. Campos identificados. Constituyen el conjunto de informaciones que se conocen de un determinado accidente. Cuantos más campos se detallan, más específica es la descripción del accidente. A este respecto cabe destacar dos cuestiones fundamentales. Por una parte, las recopilaciones publicadas en bibliografía suelen referenciar el accidente y facilitar, en el mejor de los casos, los campos indispensables para el estudio desarrollado, mientras que las bases de datos informatizadas o las recopilaciones de tipo administrativo suelen contener información más rica en este sentido.

Por otra parte, tan importantes son los campos que describen el accidente y sus consecuencias, como aquellos que detallan las instalaciones en las que ha tenido lugar el mismo. A este respecto, el formulario desarrollado para informar de los accidentes mayores, creado a raíz de la publicación de la Directiva 96/82/EC o directiva "Seveso II", supone una muy importante mejora [KIRCHSTEIGER 1998].

3. Palabras clave. Son el conjunto de valores admitidos para cumplimentar cada uno de los campos de la base de datos. En el tratamiento masivo de información es de vital importancia que las referencias sean homogéneas y a su vez lo más versátiles posible. De estas palabras clave depende la precisión y grado de detalle de las explotaciones a realizar. La posibilidad de cumplimentar los campos con textos libres, facilita la versatilidad y nivel de descripción, pero impide prácticamente cualquier tipo de explotación masiva de la información. Una solución a este problema es duplicar cada campo, creando uno codificado bajo determinados criterios pero dejando otro para informar en forma textual (solución adoptada en el caso de la base de datos MARS).
4. Calidad de la información. Toda recopilación de datos sobre accidentes industriales debe estar respaldada por una entidad de reconocido prestigio que avale las informaciones contenidas en ella. La recogida de información de campo sobre accidentes es difícil y está afectada por intereses particulares que pueden desvirtuar los datos. Aun utilizando fuentes de datos de reconocido prestigio, es fácil encontrar discrepancias significativas entre una y otra fuente de información [CAROL 2000].
5. Posibilidad de contraste. Toda información recogida en una base de datos debe ser contrastable para verificar su corrección. Sin embargo, dada la confidencialidad de algunos de los datos que se manejan o la dispersión de las fuentes de datos, no siempre es fácil identificar un determinado evento o contrastar un determinado dato.
6. Criterios de búsqueda. Constituye el conjunto de herramientas lógicas que permiten una selección reducida de registros que cumplan con un determinado número de condiciones. Esta selección debe hacerse de forma manual en las recopilaciones de tipo administrativo o en las publicadas. Por el contrario, las bases de datos informatizadas llevan asociado un programa de gestión de la información. La calidad, versatilidad y facilidad de manejo de éste, son fundamentales a la hora de valorar una base de datos.
7. Facilidad de explotación masiva. Si el objetivo del estudio es un tratamiento estadístico de la información, es evidente que un elemento fundamental es la posibilidad de extraer conjuntos de datos homogéneos y poderlos exportar de forma automática para ser tratados por otras plataformas (EXCEL, SYSTAT, SPSS, SPAD.N, etc.). En este sentido, aquellas fuentes de información con campos categorizados (no textuales), son a priori más útiles que las que recopilan informaciones "abiertas" o textuales.

Con el fin de llevar a cabo el análisis expuesto en el apartado 1.3. de esta memoria, relativo a las bases de datos informatizadas disponibles sobre accidentes industriales con sustancias peligrosas, a continuación se describen con detalle aquellas de las que se ha tenido referencia y cuya utilización ha sido considerada para el desarrollo de esta tesis.

### 3.2. BASE DE DATOS FACTS

FACTS es el acrónimo de "Failure and Accidents Technical information System". Esta base de datos ha sido desarrollada y es mantenida y comercializada por TNO "Division of Technology for Society". Contiene aproximadamente 15.000 registros y está claramente enfocada al estudio de accidentes industriales con sustancias peligrosas. Su recopilación se inició en 1980.

Los accidentes recopilados han ocurrido en los últimos 60 años en cualquier parte del mundo. No obstante lo anterior, la mayor parte de los registros es posterior a 1970 y la mayoría de los accidentes registrados han ocurrido en Europa o USA, siendo menos significativa la presencia de accidentes de otros países.

Las fuentes de información proceden de revistas técnicas, periódicos e informes técnicos de organismos públicos o privados (departamentos de bomberos, policía, agencias gubernamentales, las propias industrias). Debe tenerse en cuenta al respecto que ciertas informaciones consideradas de carácter confidencial no son registradas. Por otra parte, el hecho de que se recopile información procedente de prensa no especializada puede inducir a dar menos credibilidad a los datos recogidos, si bien, el aval que supone el que haya sido elaborada por TNO puede dar mayores garantías de fiabilidad.

En principio se recopilan tanto accidentes graves como leves, incluyendo algunos incidentes. No obstante, como sucede con el resto de recopilaciones, estos últimos tienden a quedar infrarepresentados en el conjunto dado que no tienen tanta difusión pública [Marshall 1977].

La información recopilada de cada accidente es microfilmada y registrada adecuadamente en los campos de la base de datos indicados en la Tabla 3.1.

La selección de los registros de interés puede hacerse de forma versátil al disponerse de un sistema gestor de bases de datos avanzado que permite la selección por múltiples criterios. La información así extraída se presenta en informes que incluyen una descripción de los criterios de búsqueda y selección, una descripción de los campos codificados, un listado global de los registros seleccionados, los registros propiamente dichos y unas tablas resumen según diversos parámetros.

Una característica diferencial de FACTS respecto a otras bases de datos es que está relacionada con cuatro bases de datos adicionales que aportan información complementaria altamente interesante. Sus descripciones básicas se citan a continuación:

1. Una base de datos con referencias de 2.000 accidentes de transporte de materias peligrosas.
2. Una base de datos sobre las posibles causas de accidente en un importante número de equipos y/o instalaciones.
3. Una base de datos que contiene información sobre reacciones químicas, incluidas aquellas que pueden darse en situaciones no controladas, favorecidas por impurezas o en condiciones extremas derivadas de un accidente o incidente previo.
4. Una base de datos que contiene información de los resultados de las investigaciones sobre las causas de los daños en los equipos, con especial atención a los materiales usados, las condiciones de proceso, los fallos del material o de la construcción.

Tabla 3.1. Campos de la base de datos FACTS.

GENERAL	ESPECÍFICO	CAMPOS	COMENTARIOS
Identificación del registro	Registro	Nº de accidente Referencia del microfilm	
	Fuente	Fuente bibliográfica Referencias Datos de archivo	
	Datos de localización	Fecha completa Estado Localidad Dirección Alrededores Condiciones ambientales	
Actividad		Actividad desarrollada	Transporte, proceso, investigación,...
Entidad		Nombre de la empresa Dirección País Actividad industrial	
Desarrollo del accidente	Causas de ocurrencia	Natural Fallo humano Fallo técnico	
	Circunstancias	Natural Fallo Humano Error mecánico	Sobrecalentamiento, condensación, bleve, incendio,...
	Equipamiento	Fallo humano, natural o mecánico	Filtros, tuberías, válvulas, reactores, turbina, ...
	Productos químicos	Identificación de los productos y de sus propiedades físicas y de almacenamiento	
	Consecuencias	Humanas Materiales Medioambientales	
Comentarios		Breve descripción Mapas Fotos Modificaciones sobre el equipo	

El acceso a la información puede hacerse por adquisición de la base de datos en CD-Rom o por consulta puntual al TNO, detallando claramente las especificaciones de búsqueda. La versión para PC admite también la introducción de otras referencias por el propio usuario.

En la Figura 3.1. se presenta como ejemplo el contenido de la base de datos con relación a un accidente concreto.

Figura 3.1. Ejemplo de los datos extraídos de FACTS sobre un accidente.

<b>FACTS</b> <b>Database for industrial Safety</b> <b>Accident Abstract</b>	Acc. N°: 2657
Identification:	
ADRES GB ADATE 1981 0906 ACTIV PROCESSING NORMAL OPERATION LOCTN CHEM-FACTORY SOLVENT REPROCESSING PLANT	
Cause:	
CAUSE HUMAN-FAILURE	
Accident description:	
OCCUR HUMAN OPERATIONS SHUT OFF SUPPLY OF WATER OCCUR OVERPRESSURE EQINV HEAT EXCHANGER CONDENSOR OCCUR RELEASE EQINV VALVE OPEN RELIEF VALVE SPILL 6.00 M3 EQINV VAPOUR-CLOUD INSIDE BUILDING CHEM UN-1206 HEXANE STATE LIQUID OCCUR IGNITION BY FLAME OF BOILER EQINV BURNER OIL FIRED STEAM BOILER OCCUR EXPLOSION OCCUR FIRE OCCUR OVERHEATING EQINV DRUM 100 CHEM UN-1993 INFLAMABLE LIQUID STATE LIQUID OCCUR EXPLOSION OCCUR EVACUATION HMINV CITIZEN 1000 INJURS WORKER 1 FATALS WORKER 1 WNDNG BURNS EQDM BUILDING FACTORY EQDM WINDOW OF NEARBY HOUSES	
Summary:	
SCENE EXPLOSION AND FIRE AT CHEMICAL SCENE FACTORY	

### 3.3. BASE DE DATOS SONATA

Se trata de una base de datos similar en su estructura a la descrita en el apartado anterior. Ha sido desarrollada por la empresa italiana TEMA del grupo EMI, en colaboración con bancos de datos internacionales [ITSEMAP 1995] y se cumplimenta en italiano e inglés indistintamente. Hoy por hoy ha dejado de actualizarse. Contiene 2.500 registros, el 94% de los cuales corresponden al periodo 1960-1980, un 5% a

accidentes ocurridos entre 1930 y 1960 el un 1% restante ocurridos con anterioridad a 1930.

Se nutre de la información facilitada por fuentes públicas (periódicos, revistas técnicas, informes técnicos, bibliografía, etc.) [STORCH 1998].

Su estructura fundamental incluye los campos indicados en la Tabla 3.2. En la Figura 3.2. puede verse un ejemplo de un registro completo de esta base de datos.

Tabla 3.2. Campos de la base de datos SONATA.

---

Nº de identificación
Lugar de ocurrencia (ciudad o localidad)
Estado
Fecha del accidente
1º sustancia involucrada (nombre de la sustancia principal)
Cantidad (de la sustancia principal)
2º sustancia involucrada
Cantidad (de la segunda sustancia)
Otras sustancias (3º sustancia involucrada)
Otras sustancias (4º sustancia involucrada)
Tipo de incidente (incendio, explosión, dispersión tóxica, etc.)
Otros incidentes verificados (datos adicionales del incidente)
Otros incidentes verificados (y 2)
Causa del incidente
Nº de muertos
Nº de heridos
Daños económicos (valorados en millones de dólares USA)
Tipo de actividad afectada (proceso, almacenamiento, transporte,...)
Especificación de la actividad
Referencias de archivo
Breve descripción del accidente

---

### 3.4. "THE ACCIDENT DATABASE" (versión 2)

Se trata, al igual que en los casos anteriores, de una base de datos que recopila información pormenorizada de accidentes industriales. Ha sido desarrollada y distribuida comercialmente por el Safety Health and Environment Department del IChemE (Institution of Chemical Engineers) en forma de actualizaciones periódicas. En la actualidad contiene más de 10.500 registros, 3.000 de los cuales son referencias a accidentes inéditos, todos ellos cumplimentados en inglés. Algunos accidentes registrados contienen, además, diagramas de flujo o esquemas de desarrollo del accidente.

La principal novedad sobre las bases de datos descritas hasta el momento es que los accidentes se describen en forma de texto en la mayoría de los campos. Para poder llevar a cabo las búsquedas de registros, se marcan ciertas palabras clave en el mismo. En este sentido la descripción del accidente es más rica y versátil que a través de campos codificados, permitiendo a su vez una búsqueda sistemática de los registros. No obstante, para los objetivos de este trabajo, puede considerarse un inconveniente no disponer de campos codificados que permitan una explotación estadística.

Figura 3.2. Resultados de una consulta de un registro de la base de datos SONATA.

Nº DE IDENTIFICAZIONE	1054
LOCALITA	PALAZZOLO MIL., MI
NAZIONE	ITALIA
DATA	04/05/1985
1ª SOSTANZA COINVOLTA	METANO
QUANTITA INTERESSATA	
2ª SOSTANZA COINVOLTA	
QUANTITA INTERESSATA	
ALTRA SOSTANZA INTERESSATA	
ALTRA SOSTANZA INTERESSATA	
TIPO DI INCIDENTE OCCORSO	ESPLOSIONE CONFINATA
ALTRO INCIDENTE VERIFICATOSI	
CAUSA	FUGA DI GAS
Nº MORTI ACCERTATI	3
Nº FERITI ACCERTATI	
DANNI IN MIGLIAIA DI DOLLARI	
TIPO DI ATTIVITA INTERESSATA	NON INDUSTRIALE
SPECIFICA DI ATTIVITA O IMPIANTO	ABITAZIONE PRIVATA
SPECIFICA DI ATTIVITA O IMPIANTO	
RIFERIMENTI CARTACEI	1054

Breve descrizione dell'incidente

Fuga di gas causa una violentissima esplosione che ha provocato il crollo di una villetta sotto la quale sono rimaste uccise tre bambine

En la Tabla 3.3. se recogen los campos que contiene esta base de datos, con una descripción de los mismos.

IChemE facilita información complementaria si así se solicita con relación a casos seleccionados. Al igual que para otras bases de datos, si la utilización de la misma es ocasional, puede optarse por realizar la consulta puntual a IchemE, sin necesidad de suscribir las actualizaciones de la base de datos.

En general, constituye una recopilación de accidentes interesante y contiene una descripción de los mismos más rica que las de otras bases de datos. Además aporta un sistema de búsqueda más completo que permite identificar cadenas de texto en cada campo, haciéndola mucho más versátil. No obstante, está claramente orientada a la formación y aporta escasas informaciones cuantitativas o descripciones detalladas de las peligrosidades de las sustancias implicadas.

Tabla 3.3. Descripción de los campos de la base de datos "The Accident database".

CAMPO	DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE BÚSQUEDA
Resumen	Descripción textual de lo ocurrido. Desarrollado por técnicos especializados en seguridad.	Palabras clave Cadenas de texto
Recomendaciones	Lecciones que deben derivarse de la ocurrencia del accidente.	Cadenas de texto
Causa	Cuando es posible, se incluye una relación de causas, desde el evento iniciador, hasta las causas primarias.	Palabras clave Cadenas de texto

Tabla 3.3. (Cont.) Descripción de los campos de la base de datos "The Accident database".

CAMPO	DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE BÚSQUEDA
Equipo	Describe el equipo que resultó afectado por el accidente.	Palabras clave Cadenas de texto
Consecuencias	Resultados derivados del accidente. Incluye daños a las personas, daños al equipo, daños medioambientales y pérdidas financieras.	Palabras clave Cadenas de texto
Actividad	La actividad desarrollada en el momento del accidente.	Palabras clave Cadenas de texto
Substancia	Nombre de la sustancia. Puede ser una materia prima, producto intermedio o producto final.	Relación cerrada de sustancias
Localidad/País	Lugar de ocurrencia.	Cadenas de texto
Fecha	Fecha de ocurrencia	Rango de fechas
Fuente	Referencia completa de las fuentes de información utilizadas para recopilar los datos de un accidente concreto.	No admite búsquedas por este criterio.
Muertos/heridos	Número de muertos y/o heridos causados directamente por el accidente.	No admite búsquedas por este criterio.
Nº de registro	Identificación del registro	Numérico.

### 3.5. REGISTRO DEL NATIONAL RESPONSE CENTER

El National Response Center (NRC) es un organismo oficial estadounidense dependiente de la EPA (Environmental Protection Agency), encargado de la gestión y control de los derrames y vertidos contaminantes que afecten al medio. Tiene actividad relevante en el campo de la detección e identificación automática de sustancias químicas en el ambiente y se encarga del mantenimiento del Incident Reporting Information System (IRIS).

El NRC ha hecho públicos sus registros de accidentes desde 1982, constituyendo una base de datos de gran magnitud, aunque con una información técnica sobre cada suceso relativamente escasa.

La estructura de la información es la que se presenta en las Tablas 3.4 y 3.5. Está distribuida en dos tablas diferentes relacionadas entre sí por el Nº de informe NRC. Existen otras dos tablas con información sobre los eventos producidos por descarrilamientos, con indicación del Nº de vagones del convoy y su identificación.

Tabla 3.4. Información relativa al incidente (NCR).

<b>IDENTIFICACIÓN DEL CAMPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
NRC Report Number	Número de identificación del incidente
Date Call Received	Fecha de recepción de la llamada
Type of Call	Tipo de llamada
Date and Time	Fecha y hora del incidente
Type of Incident	Tipo de incidente (Instalación fija, transporte por carretera, tubería, plataforma marina, etc.)
Incident Location	Localización del evento
County	Condado
City	Población
State	Estado
Zip	
Suspected Responsible Party	Parte aparentemente responsable
Address	Dirección
City	Población
State	Estado
Zip	Código postal
Reported Cause	Descripción del incidente
Incident Description	Descripción del incidente
Medium Description	Descripción del medio afectado
Medium Affected	Medio afectado (aire, agua, suelo, ...)
Deaths Reported	Nº de muertos
Injuries Reported	Nº de heridos
Damages	Otros daños
Evacuations	Nº de locales evacuados
Number Evacuated	Nº de evacuados
Reported Damages (Dollar Amount)	Valoración de los daños

Tabla 3.5. Información sobre los materiales implicados en los eventos

<b>IDENTIFICACIÓN DEL CAMPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
NRC Report Number	Nº de identificación del incidente
CHRIS Code	Código del material
Name of Material	Nombre de la sustancia
Qty Spilled	Cantidad fugada
Unit of mesure	Unidad de medida
Qty in water	Cantidad de sustancia vertida al agua
Unit of mesure	Unidad de medida

En la Figura 3.3 se incluye un informe tipo tal como puede obtenerse en una consulta de la base de datos.

Figura 3.3. Informe de incidente obtenido del N.R.C.

Occurrence Date:	28 April
Location:	Osage County, OK
Source:	Storage Tank
Material:	Crude Oil
Severity:	Medium
Quantity Discharged:	4,200 Gallons
Quantity in Water:	2,520 Gallons
Body of Water Affected:	Unnamed Creek
Federal On-Scene Coordinator:	EPA Region VI

On 28 April, 4,200 gallons of crude oil were released from a storage tank in Osage County, OK. The release occurred due to a broken valve on the tank. 2,520 gallons escaped to an unnamed creek. Contractors are on scene and have deployed vacuum trucks and containment booms.

Pese a que el número de registros almacenados es muy abundante (29.699 en 1995, 27.175 en 1996, 25.679 en 1997, 28.573 en 1998 y 26.895 en 1999), la información en ellos contenida no es excesivamente útil desde el punto de vista técnico. Recoge accidentes acaecidos en USA con efectos sobre el medio ambiente y registra sólo las informaciones relativas a la contaminación (no describe otros eventos paralelos tales como explosiones o incendios).

### 3.6. BASE DE DATOS MARS

A raíz del accidente de Seveso (1-7-1976) y de la experiencia precedente de Flixborough (1-6-1974), la Unión Europea (entonces CEE) desarrolló un marco legislativo para el control de las empresas que manejan sustancias peligrosas. Esta normativa se concretó en la publicación de la Directiva 82/501/CEE de 24 de Junio "sobre prevención de accidentes mayores en determinadas actividades industriales" (publicada en el DOCE número L 230 de 5 de agosto), popularmente conocida como "Directiva Seveso".

Posteriormente esta directiva fue modificada por la de referencia 87/216/CEE de 19 de marzo y por la 88/610/CEE de 24 de noviembre.

La trasposición al ordenamiento jurídico español de todo este paquete legislativo se concretó en el R.D. 886/1988 de 15 de Julio sobre prevención de accidentes mayores en determinadas actividades (publicado en el BOE núm. 187 de 5 de agosto) y en la modificación posterior del mismo en el R.D. 952/1990 de 29 de Junio (publicado en el BOE núm. 174, de 21 de Julio).

El objeto de todas estas normativas era mejorar la prevención de los accidentes mayores en los que intervenían sustancias peligrosas, así como limitar sus repercusiones en las personas y en el medio ambiente, con miras a garantizar de forma coherente y eficaz niveles elevados de protección de la comunidad. Todo ello con especial incidencia en determinados aspectos de la política preventiva:

1. Obligatoriedad de declarar con qué sustancias peligrosas se trabaja y en qué cantidades.
2. Qué políticas de prevención y reducción de riesgos se han adoptado.

3. Qué planificación de las emergencias se ha tenido presente a la hora de diseñar la implantación de las industrias afectadas.
4. Qué información debe facilitar el industrial a las autoridades en caso de accidente.
5. Qué información debe facilitar la autoridad pertinente a la Unión Europea en caso de accidente.

En lo referente al último de los puntos citados, se desarrolló un mecanismo de información mediante el cual las autoridades competentes en la materia en cada Estado Miembro, debían informar a la Comisión sobre los accidentes acaecidos en su territorio (MARS, Major Accident Report System).

En el Institute for Systems Engineering and Informatics (ISEI) dependiente del Joint Research Centre, organismo público de la Comisión Europea ubicado en Ispra (Italia), se desarrolló la base de datos MARS y en ella se han ido recopilando los informes aportados por los distintos estados miembros durante los años de vigencia de este procedimiento. Puede consultarse una descripción completa de la estructura de esta base de datos en [VILCHEZ 1996]. Con las informaciones recogidas, los responsables del JRC han publicado diversos informes permitiendo la difusión de los conocimientos adquiridos, aunque de una forma limitada [DROGARIS 1993], [DROGARIS 1993-2].

Con el paso de los años, la Directiva Seveso ha requerido una readecuación importante, en parte para adoptar en la medida de lo posible los nuevos criterios técnicos surgidos del análisis de los accidentes registrados. Por esta razón la Unión Europea publicó la Directiva 96/82/CE de fecha 9 de diciembre de 1996 relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, publicada en el DOCE nº L 10, de fecha 14 de enero de 1997 y que se conoce como Directiva Seveso II.

En ella se amplía el ámbito de aplicación de la normativa, se reestructura la lista de sustancias peligrosas (reduciendo la lista nominativa de 180 a 50 sustancias en favor de sistematizar la lista de categorías de sustancias) y se mejoran los criterios de aplicación de los planes de emergencia interior y exterior y las informaciones a facilitar por los organismos públicos a la Comunidad. En [RUIZ 1999] pueden obtenerse las modificaciones más relevantes aportadas por la Directiva Seveso II respecto a la anterior.

Precisamente en lo relativo a la recopilación de información y la mejora del sistema y a la vista de los resultados obtenidos en estos años, el JRC ha rediseñado el formulario de adquisición de datos, profundizando en las informaciones relativas al accidente, categorizando los campos más relevantes y mejorando el flujo de información. En la actualidad, es posible acceder a las informaciones públicas de MARS a través de Internet, disponer del programa de gestión de datos y solicitar al JRC los registros de los accidentes que sean de interés.

El principal problema que se puso de manifiesto en el procedimiento de comunicación a la Unión Europea por parte de los Estados Miembros, de los accidentes acaecidos en su territorio era que se dilatava excesivamente en el tiempo la llegada de la información. Ello era debido a que las investigaciones de los accidentes o los procedimientos judiciales alargaban el plazo de respuesta. Para solventar esta situación y como novedad más significativa respecto a la versión anterior del informe, el nuevo se divide en dos tipos de formularios: el preliminar o "short report", que permite facilitar las primeras informaciones de que se disponga sobre el accidente y el completo o "full report", que constituye la información definitiva y completa obtenida del accidente.

La Figura 3.4 muestra la pantalla de introducción de los datos del filtro de búsqueda en el acceso a la información de MARS a través de Internet. Mediante este sistema es posible acceder a los datos disponibles del informe preliminar de cualquier accidente registrado (sólo el 10% de los accidentes registrados dispone del mismo). El filtro admite hasta tres criterios de búsqueda combinados, tres criterios de ordenación de los registros seleccionados y tres campos a visualizar de cada uno de ellos. La Figura 3.5 muestra la información disponible de un informe preliminar concreto.

Administrativamente, desde el momento en que se produce un accidente, la autoridad competente del estado en el que se ha producido debe cumplimentar el informe preliminar con las informaciones disponibles hasta el momento y remitirlo al JRC, donde es introducido en el sistema. Una vez concluidas las informaciones y analizadas las circunstancias, se elabora el informe final completo y se incorpora a la base de datos como "full report" [KIRCHSTEIGER 1999].

Por su relevancia en el Anexo 1 se describe con detalle la estructura fundamental de esta nueva versión de esta base de datos y los campos y códigos que la componen. El presente capítulo se limita por lo tanto a una visión general de su contenido.

Figura 3.4. Filtro de selección de registros de MARS a través de Internet.

The screenshot shows a Netscape browser window titled "MARS - Database Search - Netscape". The address bar displays "file:///D:/MARS\_2000/AccSearchStdForm.html". The main content area is divided into three sections:

- Query Criteria:** This section contains four rows of search criteria. Each row consists of a dropdown menu, an equals sign, another dropdown menu, and a text input field. The first row has a dropdown menu with a blue background. The other three rows have "AND" in the first dropdown menu.
- Order By:** This section contains three rows. Each row has a dropdown menu followed by a dropdown menu set to "Ascending".
- Fields to List:** This section contains two rows. The first row has a dropdown menu with "Accident ID" selected. The second row has an empty dropdown menu.

The browser's status bar at the bottom shows "Documento Ejecutado".

Figura 3.5. Resultado obtenido en una consulta a la base de datos MARS.

<p><b>A. Report Profile</b></p> <p>Date of accident: 11/10/1991 Type of industry: paper manufacture, printing, publishing</p> <p><b>B. Accident Type(s)</b></p> <p>Release: True Water contamination: True Fire: False Explosion: False Other: False</p> <p>SAFETY SYSTEMS OR OPERATORS INTERVENTION:</p> <p>The gate to the storehouse was closed at 14:00. Nothing unusual was observed. The last time the storage room of FAS was visited before the accident was in the morning of Friday, 11th of October.</p> <p>ENVIRONMENTAL AND ATMOSPHERIC CONDITIONS:</p> <p>Wind direction North-East. Wind speed = about 5 m/s.</p> <p>ACCIDENT CASE HISTORY DESCRIPTION:</p> <p>On Friday, 11th of October 1991 at 14:15, about 22.7 tonnes of formamidine sulfinic acid (FAS) decomposed almost instantaneously producing a thick white fog of sulphur dioxide and a solid residue. The sulphur dioxide cloud disappeared at approximately 16:15. An open fire did not develop. The maximum temperature reached during the decomposition has not been very high because the wooden pallets on which the FAS big-bags were stored were not burnt or discoloured.</p> <p><b>C. Substance(s) Directly Involved</b></p> <p>Toxic: True Ecotoxic: True Flammable: False Explosive: False Other: False</p> <p>Brief description [name(s) and/or CAS no(s) &amp; quantity(ies) lost, etc.]:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Formamidine Sulfinic Acid [FAS]: amount involved = 22,700 Kg.</li><li>- Sulphur dioxide (C.A.S. CODE: 7446-09-05, E.E.C. CODE: 016-011-00-9): amount involved = 11,000 Kg (theoretical maximum = 13,500 Kg).</li></ul> <p>No data are available about the amount of the other FAS decomposition products (urea [C.A.S. CODE: 57-13-6], sulphur [7704-34-0] and other substances) involved in the accident.</p>
--

Figura 3.5. (Cont.) Resultado obtenido en una consulta a la base de datos MARS.

<b>D. Immediate Source(s) of Accident</b>	
Storage:	True
Process:	False
Transfer:	False
Other:	False
BRIEF DESCRIPTION [LOCATION, TYPE, SIZE, ETC. WHERE ACCIDENT ORIGINATED]:	
<p>The accident occurred in a storage room of a paper industry. In that room formamidine sulfinic acid (FAS) was stored (in big-bags on wooden pallets) at ambient temperature, together with alkaline soap and other chemicals. The location of the establishment is shown on a map attached to the Original Report.</p>	
<b>E. Suspected Cause(s)</b>	
Plant or Equipment:	False
Human:	True
Environmental:	False
Other:	False
BRIEF DESCRIPTION [NATURE OF DEFECT, ERROR, FAILURE, ETC; EVENT SEQUENCE]:	
INITIATING EVENT AND CONSEQUENCES:	
<p>The initiating event is not fully known. A smell in the warehouse was felt for some time prior to the accident. FAS decomposed to Sulphur dioxide escaping the building. The solide residue flowed out of the building.</p>	
CAUSES:	
<p>The likely cause was storage mistakes, which caused chemical reactions between the stored chemicals. These reactions were exothermic and initiated the fast (...) which was sprinkled on the floor to give a driving support for trucks, may also have been involved in the reaction, and condensed water may have been accelerated the reactions. The storage of FAS in two layers may have accelerated the rate of decomposition, as it reduced the heat transfer from the bags.</p>	
<b>F. Immediate Effects</b>	
Human Deaths:	False
Human Injuries:	True
Ecological Harm:	False
National Heritage Loss:	False
Material Loss:	True
Community Disruption:	True
Other:	False
Brief description [on/off site, numbers, size, costs, habitat, etc.]:	
EFFECTS ON PEOPLE:	
<p>12 people inside and 19 outside the establishment were injured by the release of sulphur dioxide. All of them were hospitalized.</p>	

Figura 3.5. (Cont.) Resultado obtenido en una consulta a la base de datos MARS.

**MATERIAL LOSS:**

No material losses occurred except the decomposed product (about 22.7 tonnes of FAS) and other chemicals that were damaged. The cost of the lost products has been evaluated in about 1 million DKR (about 0.12 MECU).

**ECOLOGICAL HARM:**

Sulphur dioxide was released from Maglemølle Papirfabrik into the neighbourhood, a part of the town Naestved. The residue (melted FAS, sulphur, urea and other decomposition products) flowed into the harbour. The local environmental authority observed the harbour on the day of the accident and two days later. As the water in the harbour was rapidly diluted via the channel, no disturbances in aquatic life was observed.

**MAP OF THE ACCIDENT AREA AND MAX. DENSITY OF POPULATION:**

On a map attached to the Original Report is shown the area which was alarmed by the police.

**G. Emergency Measures Taken**

On-Site Systems:	True
External Services:	True
Sheltering:	False
Evacuation:	False
Decontamination:	False
Restoration:	False
Other:	True

Brief description [on/off site, numbers, duration, type, etc.]:

**INTERNAL TO THE ESTABLISHMENT:**

The fire brigade (14 people) assisted by the civil defense (16 people) stopped the decomposition of FAS by overflowing the product with plenty of water. The residue of the FAS decomposition flowed into the harbour.

**EXTERNAL TO THE ESTABLISHMENT:**

The area involved by the sulphur dioxide cloud was alarmed by the police. The local environmental authority observed the harbour on the day of the accident and two days later. As the water in the harbour was rapidly diluted via the channel, no disturbances in aquatic life were observed.

**H. Immediate Lessons Learned**

Prevention:	False
Mitigation:	False
Other:	False

Brief description [immediate precautions appropriate]:

**MEASURES TO PREVENT ANY RECURRENCE OF SIMILAR ACCIDENTS:**

After the accident, the conditions for FAS storage have been changed and the following measures were established:

Figura 3.5. (Cont.) Resultado obtenido en una consulta a la base de datos MARS.

1. Improvement of the quality of the big-bags used for FAS (watertight and stronger, in such a way to reduce the possibility of damages during transport)
2. Separate clean storage room for FAS
3. Storage of FAS in one layer only and separation of bags to ensure good heat transfer.

**MEASURES TO MITIGATE THE EFFECTS OF THE ACCIDENT:**

After the accident, it was established to install a redundant monitoring system (operating in continuous) for sulphur dioxide concentrations connected to an alarm system in Maglemoelle Papirfabrik and Naestved Fire Brigade and to a sprinkler system.

No ha sido posible disponer de la base de datos MARS completa para la realización de esta tesis, pero si se han podido obtener los 365 informes preliminares disponibles a través de la página web del JRC. La información extraída, ha sido recopilada y tratada en una base de datos con la estructura que se describe en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Estructura de la base de datos MARS (informe preliminar modificado)

<b>CAMPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
AN	Nº de registro
DIA	Día del accidente
MES	Mes del accidente
AÑO	Año del accidente
TOI	Tipo de industria (sector industrial)
ACCTYPE	Tipo de accidente (descripción)
ATPRELEASE	Derrame (lógico, Si/No)
ATPWATER	Contamina el agua (lógico, Si/No)
ATPFIRE	Incendio (lógico, Si/No)
ATPEXPLODE	Explosión (lógico, Si/No)
ATPOTHER	Otros (lógico, Si/No)
SDI	Sustancias Directamente Implicadas
EFISICO	Estado físico
SDITOXIC	Tóxico (lógico, Si/No)
SDIECOTOX	Ecotóxico (lógico, Si/No)
SDIFLAM	Inflamable (lógico, Si/No)
SDIEXPLODE	Explosivo (lógico, Si/No)
SDIOTHER	Otros (lógico, Si/No)
ISA	Área del accidente (actividad)
ISASTOR	Almacenamiento (lógico, Si/No)
ISAPROC	Proceso (lógico, Si/No)
ISATRANS	Transferencia (lógico, Si/No)
ISAOTHER	Otros (lógico, Si/No)
SC	Causas inmediatas
SCSEQUI	Fallo del equipo (lógico, Si/No)
SCSHUM	Fallo humano (lógico, Si/No)
SCSENV	Causado por el entorno (lógico, Si/No)
SCSOTHER	Otros (lógico, Si/No)
IEF	Efectos derivados
IEFKILL	Muertos (lógico, Si/No)
IEFINJ	Heridos (lógico, Si/No)

Tabla 3.6. (Cont.) Estructura de la base de datos MARS (informe preliminar modificado)

CAMPO	DESCRIPCIÓN
IEFECO	Ecológicos (lógico, Si/No)
IEFNAT	Bienes culturales (lógico, Si/No)
IEFMAT	Materiales (lógico, Si/No)
IEFCOM	Comunidad (lógico, Si/No)
IEFOTHER	Otros (lógico, Si/No)
EMT	Medidas de emergencia adoptadas
EMTONS	En el lugar del accidente (lógico, Si/No)
EMTEXT	Externas (lógico, Si/No)
EMTSHEL	Refugio de personas (lógico, Si/No)
EMTEVA	Evacuación de personas (lógico, Si/No)
EMTDEC	Descontaminación (lógico, Si/No)
EMTRES	Restauración (lógico, Si/No)
EMTOTHER	Otros (lógico Si/No)
ILL	Lecciones derivadas
ILLPREV	De prevención (Lógico, Si/No)
ILLMIT	De mitigación (Lógico, Si/No)
ILLOTHER	Otras medidas (Lógico, Si/No)
KILLED	Nº de muertos
INJURED	Nº de heridos

Los dos últimos campos (KILLED e INJURED), han sido añadidos manualmente registro a registro, extrayendo la información del campo de texto IEF (efectos derivados), cuando en el mismo se recogía esta información.

Dado que únicamente se dispone de 365 registros, no se ha utilizado esta información para llevar a cabo un estudio sistemático sobre los mismos. Sin embargo, si que ha sido utilizada para disponer de unos datos de referencia a la hora de poder contrastar la bondad de los resultados obtenidos en la aplicación de los diversos métodos estadísticos (véanse los Capítulos 5 y 6 de esta memoria).

Como conclusión puede afirmarse que las informaciones recogidas en la base de datos MARS son las más completas y fidedignas de entre todas las bases de datos analizadas. El informe completo describe exhaustivamente la instalación origen del accidente, la secuencia y forma de ocurrencia del mismo y las consecuencias que de él se derivan.

### 3.7. BASE DE DATOS MHIDAS

La base de datos MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service) fue creada por el SDR (Safety and Reliability Directorate) perteneciente al HSE (Health and Safety Executive). Se inició el trabajo de recopilación a principios de los años ochenta, aunque se registran accidentes incluso anteriores al año 1900 [MIR 1999]. En la versión de Enero de 1999, recopilaba 9.876 referencias de sustancias que habían resultado implicadas en 8.600 accidentes (sobre la distribución de estos accidentes por décadas puede consultarse el Capítulo 4 de esta tesis).

Los accidentes registrados provienen de países de todo el mundo, siendo la mayor parte de USA (2.756 accidentes en la versión enero de 1999) y Reino Unido (2.526 accidentes en la versión de enero de 1999). Las fuentes de información provienen de

publicaciones diversas sobre accidentes industriales acaecidos en cualquier parte del mundo. De hecho, la calidad de la información recogida en MHIDAS adolece de deficiencias importantes debido, precisamente, a las fuentes utilizadas para la recopilación de información, mayoritariamente prensa. No obstante, el aval técnico que supone el que la recopilación se haya realizado por expertos del HSE mejora sensiblemente esta percepción.

Actualmente se comercializa en soporte CD-ROM y se distribuye conjuntamente con el programa WINSPIRS que no es más que un gestor de bases de datos que permite el filtrado y manejo de los mismos. Existe también la posibilidad de hacer consultas puntuales directamente al SDR [SILVERPLATTER 1996].

El soporte WINSPIRS permite búsquedas de registros mediante criterios lógicos bastante limitadas y los resultados de cada selección sólo pueden obtenerse en formato de fichero texto o impresos en papel, como se muestra en la Figura 3.6. Ello ha motivado que para la realización de esta tesis se haya dedicado un esfuerzo importante a mejorar las herramientas de búsqueda y de gestión de la información recopilada en MHIDAS.

Figura 3.6. Resultados del programa WINSPIRS para una búsqueda sobre la base de datos MHIDAS.

```
Record 1 of 1047 - OSH-ROM: MHIDAS
AN: 4925
CR: SRD
DA: 07/07/82
LO: ; ; YUGOSLAVIA
MN: GASOLINE
MT: LIQUID
MH: FI-fire
MC: 1270
IT: EXPLODE-explosion; TANKFIRE-tank-fire
OG: STORAGE-storage-plant; ASVESSEL-storage-vessels,-atmospheric-
pressure
GC: HUMAN-human-factor; EXTERNAL-external-events
SC: PROCEDURES; TEMPRTURE-temperature-extremes
AB: EXPLOSION IN OPEN SPACE ROUND FLOATING ROOF TANK HOLDING
GASOLINE. TANK UNSUITABLE FOR THIS DUTY AND AT SUMMER TEMPERATURES
VOLUME IN THE GAS PHASE WAS GREATER THAN THE TANK COULD HOLD. CLOUD
IGNITED BY PROCESS HEATER CAUSING EXPLOSION AND TANK FIRE.
RA: 1
```

En el Anexo 2 de esta memoria se recopila la estructura completa de los campos de esta base de datos y los posibles códigos a emplear en cada uno de ellos. Sobre el contenido y distribución de los distintos registros según diversas variables puede consultarse el Capítulo 4 de esta tesis.

La base de datos MHIDAS es una de las más difundidas y utilizadas para el análisis histórico de accidentes con sustancias peligrosas. Al codificar el contenido de los campos, permite una búsqueda automática de registros mucho más simple, lo que la hace de enorme utilidad en el ámbito de este trabajo. No obstante, pese a recoger información de más de 10.000 accidentes, hay que tener en cuenta que en muchos de ellos la información facilitada presenta muchos datos vacíos.

Para el desarrollo de este trabajo se ha utilizado esta base de datos, en primer lugar, por la accesibilidad de la misma y por la facilidad de tratamiento de los campos

mediante programas de ordenador que han permitido reestructurar la información de la manera más conveniente en cada caso. Asimismo, se ha valorado positivamente que disponga de informaciones sobre 10.000 accidentes y que su distribución esté avalada por un organismo público de reconocido prestigio.

### 3.8. BASE DE DATOS FIRE

Elaborada en el ámbito del proyecto COMBUSTION (Combustión of Chemical Substances and the Impact on the environment of the Fire Products) de la Unión Europea, pretende apoyar el estudio de los efluentes derivados de los incendios en almacenamientos industriales. Se justifica su desarrollo independiente de la base de datos MARS por el hecho de que las informaciones de MARS relativas a la descripción de la planta son muy reducidas. En 1994 disponía tan sólo de 57 registros [KOIVISTO 1994]. El contenido de los registros se estructura según la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Estructura de la base de datos FIRE

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Date	Fecha del accidente
Place	Localidad del accidente
Industry Branch	Sector industrial
Name of Company	Nombre de la empresa afectada
Substances involved	(para cada sustancia)
Name	Nombre de la sustancia
CAS	Identificación del Chemical Abstract Service
Type	Tipo de riesgos asociados
Involved mass	Cantidad de sustancia involucrada
Toxicity	Toxicidad de la sustancia
Storage	Forma de almacenamiento, Nº de pallets, altura total de almacenamiento, etc.
Packaging	Forma de empaquetamiento
Size	Tamaño de los empaquetamientos
Material	Material del empaquetamiento
Other substances	Otras sustancias presentes en la planta
LFG	Gases inflamables licuados
LF	Líquidos inflamables
LTG	Gases tóxicos licuados
Building construction	Características del edificio
Year	Año de construcción
Dimensions	Dimensiones
Nº storeys	Nº de almacenes
Wall	Material de las paredes
Floor	Material del suelo
Roof	Material de cubierta
Fire products	Productos derivados del incendio
Name	Nombre de la sustancia
CAS	Nº del Chemical Abstract service
Amount	Cantidad producida o concentración (medida o estimada)
Duration	Duración de la fuga o de la producción de la sustancia
Moving	Movimiento de la nube
Toxicity	Toxicidad de la sustancia

Tabla 3.7. (Cont.) Estructura de la base de datos FIRE

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Smoke	Caracterización del humo (velocidad, tamaño de partícula, color, olor..
Consequences	Consecuencias del accidente
Killed	Nº de personas muertas
Injured	Nº de personas heridas
Environ	Daños al medio ambiente
Economic	Daños económicos
Other	Otros daños
Cause	Causa del accidente
Human	Error humano
Companent	Fallo de un componente
Corrosion	Fallo por corrosión
Chemical react	Fallo por reacción química fuera de control
Electrostatic	Fallo por carga electrostática
On site events	Otros eventos no relacionados con el almacenamiento
Off site events	Otros eventos no relacionados con el almacenamiento
Natural events	Eventos naturales
Other	Otros
Unknow	Desconocidas
Organizational	Fallos de gerencia u organización
Design	Fallos de diseño
Procedures	Error por no seguir procedimientos normalizados
Detection of fire	Detección del incendio
How	Forma de detección
Time	Tiempo hasta la detección
Time Call	Tiempo hasta la llamada de emergencia
Working	Accidente en horas de trabajo (Si/No), de día o de noche.
Mitigation	Sistemas disponibles de mitigación/ acciones adoptadas
Type of fire brigade	Tipo de brigada contra incendios
Extinction efforts	Forma/acciones de extinción
Time arrival	Tiempo para la llegada de los servicios de extinción
Intervention	Tiempo hasta la intervención
Information	Información disponible sobre las sustancias almacenadas
Actions	Acciones adoptadas por la brigada contra incendios
Control	Momento en el que el fuego queda controlado
Extinguishing agents	Agentes extintores
Self protecting equip.	Equipos de protección individual
Development	Forma de desarrollo del incendio
Time	Tiempo de extinción
Type	Forma del incendio ( cerrado, habitación, ventilado, exterior,...)
Openings	Ventanas (nº, tamaño, abiertas, cerradas...)
Burning	Duración de la combustión
Temperature	Estimación de temperaturas alcanzadas
Propagation	Propagación del fuego en el área quemada
Fuga	Fuego después de una fuga o derrame
Explosion	Fuego después de una explosión
Explosions during	Explosiones durante el incendio
Domino effects	Efectos dominó
Chemical react	Reacciones químicas posibles
Weather	Condiciones ambientales
Wind direction	Dirección del viento
Windspeed	Velocidad del viento
Temperature	Temperatura del evento

Tabla 3.7. (Cont.) Estructura de la base de datos FIRE

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Humidity	Humedad
Stability	Estabilidad atmosférica
Topology	Topología de la zona
Evacuation	Duración, nº de evacuados, distancia, etc.
Emergency plans	Disponibilidad de planes de emergencia, utilidad, ...
Environmental effects	Daños ecológico derivado del uso de agentes extintores
Preventive measures	Medidas preventivas adoptadas frente a la contaminación ambiental
Post incident actions	Acciones posteriores al accidente
Lessons	Lecciones extraídas
Recommendations	Recomendaciones derivadas
Modifications	Modificaciones de la planta
Sources of information	Fuentes de información sobre el accidente

### 3.9. ARIP: ACCIDENTAL RELEASE INFORMATION PROGRAM

El CEPPO (Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office), dependiente de la EPA (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos, desarrolló desde 1987 a 1997 una base de datos en la que se recopilaba información sobre accidentes en instalaciones fijas derivados de fugas o derrames con consecuencias medioambientales. La base de datos puede obtenerse directamente a través de Internet y cuenta en la actualidad con 4.946 registros. Desde 1997 se incorporan a la misma un reducido número de registros por año por motivos legales.

Las informaciones recopiladas hacen referencia a:

1. Códigos de identificación del accidente
2. Información completa de la empresa y factoría en la que se produce el evento
3. Fecha y hora en la que se tiene conocimiento de la fuga
4. Identificación de las autoridades a las que se notifica el evento
5. Identificación del propietario de la instalación
6. Identificación de la autoridad que intervino
7. Producto fabricado
8. Nº de empleados de la planta
9. Fecha y hora en la que empieza y acaba la fuga
10. Identificación completa del producto vertido (nombre, CAS, concentración, estado físico, cantidad vertida al aire, cantidad vertida al agua o al suelo,...) (admite dos sustancias)
11. Estado de la planta en el momento del derrame o fuga
12. Ubicación de la pérdida de contención
13. Forma en la que se descubre
14. Causa de la fuga. Primaria y secundaria
15. Efectos de la fuga
16. Comentarios sobre los medios de actuación utilizados.

Si bien el contenido administrativo es completo y la procedencia solvente, las referencias técnicas son poco relevantes y no admiten un uso generalizado para el desarrollo de este trabajo. Se ha utilizado en algunos casos como referencia.

### 3.10. OTRAS BASES DE DATOS

Se recogen en este apartado las informaciones obtenidas de otras bases de datos sobre la materia de las que se ha tenido referencia pero que no han sido utilizadas en este trabajo:

**Osiris I:** Es una base de datos elaborada en Italia a partir de informaciones de dominio público sobre accidentes con sustancias peligrosas. Incluye tanto accidentes en instalaciones industriales fijas como de transporte. Está elaborada en idioma inglés y puede ser consultada por fax, obteniendo respuesta a través de soportes magnéticos. Contiene 3.000 registros de accidentes ocurridos desde 1970 a 1990. Ha dejado de actualizarse [SEGURITECNIA 1996].

**Osiris II:** Similar a la anterior. Contiene datos procedentes de la Oil spill Intelligence Report, que recopila accidentes ocurridos en todo el mundo. Contiene 2.500 accidentes ocurridos desde 1977 a 1992. Ha dejado de actualizarse [STORCH 1998].

**WOAD:** Recopila accidentes en plataformas petrolíferas. Elaborada en Noruega desde 1983, aunque recoge datos procedentes del banco Det Norske Veritas desde 1975 [STORCH 1998].

**BDF:** Base de datos sobre accidentes y fiabilidades, elaborada en Francia por la empresa Total. Específica para instalaciones petrolíferas o refinerías [STORCH 1998].

**Fertilizer Institute:** Es una base de datos elaborada en Estados Unidos en la que se recogen informaciones relativas a accidentes con amoníaco [STORCH 1998].

**Platform Databank:** Recopila accidentes acaecidos en plataformas marinas y/o en la industria química. Elaborada y mantenida por la empresa IFP de Francia [STORCH 1998].

**CHEMAX:** Gestionada por el Joint Research Center (JRC) de Ispra (Italia), al igual que la base de datos MARS. Contiene información de 5.000 accidentes de todo el mundo y se mantiene con informaciones de dominio público [VILCHEZ 1996], [HAASTRUP 1994].

**ZEMA:** Base de datos elaborada por la Agencia Ambiental Alemana. Contiene los casos notificados de acuerdo con la legislación ambiental vigente sobre accidentes acaecidos en el periodo 1980-1992 [VILCHEZ 1996].

**EOLO:** Base de datos elaborada por la empresa SEGUCONSULT, sobre accidentes en los que ha intervenido cloro. Contiene unas 600 referencias. [MAÑAS 1991].

**HERMES:** Elaborada por SEGUCONSULT, contiene información sobre accidentes en el transporte de mercancías peligrosas ocurridos en las carreteras españolas. Recoge el lugar y la fecha del accidente, la clase de vehículo, su origen y su destino, la sustancia o sustancias implicadas y la cantidad, tipo y alcance de las consecuencias, causas que motivaron el accidente y breve descripción de los hechos. Contiene 1.447 accidentes ocurridos en el periodo 1979-1990 [MAÑAS 1992].

### **3.11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

En este apartado se hace una breve referencia a todas las recopilaciones de accidentes industriales con sustancias peligrosas que han sido consultadas a lo largo de este trabajo y utilizadas a efectos comparativos o de referencia. Se incluyen asimismo, aquellas de las que se han tenido conocimiento aunque no hayan podido ser consultadas [LEES 1996] [KING 1990] [KLETZ 1988] [MANNAN 1996] [VERDUJIN 1996] [WOOD 1995].

#### **3.11.1. Direcció General de Prevenció i Extinció d'Incendis i de Salvaments de Catalunya**

Constituye una base de datos en la que se recopilan las salidas efectuadas por los cuerpos de bomberos de la Generalitat de Catalunya. Está orientada a la gestión administrativa del servicio, y da prioridad a las informaciones relacionadas con el tiempo que duró la intervención y los medios y recursos empleados. Respecto a las informaciones relativas a las causas del incidente, éstas son mínimas, poco detalladas y en muchas ocasiones inexistentes [VILCHEZ 1996].

#### **3.11.2. Centres de Seguretat i Higiene del Departament de Treball de la Generalitat de Catalunya**

Es la autoridad competente en la investigación de accidentes de trabajo. Emiten informes periciales detallados sobre todos aquellos casos de gravedad relevante. Los informes son fruto de una investigación llevada a cabo desde un punto de vista técnico en busca de las causas primarias y/o secundarias que han motivado el accidente. Sin embargo, al ser utilizados por las autoridades judiciales para determinar responsabilidades penales o civiles, son confidenciales y de uso restringido.

Periódicamente el CSHT hace públicos resultados globales o estudios comparativos basados en esta documentación. En pocos casos se pueden encontrar accidentes con sustancias peligrosas, su consulta es administrativamente compleja y no admite la posibilidad de tratamiento informático, por el momento.

#### **3.11.3. Direcció General de Seguretat Industrial del Departament d'Industria i Energia de la Generalitat de Catalunya**

A través de la Orden de 21 de noviembre de 1989 sobre "Comunicació d'accidents en instal.lacions industrials" [DOGC-1990], la Generalitat de Catalunya obliga a comunicar los accidentes de tipo industrial que se produzcan en su territorio. Diez años después de su publicación, sólo se han recogido unos 200 casos, entre los que hay que considerar caídas de ascensores, fallos de tipo mecánico en todo tipo de máquinas, etc.

Las informaciones contenidas en este registro no son utilizables para hacer un tratamiento masivo sobre accidentes industriales con sustancias peligrosas.

#### **3.11.4. Registro de Accidentes Mayores de la Dirección General de Protección Civil**

Como autoridad competente de ámbito nacional en la elaboración de los informes sobre accidentes mayores de acuerdo con las Directivas Europeas al respecto (Directiva 82/501 [DOCE 1982] [BOE 1987] [DOCE 1988] y Directiva 96/82/EC [DOCE 1997]), recopila toda la información necesaria para la confección de los informes y su posterior remisión a la Unión Europea para su incorporación a la base de datos MARS, que ya se ha comentado y que se trata con detalle en el Anexo 1. La consulta de estas informaciones debe hacerse a través del organismo europeo correspondiente, el Joint Research Centre, centralizado en Ispra (Italia).

#### **3.11.5. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales**

El Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales elabora y publica a través de Internet un completo estudio estadístico sobre la accidentabilidad laboral en España, por sectores industriales, tipos de lesiones, Comunidades Autónomas, etc. La fuente de información procede de los partes de accidente laboral que son preceptivos en caso de lesiones del trabajador.

Algunos de los datos facilitados han sido presentados en el Capítulo 1 de esta memoria. No obstante no es posible acceder a las fuentes originales para proceder a un tratamiento estadístico de las mismas en los términos planteados en esta tesis.

Asimismo, en el INSHT se publican de forma periódica informes sobre accidentes graves o recopilaciones de los mismos que pueden servir de referencia en estudios de análisis de riesgos [INSHT 1989].

#### **3.11.6. COASHIQ**

La Comisión Autónoma de Seguridad e Higiene en el Trabajo de Industrias Químicas, asociación adherida a la Federación Empresarial de la Industria Química Española (FEIQUE), recopila anualmente entre las empresas asociadas, un informe en el que éstas facilitan información sobre la siniestralidad laboral que han sufrido en el periodo de referencia. Considerando esta información, COASHIQ elabora un resumen global que es publicado de forma periódica. Los resultados expuestos en estos informes son interesantes por el gran tamaño de la muestra de referencia. No obstante, no existe una recopilación detallada en la que estén referenciados todos y cada uno de los accidentes registrados, por lo que es imposible la consulta de casos concretos o el trabajo con los registros de base [COASHIQ 1995] [COASHIQ 1996] [COASHIQ 1997] [COASHIQ 1998].

#### **3.11.7. Boletines de ICEA**

El Instituto de Cooperación entre Entidades Aseguradoras (ICEA), dependiente de UNESPA, la patronal del sector asegurador español, publica también de forma periódica, entre las empresas asociadas, unos resúmenes en los que se informa sobre la siniestralidad por ramos industriales, así como otros datos de interés para la gestión del riesgo desde un punto de vista económico [ICEA 1996] [ICEA 1997] [ICEA 1998] [ICEA 1998-2] [ICEA 1998-3].

El Boletín Semestral de Intercambio de Información sobre Siniestros, dedicado a accidentes industriales, recopila la información básica sobre todos aquellos accidentes que han tenido lugar en el periodo de referencia, facilitando, sobre cada uno de ellos el código de riesgo (o subsector industrial de la empresa afectada), la actividad de la misma, nombre de la empresa, localidad y provincia, tipo de incidente acaecido, causa del mismo, fecha de ocurrencia, valoración económica del daño en millones de pesetas, referencia del accidente y entidad aseguradora.

Como puede apreciarse las informaciones recogidas se orientan hacia la gestión patrimonial de la entidad y no desde un punto de vista técnico. El análisis de causas, por ejemplo, se limita a la identificación, cuando se consigue, del evento desencadenante (por ejemplo, "derrame de material fundido", "avería de maquinaria", "cortocircuito", etc.).

### **3.11.8. Informes de Marsh & McLennan Protection Consultants**

La entidad Marsh & McLennan es una de las principales corredurías de seguros en el ámbito internacional, con gran implantación en el sector industrial. Periódicamente elabora unos informes en los que recoge una descripción bastante completa de los cien accidentes más relevantes ocurridos en los últimos años (habitualmente treinta últimos años). Sobre cada accidente se identifica la fecha, la localidad y estado de ocurrencia, la valoración económica en dólares reales y dólares actualizados a la fecha de la publicación y una descripción textual completa sobre la forma de ocurrencia del accidente, sus consecuencias y de los problemas subsiguientes para la puesta en marcha de la actividad industrial.

En la elaboración de esta tesis se ha tenido acceso a los informes "A 30-Year Study of Large Losses in the Gas and Electric Utility Industry" [HATHAWAY 1995] y el "Large Property Damage Losses in the Hydrocarbon Chemical Industries. A Thirty-year Review." [MAHONEY 1995].

### **3.11.9. Cardillo**

Elaborado por el Consorzio Universitario per l'Ingeneria Nelle Assicurazioni y bajo la responsabilidad de Paolo Cardillo, se publicó un estudio de 100 casos de accidentes industriales producidos por reacciones exotérmicas fuera de control o a descomposiciones explosivas. Si bien el número de casos tratados es escaso para los objetivos de este trabajo, la información aportada de cada uno de ellos es bastante completa y describe suficientemente la secuencia de los eventos.

La clasificación de los accidentes analizados en función de la causa primaria, se presenta en la Tabla 3.8.

La descripción de estos accidentes, algunos de ellos muy relevantes, pone de evidencia la dificultad y la importancia de una correcta investigación de los mismos.

Tabla 3.8. Clasificación de los accidentes analizados por Cardillo en función de la causa principal.

CAUSA	%
Desconocimiento de las reacciones	31
Contaminación de los reactivos	23
Inobservancia de procedimientos operativos	10
Variaciones sobre la reacción	7
Falta de agitación	4
Investigación bibliográfica incompleta	4
Enfriamiento insuficiente	3
Error en el cambio de escala	3
Freno en la agitación	3
Fallo del reactor	3
Cambio de reactivos	2
Entrada de agua en el reactor	2
Falta de control del pH	1
Separación de fases	1
Comportamiento anómalo (termoquímica)	1
Cambio de solvente	1
Corrosión	1

### 3.11.10. Drogaris

G. Drogaris [DROGARIS 93], [DROGARIS 93-2], utilizando los datos de la base de datos MARS publicó en 1993 un estudio recopilando el estudio de 121 accidentes con sustancias peligrosas. La clasificación de los mismos según la causa principal se presenta en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Clasificación de los accidentes analizados por Drogaris (MARS) en función de la causa principal.

CAUSA	Nº
Error de operación	28
Fallo del equipo	54
Corrosión	11
Reacciones químicas alternativas	21
Carga electrostática	7
Causas externas al proceso químico	3
Causas externas a la instalación	8
Causas Naturales	5

Por sus consecuencias, la clasificación realizada se presenta en la Tabla 3.10. El autor destaca que el número de accidentes registrados con consecuencias medioambientales es relativamente bajo y lo atribuye a que en los primeros años de funcionamiento del sistema MARS, las autoridades priorizaban las consecuencias sobre las personas y/o los daños materiales. Aun y así, en MARS se registran 14 accidentes (11,5%) con consecuencias medioambientales frente a un 5% en la base de datos MHIDAS.

Tabla 3.10. Clasificación de los accidentes analizados por Drogaris (MARS) en función de sus consecuencias.

<b>CAUSA</b>	<b>Nº</b>
Sin consecuencias	24
Muertes, en la instalación	21
Muertes, fuera de la instalación	2
Heridos, en la instalación	53
Heridos, Fuera de la instalación	10
Daño material, en la instalación	79
Daño material, fuera de la instalación	19
Interrupción del tráfico	16
Daño medioambiental	14
Evacuación de población civil	9
Evacuación de la planta	9
Contaminación de agua potable	2

### 3.11.11. Norstrom

Gail P. Norstrom [NORSTROM 1985], [NORSTROM 1990], trabajando para la IRI (Industrial Risk Insurers) publicó un estudio sobre 1.028 accidentes ocurridos entre 1978 y 1980 en la industria química estadounidense en los que se habían producido incendios y/o explosiones. Por las propias limitaciones de las fuentes de información, el estudio se centra en las consecuencias económicas de los eventos.

Como se aprecia en la Tabla 3.11, las explosiones fueron menos frecuentes que los incendios aunque acumularon pérdidas económicas tres veces mayores. Las conclusiones de su estudio ponen de manifiesto la mayor gravedad de las explosiones.

Tabla 3.11. % de casos y % de pérdidas acumuladas por tipología de accidente (Norstrom).

<b>EVENTO</b>	<b>%</b>	
	<b>CASOS</b>	<b>PÉRDIDAS</b>
Explosión	23,4	66,2
Incendio	41,6	20,6
Huracán	14,1	8,1
Otros	20,9	5,1

Sobre las causas inmediatas de las explosiones, presenta la siguiente clasificación:

Tabla 3.12. Causas de las explosiones (pérdidas superiores a 100.000 dólares USA (1985))

<b>CAUSA</b>	<b>CASOS</b>
	<b>%</b>
Reacción química fuera de control	20,0
Reacción química accidental	15,0
Explosión en equipo de combustión	13,3
Nube de vapor no confinada	10,0
Sobrepresión	8,3
Descomposición	5,0
Chispas de combustión	5,0
Fallo de recipiente a presión	3,3
Operación inadecuada	3,3
Otros	16,8

En lo referente a incendios, las causas registradas y sus porcentajes de aparición en el conjunto de la muestra son los recogidos en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Causas de los incendios (Norstrom)

CAUSA	CASOS %
Fuga o derrame de líquido o gas inflamable	17,8
Sobrecalentamiento, superficies calientes	15,6
Fallo en tubería	11,1
Caída de fluido eléctrico	11,1
Operaciones de corte y soldadura	11,1
Incendiarismo	4,4
Otros	28,7

Las consecuencias de los eventos considerados (explosiones e incendios), valoradas en dólares USA (1985), se correlacionan con la frecuencia de aparición en la muestra según la Tabla 3.14.

Tabla 3.14. Volumen de pérdidas económicas en dólares USA (1985)

PÉRDIDA	% SUCESOS	% PÉRDIDAS
Sin daños	52,6	0
0 - 9.999	14,2	0,6
10.000 - 24.999	9,9	1,1
25.000 - 49.999	5,7	1,3
50.000 - 99.999	4,9	2,3
100.000 - 249.000	4,4	4,6
250.000 - 499.000	3,7	8,8
500.000 - 999.999	2,1	10,2
1.000.000 - 2.500.000	1,3	15,3
Más de 2.500.000	1,2	55,8

Como se puede apreciar, la magnitud del daño se mantiene en proporción inversa a su frecuencia.

Por último, utilizando datos de Marsh McLennan [MAHONEY 1995], sobre una muestra de 100 accidentes (39% en refinerías de petróleo, 36% en plantas químicas o petroquímicas y 25% en otro tipo de instalaciones), se estima la evolución de las pérdidas con el tiempo, presentando los resultados mostrados en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15. Evolución de las pérdidas económicas derivadas de los accidentes

PERIODO	Nº DE CASOS	TOTAL PÉRDIDAS	PÉRDIDA MEDIA
1953 - 1962	12	316.799.000	26.400.000
1963 - 1972	32	841.549.000	26.298.000
1973 - 1982	56	1.900.417.000	33.936.000

(Sobre la estimación de la tendencia en las pérdidas económicas derivadas de accidentes industriales y la conveniencia de actualizar los costes mediante índices numéricos, véase el Capítulo 6).

**3.11.12. V.C. Marshall**

V.C. Marshall publicó en 1977 [MARSHALL 1977] un estudio sobre la mortalidad de explosiones y nubes de gas tóxico. En este estudio establecía un índice de mortalidad en función de la cantidad de sustancia implicada a partir de 162 eventos.

Es bien conocido que la sobrepresión originada por una explosión es función de la raíz cúbica de la masa de material que interviene en la misma, Q. Por tanto, la distancia máxima a la cual el valor de la sobrepresión es todavía letal es también función de la raíz cúbica de Q. Suponiendo una densidad de población uniforme, el número de muertos F que puede esperarse es pues proporcional a la superficie afectada y esta, a su vez, depende del cuadrado de la distancia al centro de la explosión [CCPS-AICHE 1994], [LEES 1996]. Así:

$$F = k \times (Q^m)^n = k \times Q^P \tag{3.1}$$

donde  $m=1/3$ ,  $n=2$  y  $P=2/3$ . Esta expresión puede expresarse también de la forma siguiente:

$$\frac{F}{Q} = k \times Q^q \tag{3.2}$$

donde  $q=-1/3$ .

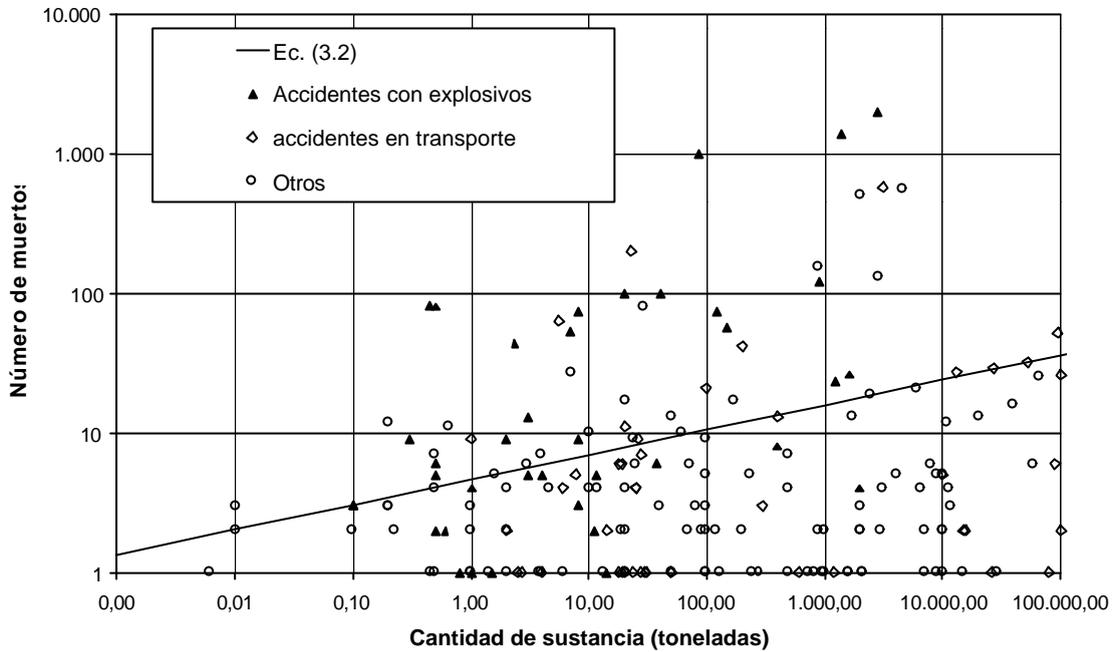
No obstante, a partir de los datos recopilados correspondientes a 162 explosiones (Tabla 3.16), Marshall estableció que el mejor ajuste para la Ecuación 2 se obtenía con  $K = 4$  y  $q = -1/2$ , obteniendo así un valor que él denominó "índice de mortalidad" (F/Q).

Tabla 3.16. Datos originales de Marshall para el cálculo del índice de mortalidad.

CLASE	QYN (Tm)	Nº accidentes	MPM TOTAL	Tm/Acc	NPM/ACC	NPM/(Tm/Acc)
1	0,44	5	17	0,09	3,40	38,90
2	5,76	17	41	0,34	2,41	7,12
3	26,86	28	140	0,96	5,00	5,21
4	90,29	33	119	2,74	3,61	1,32
5	281,00	29	504	9,69	17,38	1,79
6	546,00	23	694	23,74	30,17	1,27
7	821,00	10	82	82,10	8,20	0,10
8	2.722,00	11	970	247,45	88,18	0,36
9	11.796,00	6	3.242	1.966,00	540,33	0,27
<b>TOTAL</b>	<b>16.289,35</b>	<b>162</b>	<b>5.809</b>			

Estas correlaciones tienen un escaso valor predictivo y esto se pone de manifiesto en la Figura 3.7, donde se compara la Ec. (3.2) con los datos procedentes de MHIDAS no agrupados. La dispersión es tan grande, que el valor de predicción de la correlación es prácticamente nulo.

Figura 3.7. Correlación de Marshall vs. los datos de MHIDAS no agrupados.



### 3.11.13. Brockhoff, Petersen y Haastrup

En 1992, estos autores publicaron un artículo [BROCKHOFF 1992] en el que definían un modelo de consecuencias para escapes de amoníaco y cloro basado en un índice de mortalidad de estructura similar al propuesto por Marshall. Para la Ec. (3.2) obtenían los siguientes coeficientes en cada modelo (Tabla 3.17).

Tabla 3.17. Coeficientes obtenidos para los índices de mortalidad en escapes de amoníaco y cloro

MODELO	q = -0,25	q = 0
COLORO	0,61	0,27
AMONÍACO	0,07	0,018

Para la obtención de estos coeficientes utilizaron la misma estrategia de cálculo que Marshall aplicada a 93 casos de accidentes con cloro y 77 con amoníaco. Resulta destacable que de un total de 1.793 accidentes analizados, sólo en 170 casos se dispusiera de dos datos tan básicos como son el número de muertos y la cantidad de sustancia involucrada. Esta circunstancia se repite, desgraciadamente, en todos los estudios de este tipo.

### 3.11.14. Khan y Abbasi

Estos autores realizaron una muy interesante recopilación bibliográfica de 1.744 accidentes mayores en instalaciones fijas desde 1928 hasta 1997 [KHAN 1999], con

registros procedentes mayoritariamente de Lees, Marshall, Klentz, Haastrup, Koivisto y otros autores de reconocido prestigio en este ámbito. De este conjunto de informaciones 441 (25%) correspondían a incendios y/o explosiones, 1.247 (71%) a fugas tóxicas y el 4% restante a accidentes que combinaban ambas tipologías.

En la introducción del estudio recopilaban ciertas conclusiones y clasificaciones de los accidentes realizadas por los autores antes citados. Asimismo, se incluye una descripción de los accidentes más relevantes de entre los recopilados.

Por último, se finaliza el artículo con la presentación de ciertas curvas f-N que permiten comparar la gravedad de ciertas tipologías de riesgo respecto a otras. Así, comparando el riesgo social asociado a las instalaciones fijas respecto a las de transporte, las primeras resultan más seguras que las segundas. De la misma forma, las explosiones y/o incendios, resultan más peligrosos que las fugas de sustancias tóxicas, al provocar con mayor frecuencia, un mayor número de muertos.

Citando a Lees [LEES 1996], las causas de los accidentes se distribuyen según lo indicado en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18. Causas de los accidentes en la industria química según Lees

Causa	Nº de casos	%
Fallo de equipo	223	29,2
Fallo de operación	160	20,9
Elección incorrecta de material	120	15,7
Problemas en el proceso químico	83	10,9
Problemas de agitación/movimiento	69	9,0
Programa de prevención incorrecto	47	6,2
Diseño de planta incorrecto	27	3,5
Problemas de estructura	17	2,2

### 3.11.15. Davenport

J.A. Davenport, de la Industrial Risk Insurers, ha presentado periódicamente desde 1977 una recopilación de accidentes por explosión de nubes no confinadas de vapor [DAVENPORT 77], [DAVENPORT 83] y [LENOIR 1993]. El estudio incluye, además de una descripción somera del incidente, la identificación del mismo (lugar y fecha), identificación de la sustancia, cantidad involucrada, equivalente TNT, pérdidas económicas valoradas, meses de paralización de las instalaciones y Nº de muertes derivadas del evento.

La gravedad de las explosiones de vapor no confinadas se pone de manifiesto al considerar que el 37% de los accidentes con pérdidas superiores a 50 millones de dólares USA (año 1991) son debidos a este tipo de eventos pero que los mismos suponen el 50% del total de las pérdidas. De los diez accidentes de mayor magnitud, siete son debidos a explosiones de vapor no confinado. La media de daños para accidentes superiores a 50 millones de US\$ es de 125 millones. Sin embargo, para explosiones de vapor no confinado, esta cifra se eleva hasta los 165 millones de US\$.

### 3.11.16. Haastrup y Brockoff

Estos autores, del Joint Research Centre, han publicado diversos artículos en los que analizan la severidad de los accidentes con sustancias peligrosas [HAASTRUP 1990], [ROMER 1993]. En concreto han centrado su atención en el transporte de este tipo de sustancias y la comparativa del riesgo asociado a esta actividad frente al correspondiente a instalaciones fijas.

Tomaron como referencia una base de datos de 1.793 accidentes constituida a partir de diversas referencias bibliográficas citadas en este capítulo (Davenport, MHIDAS, Lees, etc.). La distribución en función del tipo de instalación afectada es la presentada en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19. Clasificación de 1.793 accidentes en función del tipo de instalación.

Clase	Nº casos	%	Nº muertos	%
Instalaciones fijas	998	56	454	67
Carga/descarga	104	6	47	7
Transporte	691	39	181	27
<b>TOTAL</b>	<b>1.793</b>	<b>101</b>	<b>682</b>	<b>101</b>

De los 691 accidentes correspondientes a transporte, la distribución es la indicada en la Tabla 3.20.

Tabla 3.20. Distribución de los accidentes de transporte.

Clase	Nº casos	%	Nº muertos	%
Por carretera	205	30	54	30
Por ferrocarril	257	37	41	23
Por tubería	133	19	56	31
Por mar	58	8	26	14
Transporte fluvial	38	5	4	2
<b>TOTAL</b>	<b>691</b>	<b>99</b>	<b>181</b>	<b>100</b>

La clasificación de estos mismos accidentes por décadas y lugar de ocurrencia, muestra la siguiente distribución (Tabla 3.21).

Tabla 3.21. Distribución de los accidentes por lugar de ocurrencia y década.

AÑO	NORTE AMÉRICA		EUROPA (Oeste)		OTROS		TOTAL	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
1900-1959	Nº 101	72	29	21	11	8	141	100
	% 12		5		5		9	
1960-1969	Nº 173	68	69	27	12	5	254	100
	% 21		13		6		16	
1970-1979	Nº 259	54	179	38	38	8	476	100
	% 31		33		18		30	
1980-1989	Nº 299	41	267	37	156	22	722	100
	% 36		49		72		45	
<b>TOTAL</b>	<b>Nº 832</b>	<b>52</b>	<b>544</b>	<b>34</b>	<b>217</b>	<b>14</b>	<b>1.593</b>	<b>100</b>
	<b>% 100</b>		<b>100</b>		<b>101</b>		<b>100</b>	

De los accidentes que describen se identifican los siguientes datos: Fecha del accidente, lugar de ocurrencia, sustancia(s), cantidad total de sustancia, cantidad de sustancia fugada/derramada, descripción del evento, tipo de accidente, nº de heridos y nº de muertos.

Con la información recopilada confeccionaron unas curvas f-N que ponen de manifiesto que el riesgo de este tipo de actividades es superior para el conjunto de "otros países" que para los correspondientes a Norte América y Europa (Oeste). Asimismo, es inferior el nivel de riesgo para instalaciones fijas que para el transporte de mercancías peligrosas.

Sobre el proceso de cálculo de este tipo de curvas y ciertas variantes puede consultarse el Capítulo 4 de esta memoria. Sobre posibles mejoras a los gráficos de curvas f-N, puede consultarse el artículo de Prugh [PRUGH 1992]. Sobre una variante de estas curvas aplicadas a análisis de riesgo en transporte, consúltese el artículo de Bubbico, Dore y Mazzarotta [BUBBICO 1998].

En el artículo de 1993 [ROMER 1993], el estudio se centra en 52 accidentes correspondientes a transporte marítimo de sustancias peligrosas recopilando datos del LIMADAG (List of Marine Accidents involving Dangerous Goods) y utilizando la base de datos DAMA (Databank til Sikring af Maritime Operasjoner) con sucesos acaecidos entre 1981 y 1990. Los accidentes son analizados según el número de fallecidos (390 en total), las cantidades fugadas, el tipo de cargamento/embalaje, el entorno y el tipo de accidente.

En la Tabla 3.22 se clasifican estos accidentes en función de la zona marítima en la que se produjo el siniestro.

Tabla 3.22. Accidentes clasificados en función de la zona marítima.

ZONA	Nº	%	Nº	%	Nº CASOS CON
	CASOS		MUERTOS		>9 MUERTOS
Puerto	20	38	62	15	2
Aguas costeras	22	42	293	73	5
Mar abierto	10	19	49	12	1
	<b>52</b>	<b>99</b>	<b>404</b>	<b>100</b>	<b>8</b>

Partiendo de estos accidentes, los autores consiguen elaborar un árbol de sucesos cuantificado en el que, por ejemplo, identifican la probabilidad de que se produzca un derrame de más 100 toneladas ( $1,2 \times 10^{-5}$ ) y en ese caso, la probabilidad de que se produzcan muertes (0,67).

Las conclusiones más evidentes sobre este árbol de sucesos son: 1) que la frecuencia de un derrame de más de 100 toneladas es unas diez veces más elevada en zona costera que en mar abierto, 2) en mar abierto, las distintas tipologías de accidente (colisión, daño estructural del casco, incendio/explosión) se dan con la misma frecuencia, 3) En puertos, la tipología más frecuente es la de las colisiones, 4) la tipología de accidente con mayor porcentaje de muertes corresponde a los incendios y/o explosiones, ya sean éstas en puerto, zona costera o alta mar.

En este mismo artículo y considerando los mismos datos, los autores desarrollan un modelo lineal que permite estimar el tamaño del derrame en función del tipo de barco, su capacidad y del tipo de incidente producido.

### 3.11.17. Vilchez, Sevilla, Montiel y Casal

En su artículo "Historical analysis of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials" [VILCHEZ 1995], los autores realizan una exhaustiva revisión de los datos recopilados en MHIDAS hasta julio de 1992 (5.325 casos); éste es probablemente el análisis histórico llevado a cabo hasta la fecha con un mayor número de accidentes en los sectores de la industria química y el transporte de materias peligrosas.

En el estudio analizan la distribución de los accidentes según el estado físico de las sustancias intervinientes, según la década de ocurrencia, el tipo de evento, el riesgo asociado a la sustancia, la instalación de origen del accidente, las causas del mismo y sus consecuencias, tanto económicas como en número de muertos, heridos y evacuados y configuran la curva f-N correspondiente al conjunto de los datos.

Dado que en cierta medida el Capítulo 4 de esta memoria es una actualización de este trabajo, no se presentan aquí los resultados del mismo.

### 3.11. 18. Otras referencias bibliográficas

Badger, G. publicó en 1997 [BADGER 1997] un informe sobre los incendios y explosiones más relevantes ocurridos en Estados Unidos en 1996, no necesariamente en el ambiente industrial o con participación de sustancias peligrosas. En el mismo informe se contabilizan 1.975.000 incendios, con unas pérdidas aproximadas de 9.406.000.000 de dólares USA (1996). De ellos, sólo 59 casos (0,003%) superan los 5 millones de dólares en pérdidas, acumulando un total de 1.098.368.100 (11,7%) dólares USA en pérdidas económicas, 13 civiles muertos, 86 heridos civiles y 49 bomberos.

Por el tipo de actividad o uso de la instalación siniestrada, la distribución de estos 59 casos más relevantes, es la recogida en al Tabla 3.23.

Tabla 3.23. Distribución de los casos más significativos en función del uso de la instalación.

USO	Nº CASOS	%	PÉRDIDAS Miles de US\$	%
Fabricación	20	33,9	307.000	28,0
Comercios y oficinas	11	18,6	130.090	11,8
Almacenamiento	10	16,9	484.700	44,1
Residencial	6	10,2	67.300	6,1
Vehículos	4	6,8	24.514	2,2
Otras industrias	3	5,1	46.000	4,2
Otros	5	9,5	38.700	3,5
<b>TOTAL</b>	<b>59</b>	<b>100,0</b>	<b>1.098.368</b>	<b>100,0</b>

Destaca notablemente el elevado volumen de pérdidas correspondiente a almacenamientos industriales frente al número de casos registrados (16,9% de los casos, 44,1% de las pérdidas).

El informe de Badger incluye una breve referencia a cada uno de los 59 casos citados, aunque se centra en una muy breve descripción de la instalación afectada y de los sistemas de protección y la actuación seguida para enfrentarse al incendio.

Wakakura y Iiduka, del Kanagawa Industrial and Technology Research Institute y de la Mitsubishi Chemical Corporation (Yokohama Research Center) respectivamente, publicaron en 1999 un informe [WAKAKURA 1999] sobre la tendencia en el tratamiento del riesgo químico en Japón. En el citado informe se recopilaban los accidentes mayores ocurridos en Japón desde el final de la Segunda Guerra Mundial (Tabla 3.24), con expresa indicación del número de muertos y de heridos producidos por el accidente.

Tabla 3.24. Accidentes mayores ocurridos en Japón desde 1945.

AÑO	DESCRIPCIÓN	Nº	
		MUERTOS	HERIDOS
1949	Explosión e incendio en una factoría de extracción de grasa	5	2
1952	Explosión en un proceso de separación de sulfato de amonio	7	11
1954	Explosión por hexano en una factoría de recuperación de grasas animales	21	162
1956	Explosión de hexano en una factoría de extracción aceite de soja	11	7
1958	Explosión de aire líquido en una planta de síntesis de amoníaco	11	40
1960	Explosión e incendio de hexano en una planta de extracción de grasas	11	10
1964	Reacción fuera de control en un proceso de polimerización de óxido de propileno	18	171
1964	Descomposición y explosión en una planta de polietileno a alta presión	38	0
1969	Incendio de vapor combustible en una factoría de recuperación de neumáticos	11	7
1973	Reacción fuera de control en una polimerización	0	101
1978	Explosión en reactor por reacción fuera de control	2	10
1978	Reacción fuera de control en una isomerización	6	9
1982	Reacción fuera de control en la puesta en marcha de la agitación tras una parada accidental	6	184
1990	Explosión en un proceso de fabricación de peróxidos	9	17
<b>TOTAL</b>		<b>156</b>	<b>731</b>

En el mismo informe se hace referencia a una base de datos de accidentes industriales con sustancias peligrosas (Accident and Disaster Information Database, ADID) mantenida por el Accident and Disaster Information Center de Japón. Sin embargo no ha sido posible consultarla y se desconoce por completo su contenido y estructura.

Owens y Hazeldean de la Technical and health Sciences División del HSE (Gran Bretaña), publicaron un informe sobre incendios, explosiones e incidentes relacionados en el trabajo, ocurridos en Gran Bretaña en el periodo 1992-1993 [OWENS 1995]. Este informe incluye una distribución de los casos en función del estado físico y peligrosidad de la sustancia involucrada (Tabla 3.25) y la evolución del Nº de incidentes, Nº de muertos y de heridos desde 1987/88 (Tabla 3.26).

Tabla 3.25. Distribución de los accidentes registrados en función del tipo de sustancia.

CATEGORÍA	%		Nº	
	INCIDENTES	MUERTOS	MUERTOS	MUERTOS
Líquidos inflamables	32	7	36,8	
Gases inflamables	23	1	5,3	
Sólidos inflamables	18	5	26,3	
Gases licuados del petróleo	6	0	0,0	
Reacciones exotérmicas	3	5	26,3	
Explosivos	5	1	5,3	
Otros	13	0	0	
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>19</b>	<b>100,0</b>	

Resulta evidente la presencia de sustancias inflamables en la mayor parte de los incidentes registrados y que estas sustancias acumulan el mayor número de muertos (73% de los casos, 68,4% de los muertos). Sin embargo, es relevante el reducido porcentaje de muertes atribuido a la categoría de gases inflamables frente al de líquidos y sólidos inflamables.

Tabla 3.26. Evolución del Nº de incidentes por categoría de sustancia.

CATEGORÍA		1987/88	1988/89	1989/90	1990/91	1991/92	1992/93
Sólidos inflamables	Incidentes	223	263	258	223	106	200
	Heridos	144	154	157	158	101	113
	Muertos	7	7	5	1	5	5
Líquidos inflamables	Incidentes	522	480	469	447	411	359
	Heridos	325	232	247	232	217	172
	Muertos	9	9	11	12	8	7
Gases licuados petróleo	Incidentes	124	95	89	90	75	61
	Heridos	125	83	73	92	66	46
	Muertos	0	1	1	1	3	0
Gases inflamables y O <sub>2</sub>	Incidentes	291	332	295	277	299	251
	Heridos	228	232	195	194	209	139
	Muertos	0	1	2	4	1	1
Reacciones exotérmicas	Incidentes	63	38	52	60	50	37
	Heridos	25	13	34	24	25	23
	Muertos	0	0	1	0	1	5
Explosivos	Incidentes	65	45	58	50	42	48
	Heridos	34	141	18	20	17	26
	Muertos	2	3	0	1	1	1
<b>Total</b>	<b>Incidentes</b>	<b>1.288</b>	<b>1.253</b>	<b>1.221</b>	<b>1.147</b>	<b>983</b>	<b>956</b>
	<b>Heridos</b>	<b>881</b>	<b>855</b>	<b>724</b>	<b>720</b>	<b>635</b>	<b>519</b>
	<b>Muertos</b>	<b>18</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>

Se puede apreciar claramente una reducción paulatina pero mantenida en el número de accidentes registrados entre 1987 y 1993, así como una reducción importante en el

número de heridos y el mantenimiento del nº de muertos derivados de accidentes con sustancias peligrosas. Destaca asimismo, la mayor peligrosidad de las sustancias inflamables sólidas y líquidas frente a las de estado físico gaseoso (las primeras acumulan 30 y 56 muertos respectivamente en este periodo, frente a 15 muertos entre las categorías GLP y gases inflamables, aun cuando estas últimas presentan un número de eventos similar).

Michaelis Christou, del Joint Research Center de Ispra (Italia), publicó un análisis de 617 accidentes ocurridos en áreas portuarias diversas entre 1934 y 1995 (la mayoría sucesos posteriores a 1970)[CHRISTOU 1999]. Los registros fueron obtenidos mayoritariamente de las bases de datos MARS, CHEMAX, MHIDAS y FACTS y de otras recopilaciones bibliográficas.

Del estudio se desprende el balance presentado en la Tabla 3.27.

Tabla 3.27. Accidentes con sustancias peligrosas ocurridos en zonas de almacenamiento temporal.

Tipo de área	Nº acctes.	%	Nº Muertos (Total)	%	Nº Muertos (media)	Nº heridos (total)	%	Nº heridos (media)
Estaciones de clasificación	236	38,2	167	6,7	0,71	6.068	33,8	25,71
Puertos de mar	338	54,8	2.293	91,9	6,78	10.158	56,6	30,05
Puertos fluviales	36	5,8	32	1,3	0,89	1.594	8,9	44,28
Otros	7	1,2	2	0,1	0,28	123	0,7	17,57
<b>TOTAL</b>	<b>617</b>	<b>100,0</b>	<b>2.494</b>	<b>100,0</b>	<b>--</b>	<b>17.943</b>	<b>100,0</b>	<b>--</b>

También se incluye una relación de algunos de los accidentes registrados con descripción somera del evento y de sus consecuencias y una comparativa de las curvas f-N obtenidas para muertos y heridos en cada una de las áreas consideradas.

Soon Joong Kang [KANG 1999] presentó una revisión de los accidentes mayores ocurridos en Corea desde 1988. Esta revisión contempla el nº de accidentes por año (Tabla 3.28), la distribución de los mismos por sector de actividad (Tabla 3.29), por tipo de accidente mayor (Tabla 3.30), por equipo afectado (Tabla 3.31), por operación realizada (Tabla 3.32) y por causas primarias (Tabla 3.33).

Tabla 3.28 Distribución de accidentes mayores por año en Corea.

AÑO	Nº de accidentes
1997	3
1996	5
1995	6
1994	14
1993	33
1992	14
1991	6
1990	7
1989	3
1988	2

Tabla 3.29 Distribución de accidentes por sectores de actividad.

<b>SECTOR</b>	<b>Nº de accidentes</b>
Industria general	30
Química fina	17
Resto ind. Química	11
Gases combustibles	10
Refinería	13
Petroquímica	12

Tabla 3.30 Distribución por tipo de accidente.

<b>TIPO DE ACCIDENTE</b>	<b>Nº de accidentes</b>
Explosión	34
Explosión de nube de vapor	20
Incendio	16
Fuga de productos tóxicos	15
Otros	8

Tabla 3.31. Distribución por equipo afectado.

<b>EQUIPO AFECTADO</b>	<b>Nº de accidentes</b>
Tuberías	18
Equipos de proceso	16
Desconocidos	15
Tanques de almacenamiento	13
Otros	12
Reactores	9
Compresores	5
Instrumentación	3
Válvulas	2

Tabla 3.32. Distribución de por operación realizada.

<b>TIPO DE OPERACIÓN</b>	<b>Nº de accidentes</b>
Mantenimiento	32
Operación normal	27
Parada	20
Arranque	14

Tabla 3.33. Distribución de por causa primaria.

<b>TIPO DE ACCIDENTE</b>	<b>Nº de accidentes</b>
Error de operación	43
Fallo de equipo	21
Error de diseño	16
Fallo de proceso	7
Otros	6

### 3.12. CONCLUSIÓN

En el presente capítulo se ha procedido, en primer lugar, a una descripción relativamente detallada de las características que debe presentar una buena base de datos sobre accidentes industriales a partir de la cual se pretenda hacer un análisis histórico de accidentes. A continuación se ha pasado revista a todas aquellas bases de datos informatizadas de las que se ha tenido conocimiento a la hora de elaborar esta tesis. En todos los casos, se ha descrito, por una parte, su estructura y la forma de acceso a la información, y por otra, se ha profundizado en mayor o menor medida en la cantidad y calidad de su contenido. En el Apartado 3.10 se han recopilado todas aquellas bases de datos que no han podido ser consultadas pero de las que se ha tenido alguna referencia.

En el Apartado 3.11 se ha pasado revista a todas las recopilaciones de accidentes industriales con sustancias peligrosas que se han estudiado antes y durante el desarrollo del presente trabajo. De este estudio se han extraído, de una parte, las referencias significativas a accidentes acaecidos en el pasado, constituyendo una base de datos de referencia para contrastar los resultados obtenidos en los métodos desarrollados en los Capítulos 5 y 6. De otra parte, este estudio ha permitido conocer una serie de técnicas aplicables en el análisis de riesgos (curvas f-N y árboles de sucesos fundamentalmente), que se han aplicado a los datos de que se disponía.

De cada uno de los trabajos presentados, se han destacado las principales conclusiones sin ánimo de ser exhaustivos en el detalle.

Gracias al análisis realizado sobre las bases de datos disponibles, se ha llegado a la conclusión de que la mejor base de referencia para el desarrollo de los capítulos posteriores era la base de datos MHIDAS. Los aspectos que más han respaldado esta elección son los siguientes:

1. Acceso a la información. Los registros de MHIDAS se actualizan permanentemente (cuatro veces al año). Se dispone de ellos en CD-ROM y por lo tanto no es precisa una consulta a otros organismos. Se dispone de esta actualización a través del CERTEC.
2. Facilidad de tratamiento de la información. Las informaciones recopiladas en MHIDAS se pueden integrar en una base de datos u hoja de cálculo que permita un tratamiento detallado de la misma. Si bien el programa WinSPIRS, facilitado con la base de datos, no es muy versátil, la base de datos creada permite cambiar el formato de los datos, adecuándolos a las necesidades de cada caso. Esta posibilidad ha facilitado enormemente el trabajo y ha sido uno de los principales aspectos por los que se ha seleccionado ésta como base de datos de referencia.
3. Facilidad de interpretación. La codificación de los campos de MHIDAS hace de ella una herramienta de primera magnitud para el tratamiento estadístico de los accidentes en ella recopilados, en la forma en la que se desarrollan los Capítulos siguientes de esta tesis. Tras la revisión de otras bases de datos, resulta evidente que las hay que contienen mayor número de registros y mejor calidad de información en cada uno de ellos. Sin embargo, ponderando todos los aspectos relacionados, MHIDAS supone la mejor alternativa.
4. Facilidad idiomática. El que MHIDAS esté documentada en inglés, facilita la interpretación de la información frente a otras, como SONATA, mantenidas en el idioma del país de origen.

Tras el estudio de la base de datos MARS, se considera que tiene una estructura de la información mucho más completa que la puede tener MHIDAS. Sin embargo, hoy por hoy, contiene pocos registros y los mismos no han podido ser consultados a la hora de llevar a cabo este trabajo (salvo los informes preliminares accesibles por Internet).

Por último, hay que destacar que ninguna de las fuentes consultadas contiene información suficiente como para poder contrastar la calidad y representatividad de los índices de riesgo analizados en el Capítulo 2 de esta memoria. Los factores registrados en las referencias analizadas resultan insuficientes como para poder aplicar sobre los mismos los índices de riesgo Dow, Mond, etcétera y poder contrastar así su representatividad.

En general, las fuentes consultadas describen de manera insuficiente las instalaciones en las que se produce el accidente y las circunstancias relativas al proceso, las condiciones de almacenamiento o trasvase, etc. aspectos éstos vitales para poder aplicar métodos semicuantitativos de análisis y valoración de riesgos.