

4. ESTUDIO DE LA GRAVEDAD DE LOS ACCIDENTES EN FUNCIÓN DE DIVERSOS FACTORES

4.1. INTRODUCCIÓN

Una vez seleccionada la base de datos MHIDAS como fuente de información básica para el desarrollo de este estudio y analizada con detenimiento su estructura en el Anexo 2 de esta tesis, en este capítulo se analiza la gravedad de los accidentes registrados en función de todas y cada una de las variables descriptivas disponibles.

Con el objeto de limitar el ámbito de este estudio a los accidentes producidos en instalaciones fijas, se excluyen del mismo todos aquellos accidentes derivados de tareas de transporte, ya sea por tierra o mar. Se identifican estos accidentes por contener la cadena de texto "TRANSPORT-" en el campo OG1 (Ver Anexo 2).

Con esta selección quedan 5.167 registros de accidentes útiles para el desarrollo de este análisis, si bien en algunos campos la presencia de datos mancantes es muy significativa.

De todos los campos de cada registro de MHIDAS, sólo cuatro de ellos hacen referencia o permiten una estimación de la gravedad del accidente: DAMAGE (daños económicos), KILLED (nº de muertos), INJURED (nº de heridos) y EVACUATED (nº de evacuados).

La variable KILLED presenta 2.216 registros no vacíos (2.951 datos mancantes), con valores comprendidos entre 0 y 2.000 (este último valor corresponde al accidente de Bhopal en 1984). El valor más frecuente es 0. La media aritmética es 6,35 y la desviación tipo de 59,9 muertos. La mediana se sitúa en 0, por lo que la mitad de los accidentes registrados no han provocado ningún muerto.

Se identifican cuatro registros con valores en la variable KILLED extraordinariamente elevados, correspondientes a los accidentes indicados en la Tabla 4.1. Estos valores varían sensiblemente según la referencia bibliográfica consultada [LESS 1996].

Tabla 4.1. Accidentes con un número de muertos significativamente elevado

AN	Fecha	Lugar de ocurrencia	Tipo de evento	Nº de muertos
1886	(?) 01.01.1900	Brescia (Italia)	Explosión de pólvora negra	1.000
1668	29.9.1921	Oppau (Alemania)	Explosión de amoníaco	561
2091	14.4.1944	Bombay (India)	Explosión de dinamita	1.377
1098	03.12.1984	Bhopal (India)	Fuga de metilisocianato	2.000

La variable INJURED presenta 2.299 registros mancantes. Su rango se sitúa entre 0 y 9.999 heridos. El valor más frecuente es 0, la media aritmética es 29,8 y la desviación tipo de 306,7. La mediana se sitúa en 3 heridos.

La variable DAMAGE presenta muchos datos mancantes (4.409 registros vacíos) pero se mantiene por el interés que tiene el poder evaluar la gravedad del accidente en términos económicos. Debe considerarse a este respecto que es un parámetro relativamente uniforme, presente en todos los eventos y hasta cierto punto tan objetivo y cuantificable como puede serlo el número de muertos o de heridos. Además, en aquellas circunstancias en las que no han habido personas expuestas al accidente, es el único parámetro disponible para evaluar su magnitud.

Las referencias a las pérdidas económicas se han actualizado a 1999 mediante la utilización del índice Marshall y Stevens según se describe en el Capítulo 6 [CAROL 2000].

La variable DAMAGE (en millones de dólares USA de 1999) presenta valores entre 0,002 y 456,53. El valor más frecuente es 3,7, la media aritmética es de 17,53 y la desviación tipo de 46,91. La mitad de los valores disponibles están en el intervalo 0,002 a 3,1.

La variable EVACUATED, presenta 1.189 valores no nulos (3.978 datos mancantes), toma valores entre 0 y 200.000, el valor más frecuente es 0, su valor medio es 1.420 y la desviación tipo es de 10.993 evacuados. La mitad de los accidentes están entre 0 y 4 evacuados.

De las cuatro variables citadas, se utilizan en el análisis las tres primeras. La variable EVACUATED tiene escaso valor como variable cuantitativa, dado que está afectada de una elevada imprecisión y muchos datos mancantes.

Se ha analizado la posibilidad de aplicar ciertas técnicas estadísticas (ponderación de factores o lógica difusa) para resumir la información de la gravedad de un evento en un único valor [CHIRSTEN 1994]. De utilizar esta técnica, sólo quedan disponibles para el análisis aquellos registros que no tienen datos mancantes en ninguna de las variables utilizadas. Dado que ello reducía notablemente la muestra de estudio, se ha desestimado su aplicación. Por otra parte, resultan mucho más intuitivos los cálculos y los resultados expresados según las variables originales.

El análisis planteado en este capítulo se reduce a la estadística descriptiva uni y bivalente sobre las variables indicadas, complementada con la aplicación de las curvas p-N (variante de las curvas f-N habitualmente utilizadas en los análisis de riesgos [ALE 1991]) que constituyen una herramienta fundamental para visualizar las relaciones severidad-frecuencia de los accidentes.

Haastrup y Brockhoff [HAASTRUP 1990] representan en un diagrama logarítmico las probabilidades de ocurrencia de un número o rango determinado de muertos. En estas curvas, la frecuencia de un accidente con una muerte se ajusta arbitrariamente a la unidad y se utilizan para determinar si la probabilidad de ocurrencia de un accidente de una determinada gravedad es proporcional a la probabilidad de otro accidente diferente.

Para el cálculo de esta probabilidad utilizan la expresión:

$$P(x \geq N) = F_j = \frac{\sum_{i=j}^n N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (4.1)$$

Donde:

- N: número de muertos (abscisa de la curva)
- $P(x \geq N) = F_j$: probabilidad de que en un accidente mortal el número de muertos sea mayor o igual que N
- n: número total de categorías o rangos
- N_i : número de registros de la categoría i.

En la representación gráfica de las curvas p-N que se han obtenido en este capítulo se ha seguido un proceso de cálculo diferente. En primer lugar, se han considerado todos los accidentes, incluidos en su caso aquellos en los que la variable medida toma valor nulo (cero muertos, cero heridos o 0 US\$ de daños económicos). En segundo lugar, se ha trabajado con datos no agrupados en rangos o categorías. De esta forma, el proceso de cálculo seguido ha sido el siguiente:

1. Se seleccionan todos los registros considerados y se ordenan de forma creciente en función de la variable evaluada (por ejemplo, nº de muertos).
2. Se contabiliza, para cada valor de la variable evaluada, el número de apariciones en el conjunto.
3. Se calcula, para cada valor de la variable evaluada, una frecuencia relativa no acumulada como el cociente del valor obtenido en el punto 2 y el número total de casos considerados (este paso no es indispensable en el cálculo).
4. Se calcula, para cada valor de la variable evaluada, la frecuencia relativa acumulada, como suma de los valores obtenidos en el punto 2 correspondientes a valores de la variable evaluada superiores al considerado dividida por el total de casos.
5. Se representan, por último, los valores del punto 4 en función del valor de la variable evaluada en un gráfico logarítmico.

En este análisis, se han aplicado estas curvas no sólo al caso de número de muertos, sino también al de heridos o pérdidas económicas.

4.2. EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE ACCIDENTES POR DÉCADAS

En [VILCHEZ 1996] y [MIR 1999] se presentan dos gráficas que muestran una clara tendencia creciente en el número de accidentes registrados en la base de datos MHIDAS. Con la versión de MHIDAS de Julio de 1999, los resultados que se han obtenido son los de la Figura 4.1 y Tabla 4.2.

La primera serie de datos hace referencia a la totalidad de los accidentes registrados. Dado que en este estudio se han empleado únicamente aquellos correspondientes a instalaciones fijas, se incluye una segunda serie en la que se indican los accidentes de este tipo (excluidos los identificados como "TRANSPORT-" en el campo OG1). Obsérvese que prácticamente el 50% de los registros de MHIDAS corresponden a accidentes de este tipo.

Es evidente una tendencia creciente en el número de accidentes registrados, aunque de ello no se puede inferir necesariamente que se produzcan más accidentes en la actualidad que en el pasado. La globalización de las comunicaciones y los modernos sistemas de información permiten hoy por hoy tener conocimiento de sucesos menos relevantes y manejar un número superior de registros.

Por otra parte, aunque pueden producirse más accidentes, también es cierto que ha aumentado vertiginosamente la actividad industrial por lo que poco puede decirse respecto a la frecuencia siniestral a partir de estos datos.

Figura 4.1. Evolución del número de accidentes registrados por décadas.

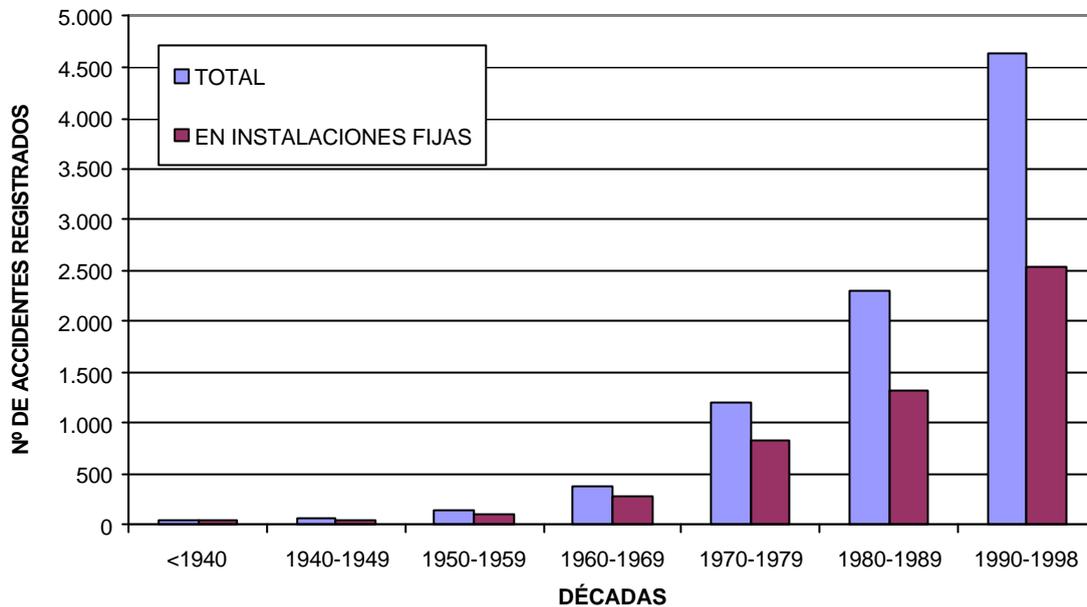


Tabla 4.2. Evolución del número de accidentes registrados por décadas.

DÉCADA	Nº TOTAL DE ACCIDENTES	%D	Nº DE ACCIDENTES SIN TRANSPORTE	%D
<1940	52	--	43	--
1940-1949	75	144	50	116
1950-1959	139	185	108	216
1960-1969	371	267	289	267
1970-1979	1.201	323	819	283
1980-1989	2.296	191	1.319	161
1990-1999	4.645	202	2.530	192
TOTAL	8.779	--	5.167	--

Como se aprecia en la Tabla 4.2, los crecimientos en el número de registros son espectaculares. Hasta la fecha, prácticamente cada década se ha duplicado (o triplicado) el número de accidentes registrados respecto a la anterior.

Es importante destacar que el 50% de los registros corresponden a la última década (1990-1999), lo que da mayor fiabilidad a las conclusiones que puedan extraerse. No obstante, como se verá en los sucesivos apartados, la presencia de un elevado número de registros con datos mancomunados, reduce significativamente la bondad de este dato.

4.3. EVOLUCIÓN DE LA GRAVEDAD DE LOS ACCIDENTES

4.3.1. Evolución del número de muertos

Por lo que hace referencia al número de muertos y su evolución con el tiempo, la Figura 4.2 muestra el número de muertos acumulados por décadas. Se destacan los

accidentes referidos en la Tabla 4.1 porque son susceptibles de desvirtuar, por extraordinarios, los resultados estadísticos.

Pese a que la tendencia en número absoluto de muertos es creciente, el ratio "Nº de muertos/Nº de accidentes" ha decrecido sustancialmente en las últimas décadas respecto a las precedentes, si bien desde 1950 muestra una tendencia ligeramente creciente en el rango 2,5-6,5 (Tabla 4.3).

Esta reducción del ratio "número de muertos por accidente" no es atribuible exclusiva o directamente a una mejora en la seguridad de las instalaciones. Dada la dificultad de acceder a informaciones de accidentes antiguos, es evidente que se recuperan prioritariamente los más significativos (graves) y quedan infravalorados los de menor severidad.

Obsérvese que el número de accidentes con la variable KILLED registrada es inferior al 50% del total seleccionado (2.216 frente a 5.167) y que de los correspondientes a la última década, de un total de 2.530 (Tabla 4.2), sólo 477 tienen el campo KILLED cumplimentado.

El ratio 6,5 de la última década, (significativamente más elevado que el de las inmediatamente precedentes) puede poner de manifiesto un cambio de criterio en la selección de registros incorporados a la base de datos MHIDAS. De hecho, es sorprendente que con casi la mitad de accidentes registrados y la ausencia de accidentes significativamente graves, en la década 1990-1999 se hayan producido el 75% de las muertes ocurridas en la década anterior, considerando incluido en ella el accidente de Bhopal en 1984. De no existir otra justificación al respecto, debería concluirse que la seguridad de las instalaciones industriales en las que se utilizan sustancias peligrosas ha empeorado significativamente en los últimos diez años. Sin embargo este efecto se debe a que en la última década se han incorporado a MHIDAS únicamente aquellos datos que han sido suficientemente contrastados.

Figura 4.2. Número de muertos por décadas.

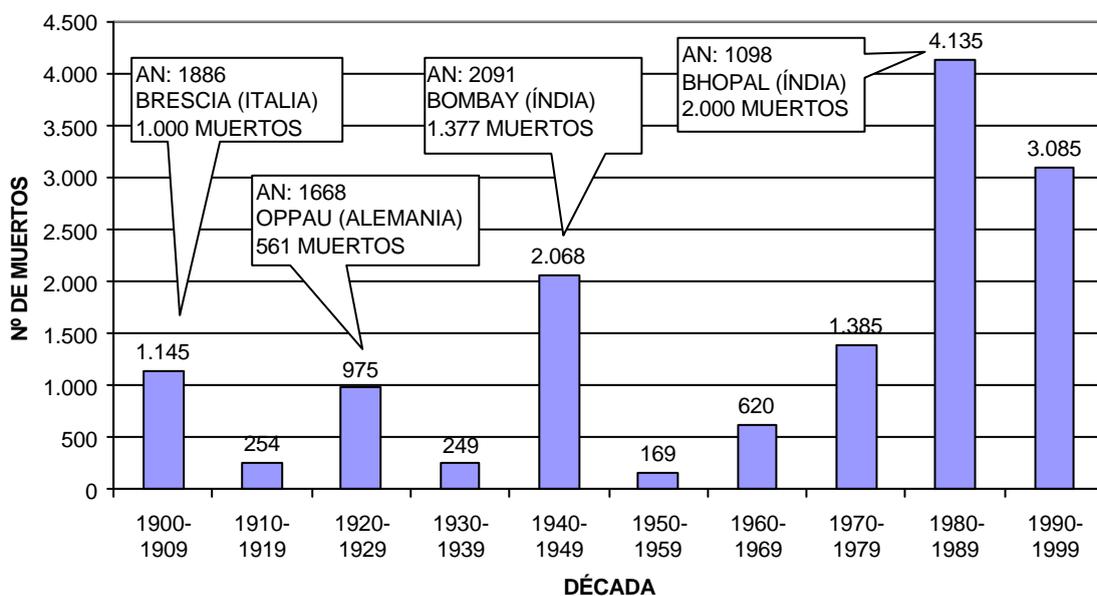


Tabla 4.3. Evolución del número de accidentes y del número de muertos por décadas.

DÉCADA	Nº DE ACCIDENTES (NA)	Nº DE MUERTOS (NM)		NM/NA
1900-1909	14	1.145	(1)	81,8
1910-1919	6	254		42,3
1920-1929	10	975	(2)	97,5
1930-1939	17	249		14,6
1940-1949	37	2.068	(3)	55,9
1950-1959	67	169		2,5
1960-1969	198	620		3,1
1970-1979	532	1.385		2,6
1980-1989	858	4.135	(4)	4,8
1990-1999	477	3.085		6,5
TOTAL	2.216	14.085		6,4

- (1) Sin considerar el AN 1886, el nº de muertos es 145 y el ratio 10,3
(2) Sin considerar el AN 1668, el nº de muertos es 414 y el ratio 41,4
(3) Sin considerar el AN 2091, el nº de muertos es 691 y el ratio 18,7
(4) Sin considerar el AN 1098, el nº de muertos es 2.135 y el ratio 2,5

Para apreciar adecuadamente la evolución de la relación severidad-frecuencia con el tiempo, puede verse la Figura 4.3, que representa las curvas p-N para las diferentes décadas.

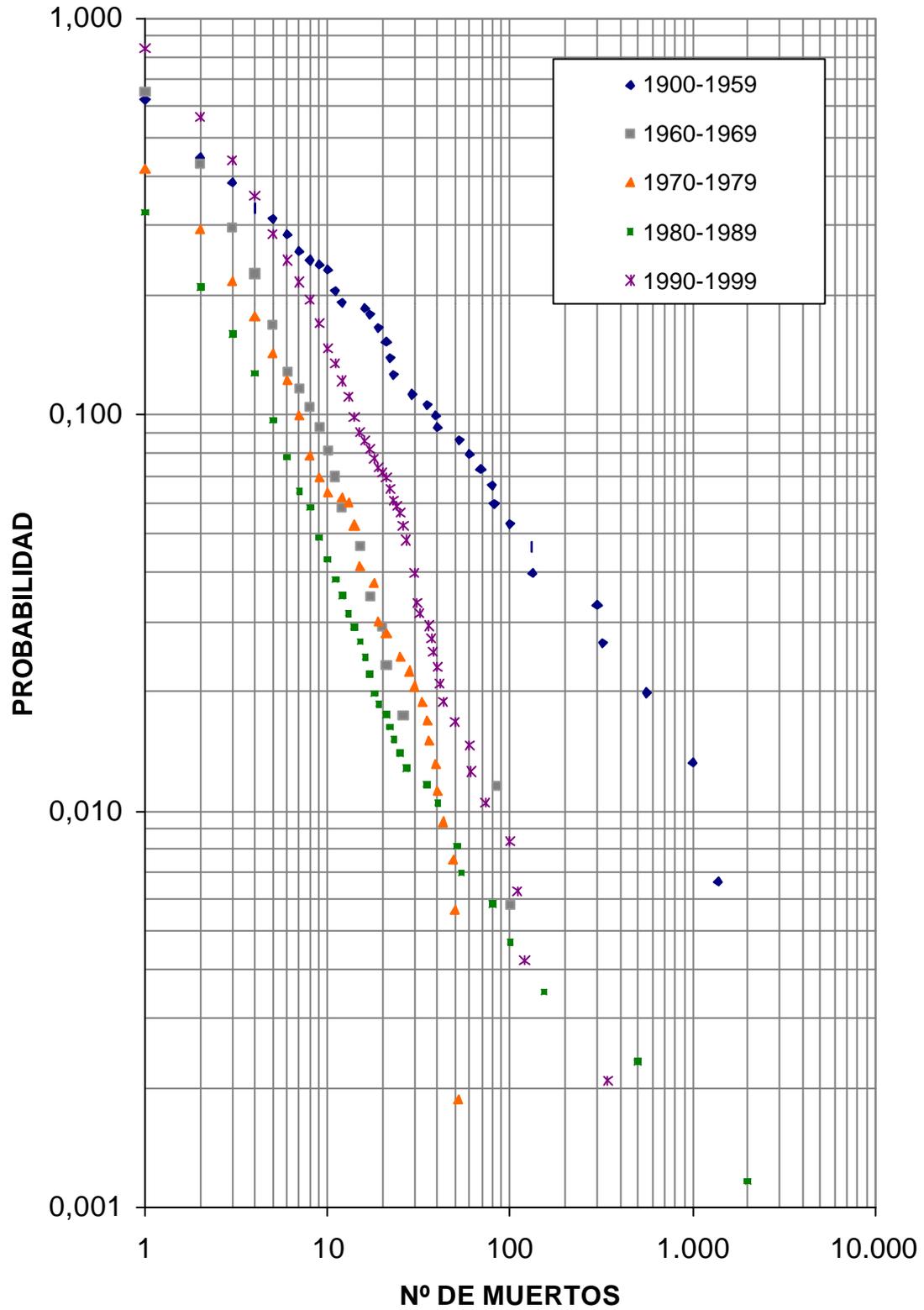
La curva 1900-1959 se inicia en la ordenada 0,62, lo que indica que el 38% de los accidentes registrados de ese período no ocasionaron muertos. Para décadas sucesivas se observa que esa ordenada en $x = 1$ se va reduciendo paulatinamente, luego para la misma tipología de accidente, cada vez es menos probable que se produzcan víctimas mortales.

Sin embargo para la curva 1990-1999, esta ordenada se sitúa muy por encima de todas las demás (0,83). Esta circunstancia se debe al citado cambio de criterio a la hora de seleccionar los registros a introducir en la base de datos MHIDAS. El número de registros incorporado ha seguido la tendencia creciente anterior pero se ha reducido notablemente el número de registros con el campo KILLED cumplimentado y esto se debe a que se incluyen con datos mancantes unos registros que según los criterios anteriores hubieran sido incorporados como datos no mancantes y que los que se incluyen como datos ciertos, suelen presentar un valor superior a 0 en la variable KILLED.

En lo relativo a las pendientes de las curvas, éstas muestran en qué medida se reduce la probabilidad de alcanzar un accidente más grave. Así, por ejemplo, para el periodo 1900-1959, de producirse un accidente con sustancias peligrosas, existía una probabilidad del 10% de que el mismo provocara más de 40 muertos y una probabilidad del 1% de superar los 1.000 muertos. Evidentemente este dato viene afectado por la infrarrepresentación de los accidentes leves y la escasa representatividad estadística de los accidentes muy graves.

Las pendientes correspondientes a décadas posteriores a 1959 son muy similares, provocando que las curvas se mantengan prácticamente paralelas entre $x=1$ y $x=100$. Por encima de la abscisa $x=100$, la variabilidad de las curvas es poco significativa, ya que viene muy afectada por los accidentes extraordinarios.

Figura 4.3. Curva p-N correspondiente al número de muertos por décadas.



4.3.2. Evolución del número de heridos

En lo relativo al número de heridos, su evolución con el tiempo se muestra en la Figura 4.4 agrupando los datos por décadas. Se destacan los accidentes referidos en la Tabla 4.4 porque son susceptibles de desvirtuar, por extraordinarios, los resultados estadísticos.

Figura 4.4. Evolución del número de heridos por décadas

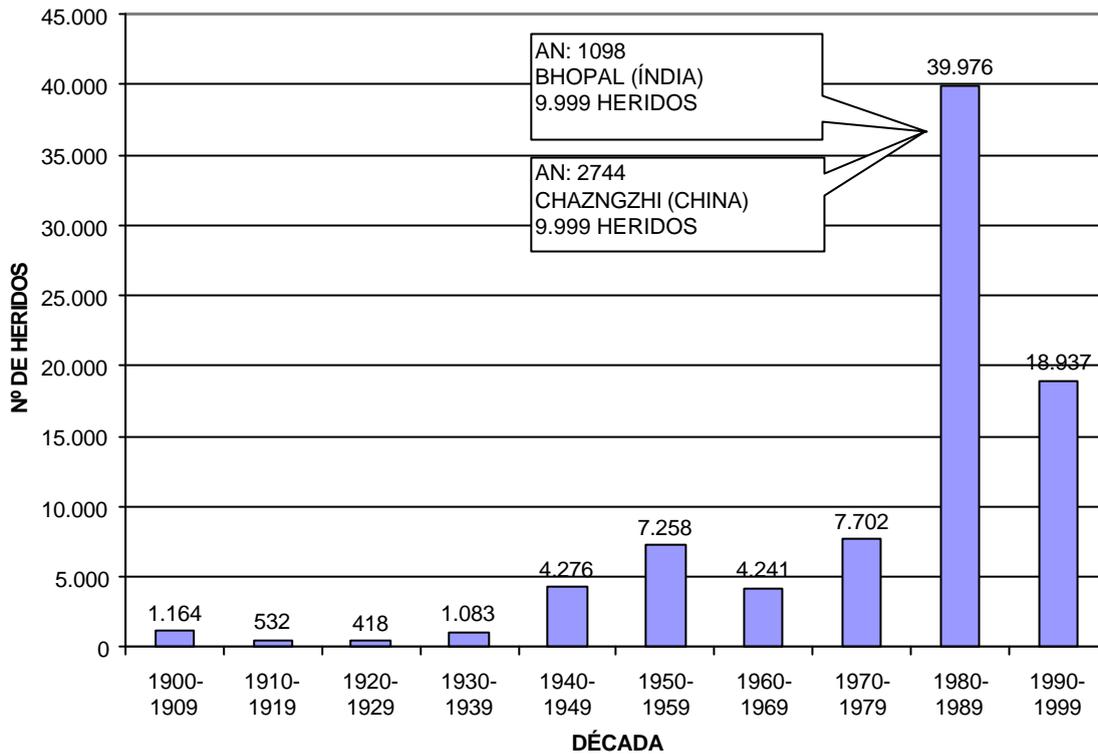


Tabla 4.4. Accidentes con un número de heridos significativamente elevado

AN	Fecha	Lugar de ocurrencia	Tipo de evento	Nº de heridos
1098	03.12.1984	Bhopal (India)	Fuga de metilisocianato	9.999
2744	02.01.1987	Changzhi (China)	Derrame de residuos químicos	9.999

El ratio "Nº de heridos/Nº de accidentes" (Tabla 4.5) ha decrecido sustancialmente en las últimas décadas. Frente a valores incluso superiores a 100 para el período 1900-1959, a partir de esa fecha el ratio se sitúa en la gama 13,4-41,8. Si además se elimina el efecto que producen en la década de los ochenta los dos accidentes reflejados como extraordinarios, la gama quedaría reducida a 13,4-20,9. Al igual que sucedía al analizar la evolución del número de muertos por décadas, este ratio elevado en los accidentes antiguos viene principalmente originado por la baja representación de incidentes leves en el conjunto.

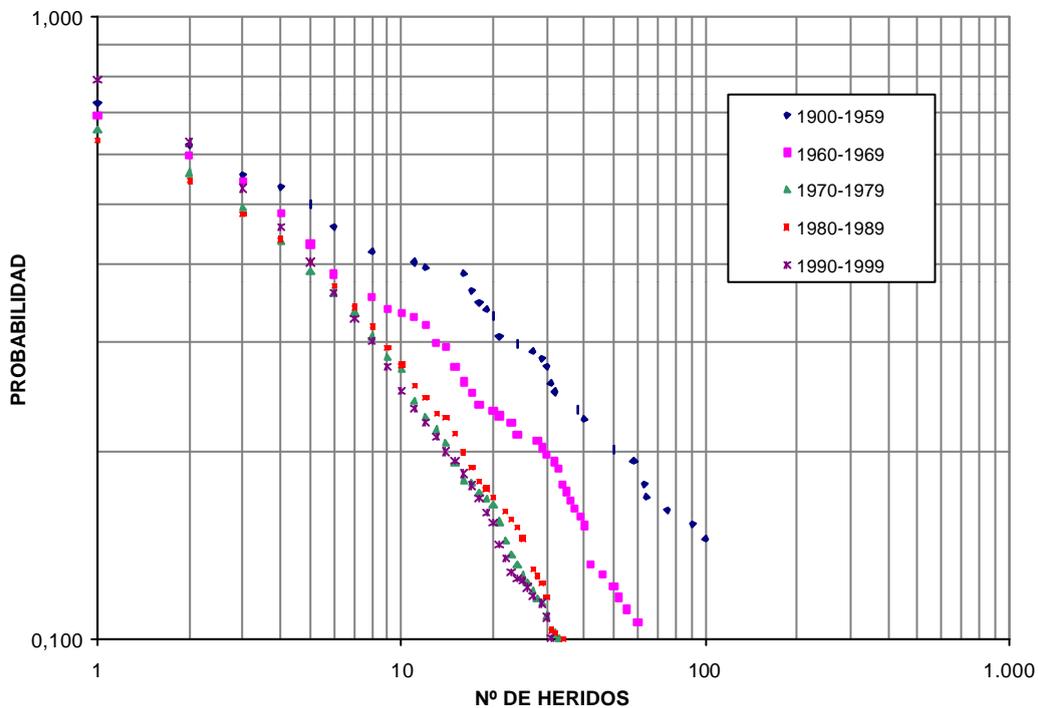
El primer tramo de las curvas p-N para el número de heridos por décadas se presenta en la Figura 4.5.

Tabla 4.5. Evolución del número de accidentes y del número de heridos por décadas.

DÉCADA	Nº DE ACCIDENTES (NA)	Nº DE HERIDOS (NH)	NH/NA
1900-1909	10	1.164	116,4
1910-1919	4	532	133,0
1920-1929	8	418	52,3
1930-1939	15	1.083	72,2
1940-1949	27	4.276	158,4
1950-1959	60	7.258	121,0
1960-1969	197	4.241	21,5
1970-1979	576	7.702	13,4
1980-1989	957	39.976	(1) 41,8
1990-1999	1.014	18.937	18,7
Total	2.868	85.587	29,8

(1) Si no se contemplan los accidentes AN 1098 y AN 2744, el nº de heridos es 19.978 y el ratio resulta ser 20,9.

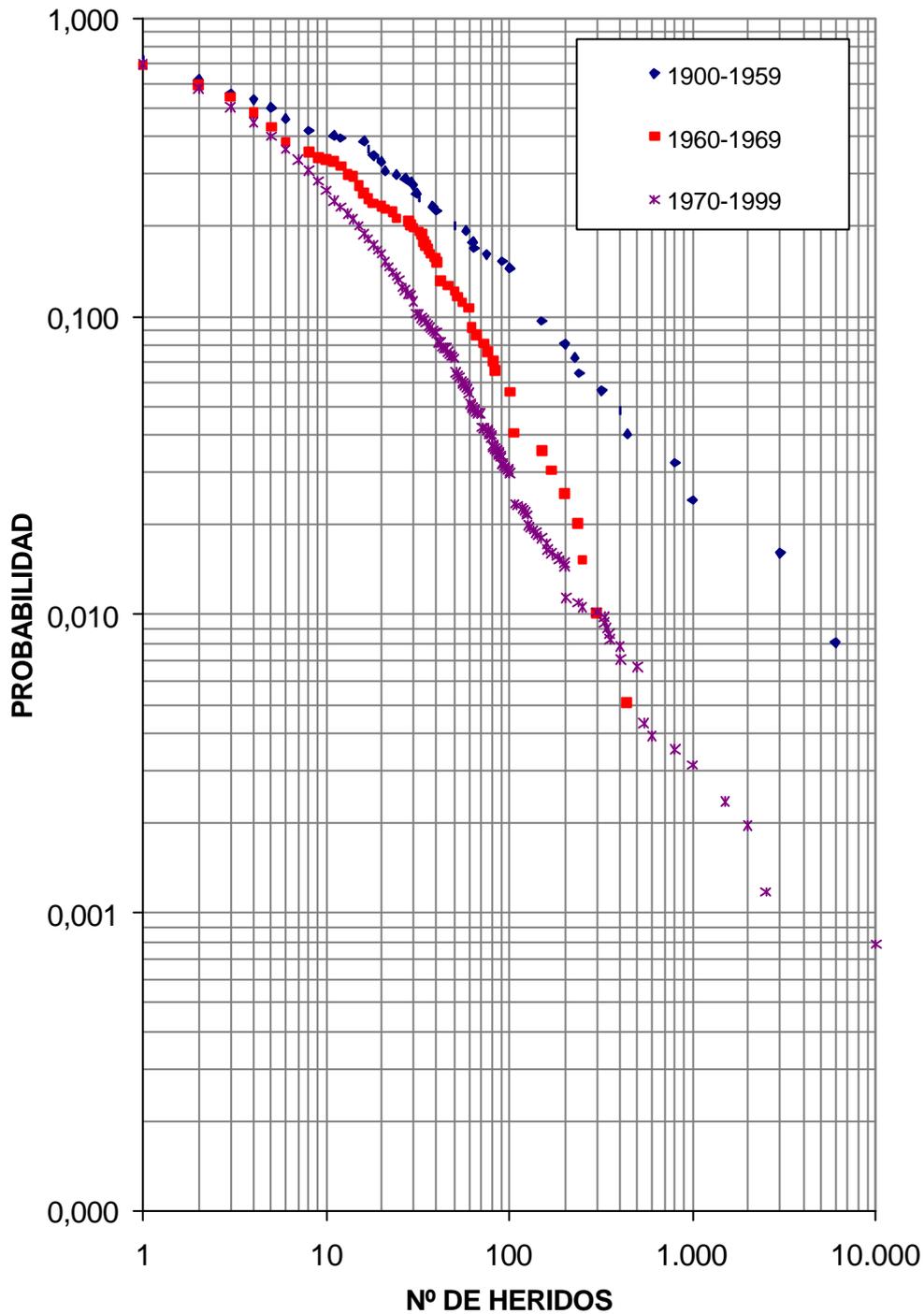
Figura 4.5. Curvas p-N para número de heridos por décadas (intervalo 0,1-1).



En este tramo de la curva es evidente que la proporción de accidentes sin heridos ha ido aumentando paulatinamente desde 1960 (el valor en $x=1$ se acerca al origen), salvo en la última década. Proceden aquí las mismas consideraciones que se han realizado en el apartado 4.3.1.

Puede observarse también que para accidentes que provocan entre 10 y 100 heridos se aprecian tres grupos claramente diferenciados: 1) accidentes ocurridos antes de 1959, 2) accidentes ocurridos entre 1960 y 1969 y 3) accidentes posteriores a 1969, ya que en este último caso resultan poco significativas las diferencias entre una y otra curva. La Figura 4.6 presenta las curvas p-N para estos tres grupos de accidentes.

Figura 4.6. Curvas p-N para el número de heridos en función del período de ocurrencia.

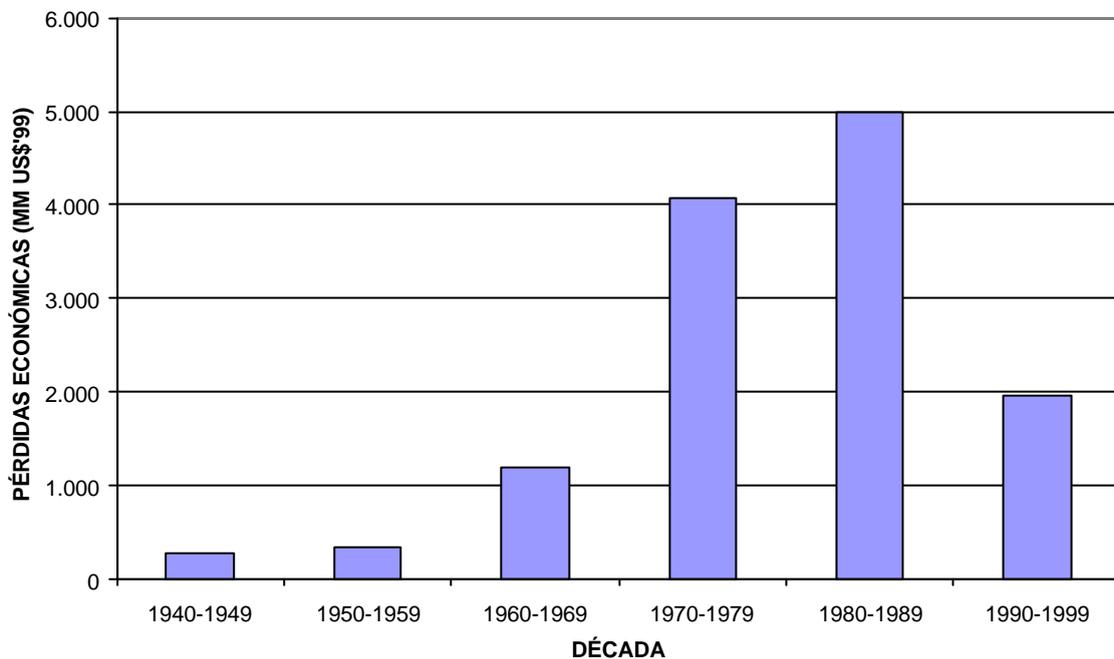


Puede identificarse que según estas curvas, la probabilidad de que el accidente no cause heridos ($x < 1$) prácticamente no ha variado, que las pendientes de las distintas curvas aumentan con los años (lo que indicaría que cada vez es más improbable un gran accidente (aproximadamente entre 10 y 200 heridos) y que los accidentes de carácter extraordinario (más de 200 heridos) han sido mucho más significativos en los últimos treinta años.

4.3.3. Evolución de las pérdidas económicas

En lo relativo a las pérdidas económicas derivadas de los accidentes con sustancias peligrosas, la Figura 4.7 presenta los daños en millones de dólares USA (1999) acumulados por décadas.

Figura 4.7. Pérdidas económicas por décadas



La Tabla 4.6 indica el número de accidentes con datos no mancantes para la variable DAMAGE por década, los incrementos porcentuales en número de registros, los valores acumulados de esta variable y el ratio pérdidas por accidente.

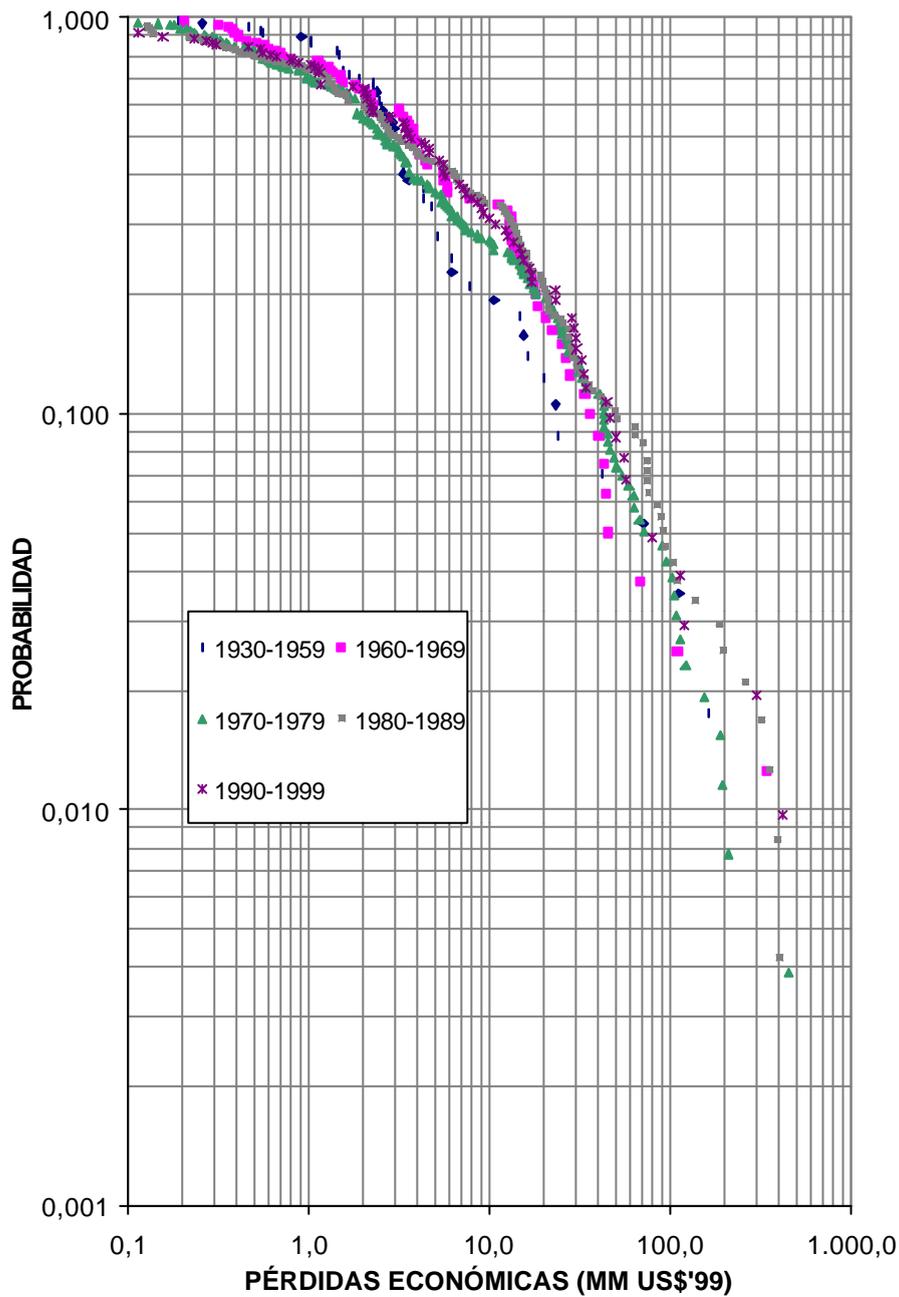
Tabla 4.6. Nº de accidentes y pérdidas económicas por décadas.

DÉCADA	Nº DE ACCIDENTES (NA)	D%	PÉRDIDAS ECONÓMICAS (MM US\$'99) (PE)	PE/NA
1930-1939	1	--	1,43	1,43
1940-1949	16	1.600	283,89	17,74
1950-1959	40	250	350,88	8,77
1960-1969	80	200	1.195,59	14,94
1970-1979	259	323	4.081,60	15,76
1980-1989	237	91	4.998,01	21,09
1990-1999	103	43	1.970,64	19,13
TOTAL	736	--	12.882,05	17,50

Dado el escaso número de registros informados en este campo hay que analizar estos datos con ciertas reservas. En el Capítulo 6 se presenta un estudio exhaustivo sobre la evolución de los daños materiales derivados de accidentes industriales con el tiempo. De ese estudio si que es posible inferir, con rigor estadístico, que la tendencia de las pérdidas económicas en los grandes accidentes industriales es creciente.

La Figura 4.8 muestra la curva p-N correspondiente a las pérdidas económicas por décadas.

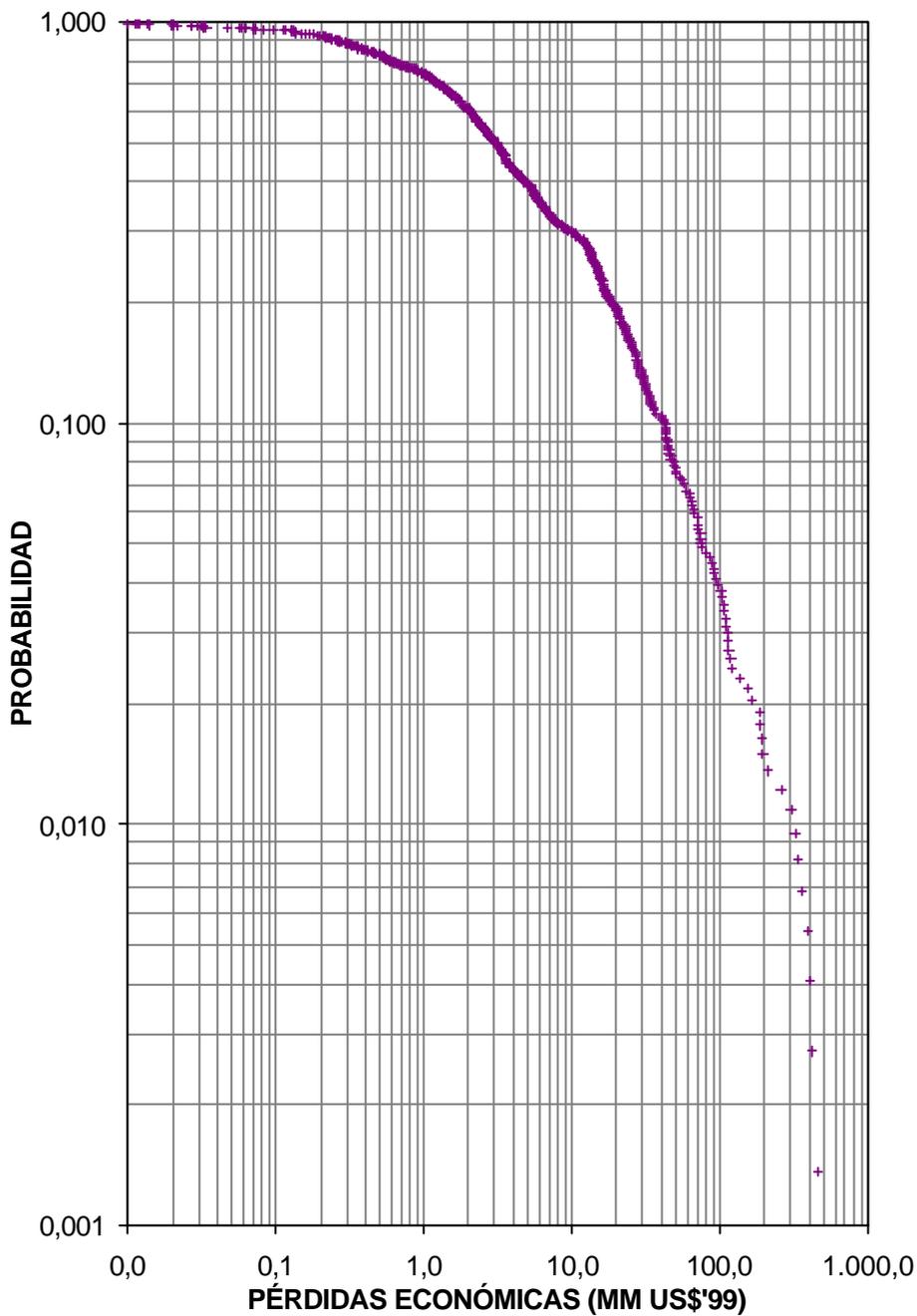
Figura 4.8. Curva p-N para las pérdidas económicas por décadas.



En este caso, al tratarse de una variable continua, el eje de abscisas no se inicia necesariamente en $x = 1$ y todas las curvas empiezan en $y = 1$, con una pendiente inicial muy reducida entre $x=0,001$ y $x=0,1$, por lo que ese tramo de la curva no se

muestra en la Figura 4.8. Las pendientes correspondientes a cada década son muy similares y tan sólo cabe apreciar un pequeño pero paulatino incremento en la probabilidad de accidentes más graves. La Figura 4.9 presenta una curva p-N para esta variable DAMAGE única para todos los accidentes registrados en MHIDAS, independientemente de la fecha de ocurrencia.

Figura 4.9. Curva p-N para la variable DAMAGE (global).



Según esta misma curva, de ocurrir un accidente con sustancias peligrosas, se superarán los cien millones de US\$ en pérdidas en un 4% de las ocasiones.

4.4. DISTRIBUCIÓN DE LOS ACCIDENTES POR PAÍSES

El campo LOCATION de la base de datos MHIDAS permite identificar la localidad, región y estado en el que se produce el accidente. Los dos primeros, tienen escaso interés estadístico y únicamente permiten una mejor identificación del accidente referenciado.

La distribución de los accidentes registrados por estados no es, ni mucho menos, uniforme. De 133 países, con un total de 5.135 accidentes (hay 32 accidentes que no identifican el país de ocurrencia), los veinte países con un mayor número de accidentes registrados acumulan 4.381 accidentes (el 85,3 % del total). Se observa asimismo, una desproporcionada presencia de accidentes acaecidos en los Estados Unidos de América (1.619) o en el Reino Unido (1.513), influenciada por el hecho de que la entidad que gestiona la base de datos es inglesa.

En este apartado se lleva a cabo un análisis bivariante considerando la variable explicativa COUNTRY y las variables respuesta KILLED, INJURED y DAMAGE.

4.4.1. Distribución del número de muertos por países

En MHIDAS hay 2.199 accidentes con el número de muertos y el país de ocurrencia registrados. La Tabla 4.7 muestra el número de accidentes (en orden decreciente) por país de ocurrencia. Puede apreciarse la significativa presencia de países occidentales o desarrollados, en parte motivada por la mayor facilidad en la obtención de información.

Tabla 4.7. Distribución de los accidentes por países

PAÍS	Nº ACCTES.	Nº MUERTOS
USA	712	1.793
REINO UNIDO	393	356
ALEMANIA	153	933
JAPÓN	65	141
CANADA	64	71
INDIA (incluye Bhopal)	62	3.939
AUSTRALIA	55	51
ITALIA	50	1.089
FRANCIA	44	246
HOLANDA	39	165
CHINA	35	682
MEXICO	30	619
ESPAÑA	25	135
BRASIL	22	450
CIS	21	41
RUSIA	19	47
BELGICA	18	40
NORUEGA	18	28
PAKISTAN	17	266
SUDAFRICA	15	81

En contraposición, la Tabla 4.8 muestra la distribución de los accidentes por países en orden decreciente de número de muertos acumulado. En este caso puede apreciarse una presencia mayor de países en vías de desarrollo o subdesarrollados.

Tabla 4.8. Distribución de los accidentes por países (en orden decreciente del nº de muertos).

PAÍS	Nº ACCTES	Nº MUERTOS
INDIA (incluye Bhopal)	62	3.939
USA	712	1.793
ITALIA	50	1.089
ALEMANIA	153	933
CHINA	35	682
MEXICO	30	619
BRASIL	22	450
ARABIA SAUDÍ	9	359
REINO UNIDO	393	356
PAKISTAN	17	266
FRANCIA	44	246
VENEZUELA	11	227
HOLANDA	39	165
INDONESIA	11	160
JAPÓN	65	141
ESPAÑA	25	135
COREA	5	133
IRAN	6	117
COREA DEL NORTE	1	110
CUBA	2	100

La apreciación anterior se hace mucho más evidente en la Tabla 4.9, que representa la distribución por países (los veinte más significativos), ordenada ahora en función del ratio "número de muertos por accidente". De esta forma se pone de manifiesto que los accidentes más graves se han producido, de forma mayoritaria en países no desarrollados.

Tabla 4.9. Distribución del número de accidentes por países en orden decreciente del ratio número de muertos por accidente.

PAÍS	Nº ACCTES (NA)	Nº MUERTOS (NM)	NM/NA
COREA DEL NORTE	1	110	110,00
INDIA (incluye Bhopal)	62	3.939	63,53
CUBA	2	100	50,00
SENEGAL	1	41	41,00
MACAO	1	40	40,00
ARABIA SAUDÍ	9	359	39,89
AFGANISTAN	2	68	34,00
ALGERIA	3	87	29,00
COREA	5	133	26,60
POLONIA	4	91	22,75
ITALIA	50	1.089	21,78
VENEZUELA	11	227	20,64
MEXICO	30	619	20,63
BRASIL	22	450	20,45
RUMANIA	3	61	20,33
IRAN	6	117	19,50
CHINA	35	682	19,49
MOZAMBIQUE	1	19	19,00
YEMEN	2	38	19,00
PAKISTAN	17	266	15,65

Al agrupar los países en tres categorías en función de su grado de desarrollo tecnológico, los resultados obtenidos han sido los presentados en la Tabla 4.10. (Véase el Anexo 2 para conocer la asignación de países realizada).

Tabla 4.10. Distribución del número de muertos en función del nivel de desarrollo tecnológico

DESARROLLO	Nº DE ACCTES (NA)	Nº DE MUERTOS (NM)	NM/NA	GRAVEDAD RELATIVA
Desarrollados	1.733	5.308	3,06	1,00
En vías de desarrollo	169	2.491	14,74	4,81
No desarrollados	314	6.286	20,02	6,54
TOTAL	2.216	14.085	6,35	

Los accidentes con sustancias peligrosas ocurridos en países no desarrollados presentan una media de 20 muertos por accidente, frente a los 15 de los países en vías de desarrollo o los 3 de los países desarrollados.

Si se atribuye arbitrariamente una gravedad 1 a los accidentes en países desarrollados, es posible calcular una gravedad relativa, como la relación existente entre la gravedad en un país o conjunto de países concreto frente a la que se obtendría en un país del primer mundo. Así por ejemplo cabe afirmar que un accidente producido en un país subdesarrollado produce 6,5 veces más muertes más que el mismo accidente en un país desarrollado. Esto justifica y avala la utilidad y validez de las políticas de planificación del territorio seguidas en los países industrializados.

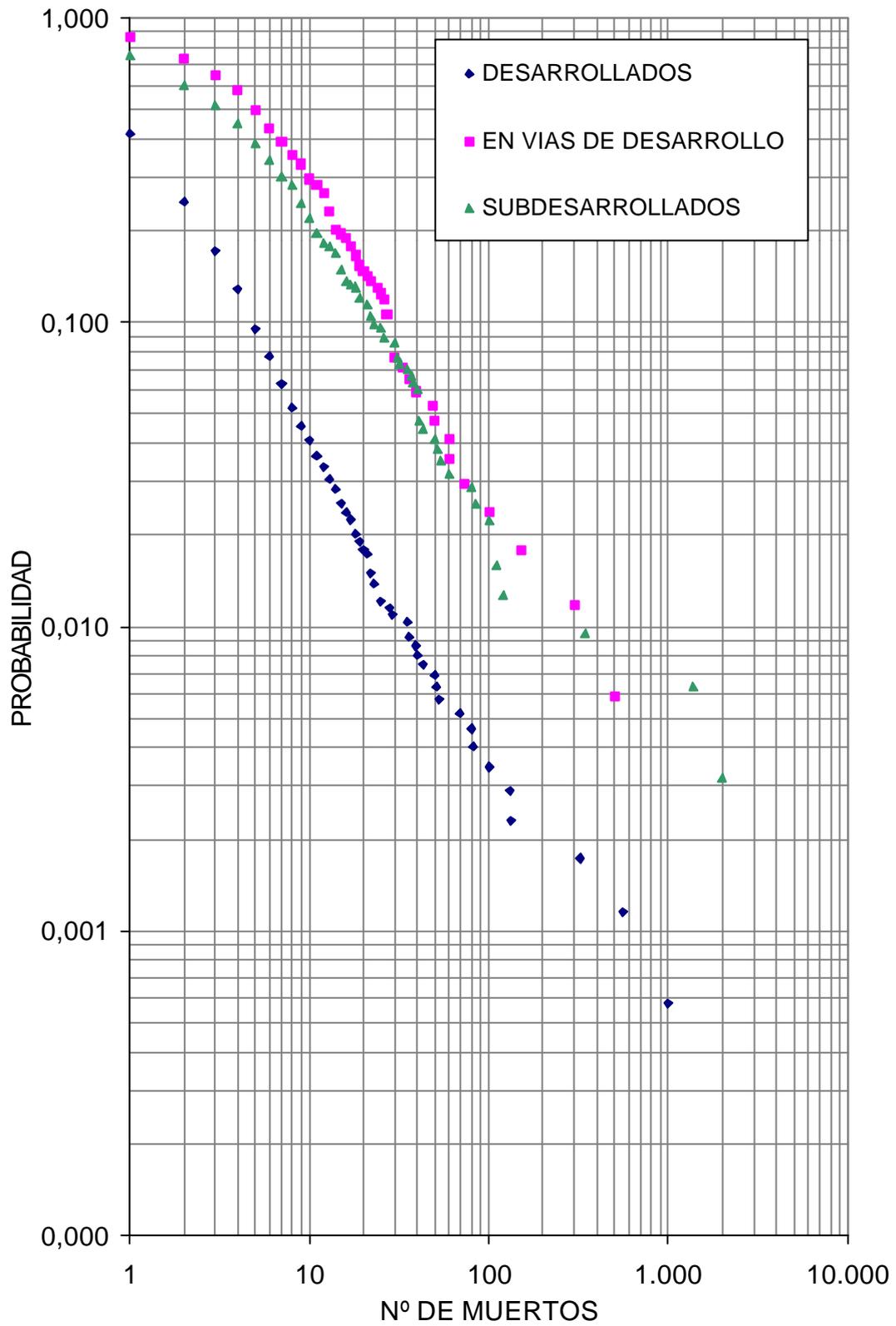
Con el fin de evaluar con qué probabilidad se puede alcanzar en un accidente un determinado número de muertos, se representan en la Figura 4.10 las curvas de probabilidad-número de muertos (p-N) de las tres categorías consideradas en la Tabla 4.10.

A la vista de estas curvas resulta evidente todo lo manifestado anteriormente. Los accidentes ocurridos en países no desarrollados son mucho más graves que los ocurridos en países adelantados tecnológicamente. Considerando, por ejemplo, la ordenada en el origen ($x=1$), la curva correspondiente a países desarrollados muestra que en un 60% de los casos no se producen muertos, frente a tan sólo un 15 o un 25% de los restantes países. También es cierto que en los primeros es más simple el acceso a la información sobre incidentes de consecuencias limitadas respecto a los restantes.

Asimismo, en sólo un 10% de los accidentes ocurridos en el primer mundo se ha superado la cifra de los cuatro muertos, mientras que en los restantes países, para este mismo porcentaje, se han producido entre 20 y 30 fallecidos por accidente.

A la vista de los extremos de las curvas (para $x>500$, por ejemplo) es también evidente que los acontecimientos más relevantes se producen en países del tercer mundo. Esta evidencia aumenta al tener en cuenta que los accidentes graves de países desarrollados son relativamente antiguos (Véase la Tabla 4.1).

Figura 4.10. Curvas p-N en función del nivel de desarrollo tecnológico del país de ocurrencia.



4.4.2. Distribución del número de heridos por países

Con relación a la variable INJURED, que recoge el número de heridos ocasionado en el evento, en MHIDAS se incluyen 2.868 registros con el país de ocurrencia y el número de heridos cumplimentados. Las consideraciones hechas en el apartado 4.4.1 anterior respecto a mayor presencia de accidentes de USA, UK y, en general, de países desarrollados, son aquí igualmente válidas.

La Tabla 4.11 presenta los países con un ratio "número de heridos por accidente" mayor de 50. Nuevamente la presencia de países no desarrollados resulta muy significativa.

Tabla 4.11. Distribución del ratio "número de heridos por accidente" por países.

PAÍS	Nº ACCTES (NA)	Nº HERIDOS (NH)	NH/NA
CHINA	30	12.296	409,87
SENEGAL	1	403	403,00
INDIA	63	16.091	255,41
ARABIA SAUDI	9	1.529	169,89
TUNEZ	1	150	150,00
MEXICO	36	5.028	139,67
TAIWAN	14	1.505	107,50
BRASIL	25	2.648	105,92
JAPÓN	73	7.382	101,12
JORDANIA	1	100	100,00
ECUADOR	3	238	79,33
AFGANISTAN	1	70	70,00
VENEZUELA	9	598	66,44
MALASIA	4	265	66,25
PAKISTAN	20	1.319	65,95
BAHRAIN	1	60	60,00
VIETNAM	2	106	53,00
YEMEN	2	101	50,50
IRAN	6	302	50,33
MACAO	1	50	50,00
MAURICIO	1	50	50,00

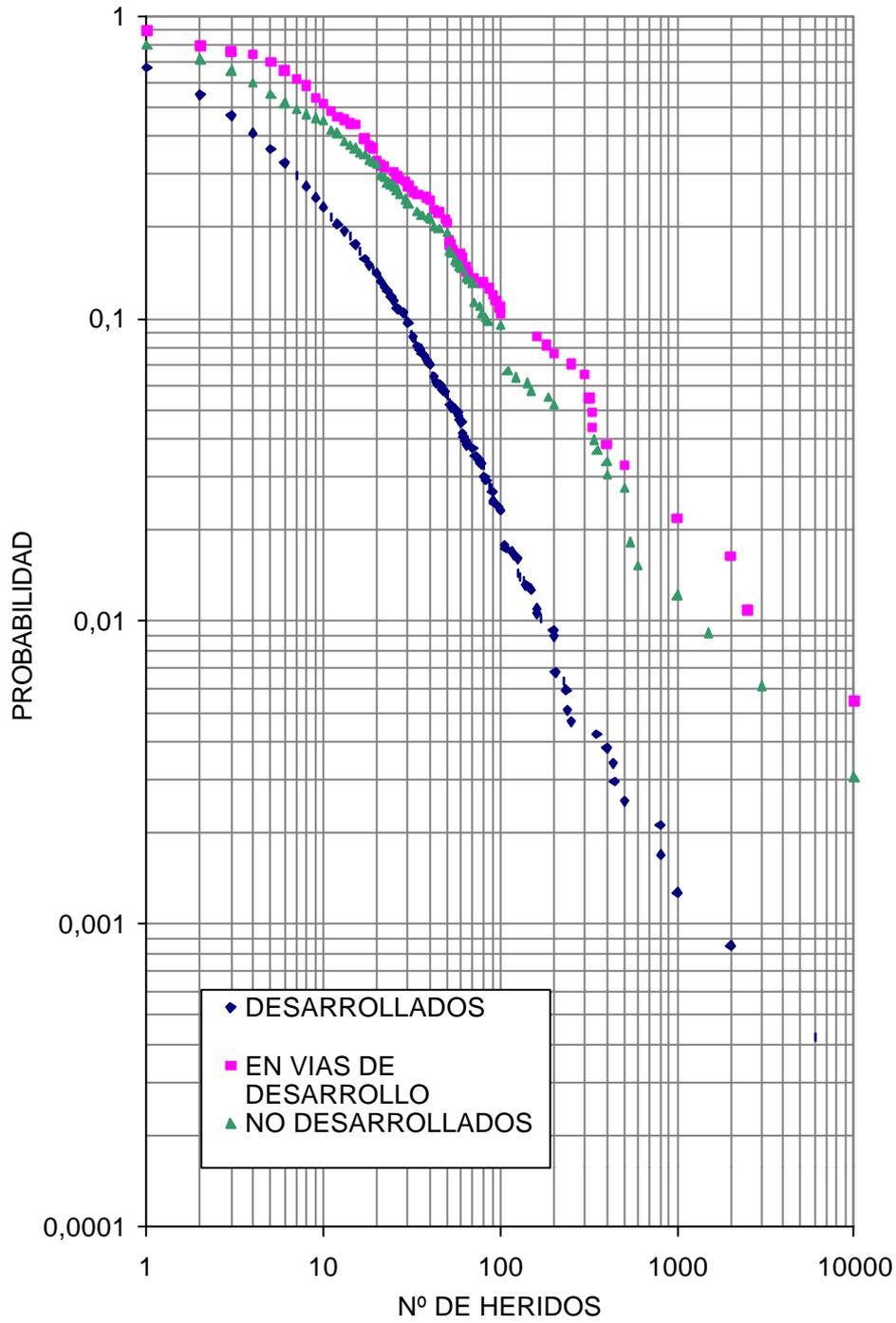
En la Tabla 4.12. se recogen los resultados obtenidos al agrupar los países según el mismo criterio utilizado en el apartado anterior. Resulta evidente también una mayor gravedad de los accidentes en países en vías de desarrollo o subdesarrollados frente a los del primer mundo en cuanto a número de heridos.

Tabla 4.12. Gravedad relativa de los accidentes en función del nivel de desarrollo.

GRADO DE DESARROLLO	Nº DE ACCTES (NA)	Nº DE HERIDOS (NH)	NH/NA	GRAVEDAD RELATIVA
Desarrollados	2.358	37.081	15,7	1,0
En vías de desarrollo	183	22.322	122,0	7,8
Subdesarrollados	327	26.184	80,1	5,1
TOTAL	2.868	85.587	29,8	

Esta misma apreciación puede hacerse en la Figura 4.11, que representa la curva p-N para el número de heridos según los mismos criterios descritos hasta ahora.

Figura 4.11. Curva p-N para el número de heridos por nivel de desarrollo.



4.4.3. Distribución de las pérdidas económicas por países

La distribución de los daños económicos por países adolece de excesivos datos mancantes; de hecho, de los 5.167 registros considerados de MHIDAS, sólo 754 tienen información suficiente para estimar esta distribución, acumulando un total de 12.971 millones de US\$'99 en pérdidas económicas. Además, su distribución por países se concentra en unos pocos (entre USA y UK acumulan el 57% de los casos y el 45% de las pérdidas registradas). La Tabla 4.13 muestra los países con mayor número de accidentes valorados presentes en MHIDAS. Sólo 10 países concentran el 80% de los casos registrados (y valorados) y acumulan el 72% de las pérdidas totales y la mayoría de ellos corresponden al denominado primer mundo o mundo industrializado.

Tabla 4.13. Distribución del número de accidentes valorados por países.

PAÍS	Nº DE ACCTES. (NA)	DAÑOS ECONÓMICOS (mill US\$'99) (DE)	DE/NA
USA	315	5.268,1	16,72
REINO UNIDO	117	621,8	5,31
ALEMANIA	54	1.120,9	20,76
CANADA	32	417,0	13,03
HOLANDA	23	335,3	14,58
FRANCIA	20	586,6	29,33
AUSTRALIA	17	154,7	9,10
BÉLGICA	11	525,5	47,77
MÉXICO	10	40,2	4,02
ITALIA	8	325,3	40,67
TOTAL	607	9.494,4	15,64

NOTA: La tabla muestra los diez países con mayor número de accidentes valorados.

A pesar de que hay países con valores muy superiores del ratio "pérdidas económicas por accidente", no resultan significativos debido al escaso número de registros (normalmente uno) utilizados para el cálculo.

Con las reservas indicadas, la Tabla 4.14 agrupa los accidentes en función del nivel de desarrollo de los países considerados.

Tabla 4.14. Pérdidas económicas en función del nivel de desarrollo.

GRADO DE DESARROLLO	Nº DE ACCTES (NA)	DAÑOS (MM US\$'99) (DE)	DE/NA
Desarrollados	637	10.902,4	17,1
En vías de desarrollo	43	540,1	12,6
No desarrollados	74	1.529,2	20,7
TOTAL	754	12.971,7	17,2

Puede apreciarse la concentración de registros en la primera categoría y la relativamente reducida diferencia en el ratio de cada una de ellas.

Dada la escasa representatividad de las categorías "en vías de desarrollo" y "no desarrollados" no tiene sentido alguno discriminar en función de esta variable, por lo

que la curva p-N que podría obtenerse (única) es la misma que se ha presentado en la Figura 4.9.

4.5. GRAVEDAD DE LOS ACCIDENTES EN FUNCIÓN DEL ESTADO FÍSICO DE LA SUSTANCIA

El campo Material Type (MT) de MHIDAS permite conocer el estado físico en el que se encuentra la sustancia. Para realizar el presente análisis se han agrupado todas las categorías según el criterio que se resume en la Tabla 4.15. Cuando en un accidente han participado sustancias en estados físicos diferentes, se ha categorizado como 'VARIOS' a los efectos de este análisis.

Tabla 4.15. Reclasificación del estado físico de las sustancias

CLAVE	ESTADO FÍSICO	ESTADO FÍSICO ORIGINAL
SÓLIDO	SÓLIDO	SOLIDO
LÍQUIDO	LÍQUIDO	LIQUIDO DISOLUCIÓN LÍQUIDO SOBRECALENTADO SUSPENSIÓN
GAS	GAS	GAS GAS LICUADO REFRIGERADO GAS LICUADO
PLGAS	GAS LICUADO A PRESIÓN	GAS LICUADO A PRESIÓN
POLVO	POLVO	POLVO

4.5.1. Número de muertos en función del estado físico de las sustancias

La Tabla 4.16 muestra la distribución del número de accidentes y del número de muertos en función de los estados físicos de las sustancias.

Tabla 4.16. Distribución del nº de accidentes y de muertos según el estado físico de las sustancias.

ESTADO FÍSICO	Nº DE ACCTES. (NA)	Nº DE MUERTOS (NM)	NM/NA
POLVO	65	1.483	22,82
SÓLIDO	227	4.811	21,19
VARIOS	74	304	4,11
LIQUIDO	876	3.577	4,08
PLGAS	332	1.248	3,76
GAS	394	1.352	3,43
TOTAL	1.968	12.775	6,49

De la misma tabla resulta relevante que el estado físico más frecuente es el estado líquido (también es el más frecuente en las operaciones en planta química). Sin embargo, y con diferencia, las sustancias en estado físico sólido o polvo acumulan la mayor parte de las víctimas, presentando un ratio muy superior a los restantes tipos. De hecho, esto sucede así debido a que la mayoría de las sustancias sólidas o en polvo son sustancias explosivas (existe una elevada correlación entre esta variable y la variable MHEX). La Tabla 4.17 muestra los accidentes más graves (en orden decreciente de número de fallecidos) producidos por sustancias en estado sólido o pulverizadas. Como puede apreciarse, en la totalidad de estos registros las sustancias

causantes son explosivos, con una presencia notable de los explosivos convencionales.

Tabla 4.17. Principales accidentes con sustancias en estado sólido o polvo.

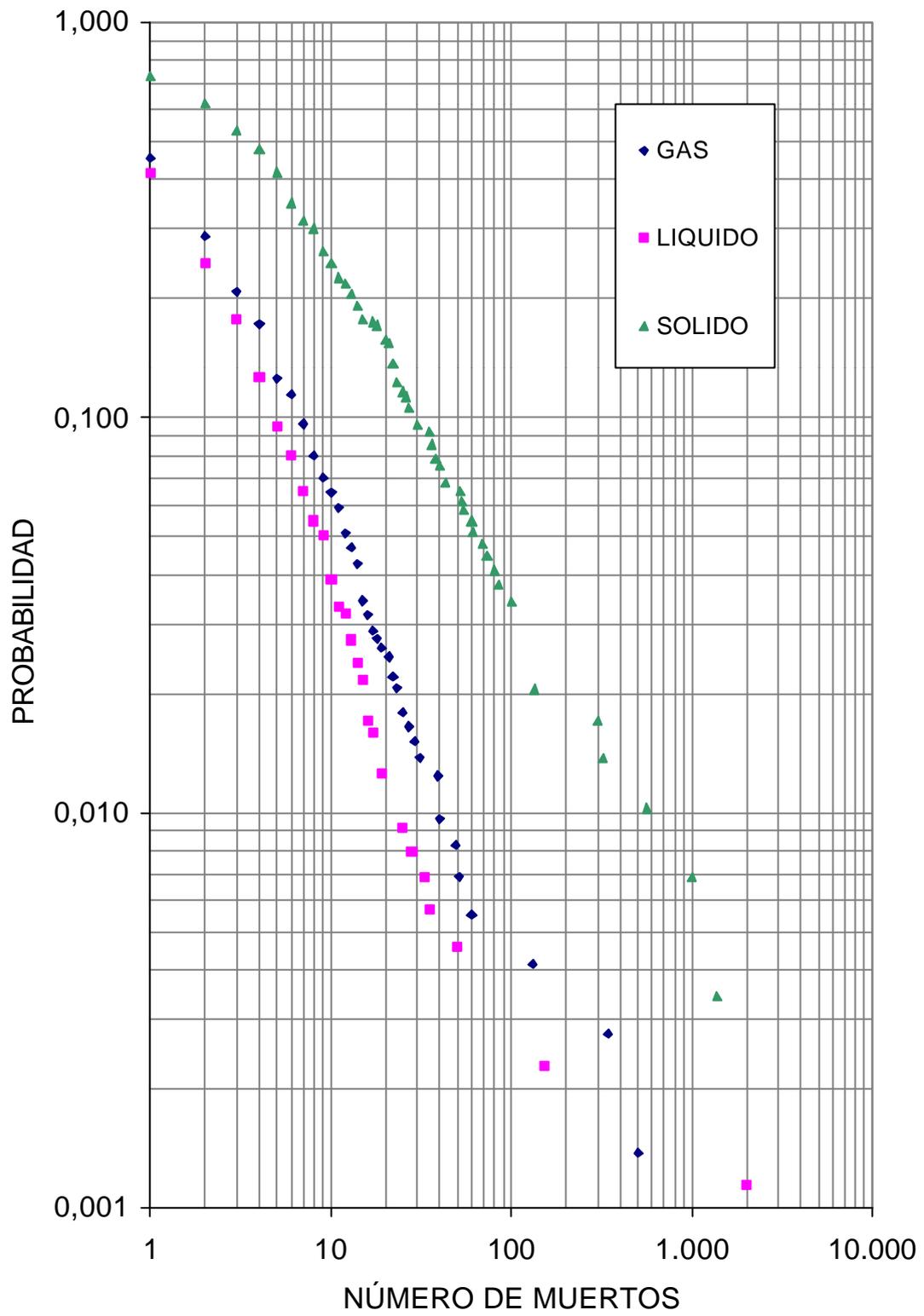
AN	SUSTANCIA	Nº DE MUERTOS
1954	DINAMITA	1.377
8209	POLVORA NEGRA	1.000
6844	NITRATO DE AMONIO	561
3831	TNT	321
3322	DINAMITA	300
8600	EXPLOSIVOS	133
7071	PÓLVORA	100
7678	DINAMITA	100
7767	MUNICIONES	100
7903	MUNICIONES	100
6499	MUNICIONES	85
4577	DINAMITA	80
2809	DINAMITA	73
159	TNT	69
8614	EXPLOSIVOS	61
844	DINAMITA	60
7636	MUNICIONES	54
7560	CARBONATO DE SODIO/TNT	53
7543	FUEGOS ARTIFICIALES	52
4213	PÓLVORA	43
3314	FUEGOS ARTIFICIALES	40
4054	FUEGOS ARTIFICIALES	40

De 292 accidentes con sustancias en estos estados físicos, 206 son sustancias explosivas y de un total de 6.294 muertos, 6.073 han sido producidos por sustancias explosivas. El ratio "nº de muertos por accidente" para sustancias sólidas o en polvo no explosivas, calculado con los 86 accidentes restantes, es de 2,57, inferior incluso a los de los otros estados físicos (Tabla 4.16).

La representación de las curvas p-N para cada categoría considerada muestra una gran similitud para las curvas correspondientes a las categorías GAS y PLGAS y para la de SOLIDO y POLVO. Por este motivo, en la Figura 4.12, estas tipologías se han considerado agrupadas, obteniéndose sólo tres curvas (GAS, LÍQUIDO y SÓLIDO). La curva para accidentes con sustancias de varios estados físicos resulta prácticamente un promedio de todas ellas y no es representativa.

La Figura 4.12 muestra claramente la mayor gravedad de los accidentes con sustancias sólidas para cualquier rango de número de muertos y un comportamiento paralelo de las curvas correspondientes a líquidos y gases, siendo estos últimos más graves que los producidos por sustancias líquidas.

Figura 4.12. Curvas p-N para los distintos estados físicos de las sustancias.



4.5.2. Número de heridos en función del estado físico de la sustancia

El comportamiento de esta variable es muy similar al de la variable KILLED anterior, si bien los ratios calculados no son tan dispares unos de otros. La Tabla 4.18 muestra el número de accidentes y de heridos en función del estado físico de la sustancia participante en el evento, junto al ratio "nº de heridos por accidente".

Tabla 4.18. Distribución del número de heridos según el estado físico de la sustancia.

ESTADO FÍSICO	Nº DE ACCTES (NA)	Nº DE HERIDOS (NH)	NA/NH
SÓLIDO	237	11.127	46,95
LÍQUIDO	1.133	39.211	34,61
VARIOS	99	3230	32,63
PLGAS	373	11.340	30,40
POLVO	87	2542	29,22
GAS	504	12.250	24,31
TOTAL	2.433	79.700	32,76

Sigue siendo evidente una mayor gravedad de las sustancias en estado sólido (no así para los sólidos en polvo) y un ratio general de 32 heridos por accidente.

La curva p-N obtenida para el número de heridos en función del estado físico de la sustancia se ha obtenido para los estados SÓLIDO, LÍQUIDO y GAS y se muestra en la Figura 4.13. Nuevamente se ha considerado oportuno agrupar las categorías PLGAS con GAS y SÓLIDO con POLVO, dado su comportamiento extremadamente similar.

Esta curva p-N sigue poniendo en evidencia la mayor gravedad de los accidentes con sustancias sólidas frente a las de estado gaseoso o líquido. Como en los casos anteriores, los puntos extremos de las curvas para $x > 1.000$ son poco representativos ya que cada uno de ellos se corresponde a un único accidente de carácter extraordinario.

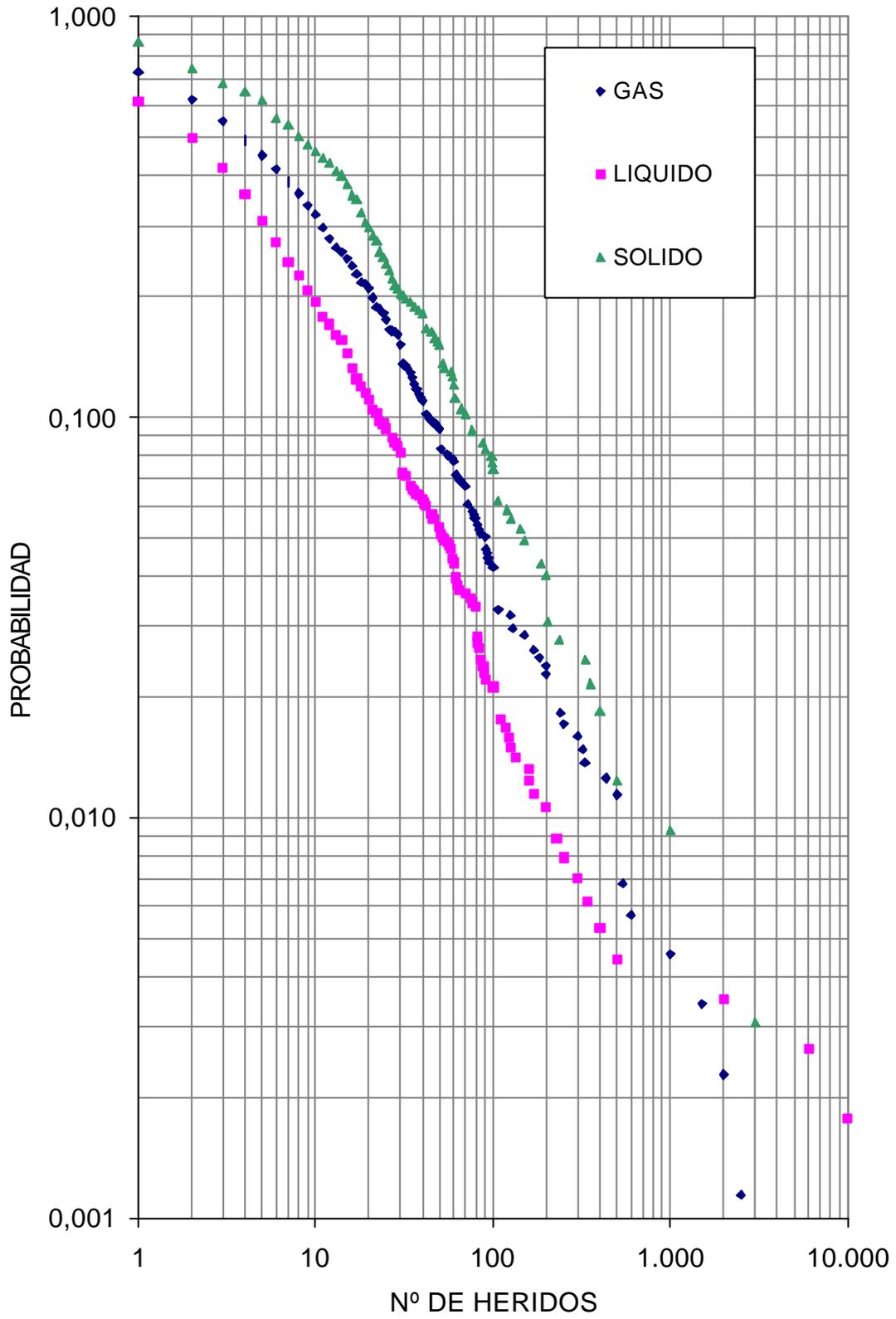
4.5.3. Daños económicos en función del estado físico de la sustancia

La Tabla 4.19 muestra la clasificación de los accidentes con daños económicos registrados en función del estado físico de la sustancia o sustancias que lo han originado. De los 655 accidentes disponibles, el 50% (339) corresponden al estado líquido ya que es el más frecuentemente utilizado en las instalaciones de tipo químico. Las restantes tipologías resultan escasamente representativas, con menos de 100 registros por clase.

Tabla 4.19. Daños económicos por estado físico.

ESTADO FÍSICO	Nº DE ACCTES. (NA)	DAÑOS ECONÓMICOS (MM US\$'99) (DE)	DE/NA
GAS	91	2.771,54	30,46
POLVO	35	973,84	27,82
PLGAS	92	1.598,21	17,37
LIQUIDO	339	5.880,05	17,35
VARIOS	41	558,68	13,63
SOLIDO	57	357,77	6,28
TOTAL	655	12.140,09	18,53

Figura 4.13. Curvas p-N para el número de heridas por estado físico de la sustancia.

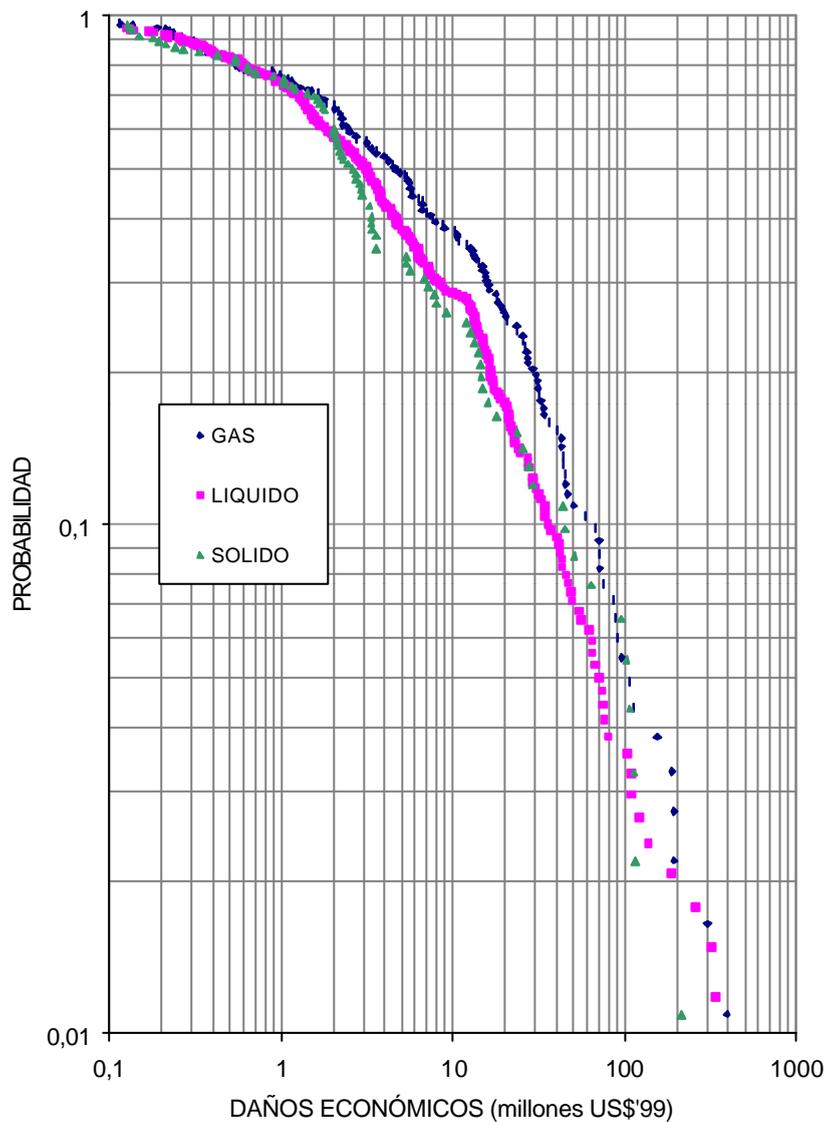


Destaca la diferencia existente entre los ratios correspondientes a GAS (30,5) y PLGAS (17,3). Asimismo, frente a lo observado en apartados anteriores, se da una escasa gravedad de la categoría SÓLIDO (6,3). Analizada la presencia de explosivos en esta clase, se observa que de los 57 registros disponibles, sólo 17 (29,8%) son explosivos.

Para la clase POLVO (con uno de los ratios más elevados), el 63% de los casos corresponden a sustancias explosivas, lo que evidencia una vez más la correlación existente entre esta categoría y la tipología de peligro MHEX que se analizará en el apartado siguiente.

Pese a la escasa representatividad de cada serie de datos, en la Figura 4.14 se representan las curvas p-N para las pérdidas económicas derivadas de los accidentes en función del estado físico de la sustancia.

Figura 4.14. Curvas p-N para los daños económicos en función del estado físico de la sustancia.



Puede apreciarse que la curva de la clase GAS está siempre por encima de las demás, poniendo de manifiesto su mayor gravedad relativa. Para el intervalo $0 < x < 2$ las pendientes de las curvas son muy similares, aunque a partir de ese punto la correspondiente a líquidos tiende a ser mayor (menos grave).

4.6. GRAVEDAD DE LOS ACCIDENTES SEGÚN LAS CATEGORÍAS DE PELIGRO DE LAS SUSTANCIAS INTERVINIENTES

El campo Material Hazard (MH) de MHIDAS, registra las categorías de peligro de las sustancias que intervienen en el accidente, clasificando este campo en ocho categorías, aunque con la posibilidad de combinar varias respuestas. Las citadas categorías son: corrosivo, explosivo, inflamable, tóxico, oxidante, almacenado por enfriamiento, asfixiante y radiactivo. Puede encontrarse una detallada explicación de cada categoría en el Anexo 2 de esta memoria. En general, salvo "enfriado" y "asfixiante", estas categorías tienen una clara correspondencia con los sistemas de etiquetado empleados en el transporte y en el uso de sustancias peligrosas (sistema de etiquetado de la UE de sustancias nuevas y preparados peligrosos) [BERENGUER 1998] [BERENGUER 1998-2] [DIGV 1995].

4.6.1. Número de muertos en función de la categoría de peligro de las sustancias

Analizando la variable KILLED en función de estas categorías de peligro, se han obtenido los resultados de la Tabla 4.20. Dado que una sustancia puede tener varias categorías y que en un accidente pueden intervenir varias sustancias, los totales no son acumulables.

Tabla 4.20. Número de muertos en función del tipo de peligro de la sustancia

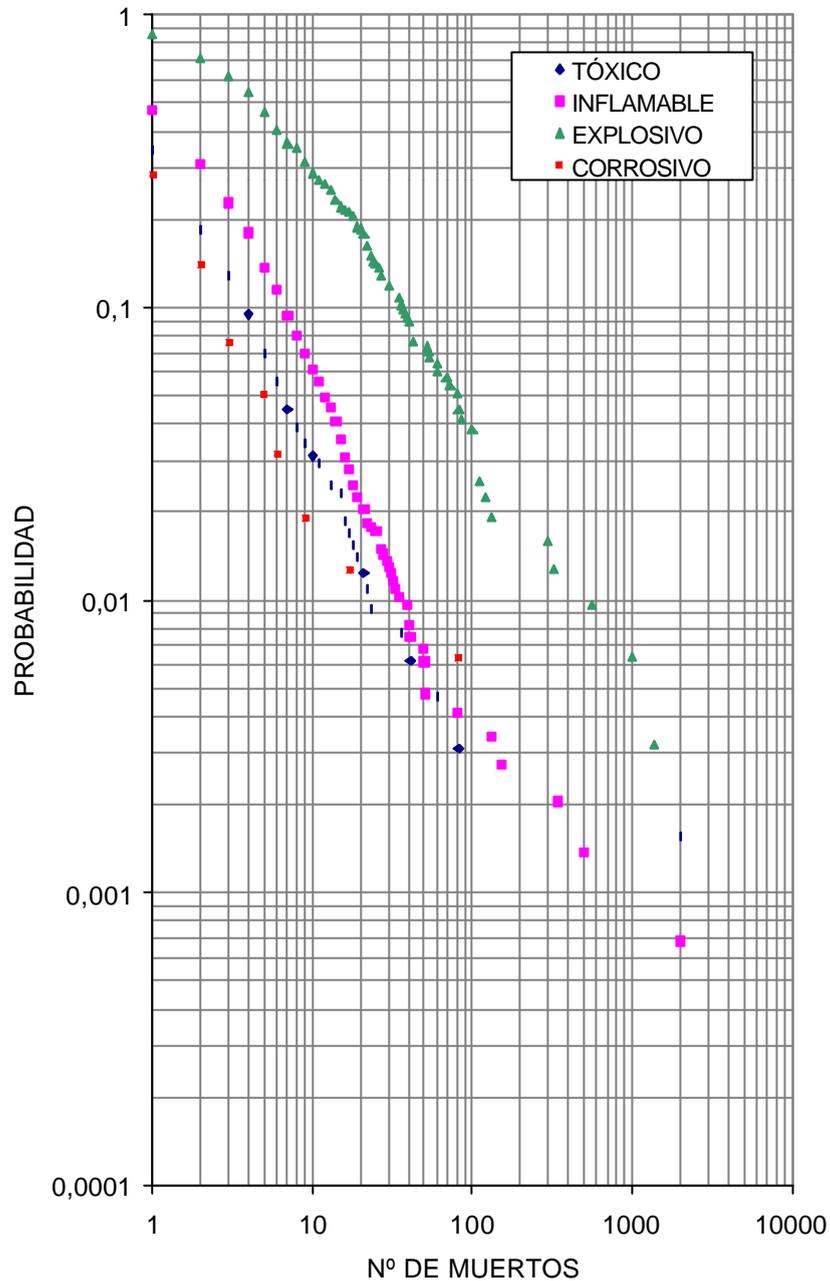
CATEGORÍA	Nº ACCTES.		NM/NA
	(NA)	(NM)	
EXPLOSIVO	313	7.149	22,84
ENFRIADO	15	227	15,13
OXIDANTE	101	846	8,38
ASFIXIANTE	9	59	6,56
TOXICO	645	2.919	4,53
INFLAMABLE	1.463	6.473	4,42
CORROSIVO	158	190	1,20
RADIATIVO	4	1	0,25

En lo relativo al número de registros de cada tipo, las sustancias inflamables y en menor medida las tóxicas y las explosivas, son las que de forma mayoritaria han intervenido en los accidentes. La presencia en la base de datos MHIDAS de sustancias asfixiantes o radiactivas es prácticamente nula.

Esta tabla evidencia de forma clara la mayor gravedad relativa de los accidentes con sustancias explosivas, con un ratio de 22 muertos por accidente, muy por encima del valor obtenido para sustancias inflamables (4,42), responsable del mayor número de accidentes.

La curva p-N para el número de muertos por categorías de peligro se muestra en la Figura 4.15.

Figura 4.15. Curva p-N para el número de muertos por categoría de peligro de la sustancia.



En la Figura 4.15 se pone de manifiesto de forma clara la mayor gravedad de los accidentes con sustancias explosivas. Asimismo, resulta relevante la gravedad de los accidentes con sustancias inflamables y la menor severidad de los producidos por sustancias tóxicas y/o corrosivas. Respecto a estas curvas, pueden hacerse las mismas consideraciones planteadas en epígrafes anteriores sobre la escasa validez o representatividad de los valores para $x > 500$, aproximadamente.

Resulta asimismo relevante que para el caso de sustancias explosivas, la probabilidad de que se produzca al menos un muerto se sitúa en el 85% de los casos, significativamente más elevada que para las restantes categorías.

4.6.2. Número de heridos por categoría de peligro de la sustancia

En lo relativo al número de heridos según la categoría de peligro de la sustancia interviniente en el accidente, los datos fundamentales se recopilan en la Tabla 4.21. Cabe recordar que los datos no son acumulables, ya que una misma sustancia puede estar clasificada hasta en tres categorías diferentes y además en cada accidente puede intervenir más de una sustancia.

Tabla 4.21. Nº de heridos por clase de peligro de la sustancia

CATEGORÍA	Nº ACCTES. (NA)	Nº HERIDOS (NH)	NH/NA
TOXICO	957	52.645	55,01
EXPLOSIVO	304	13.929	45,82
OXIDANTE	164	5.385	32,84
ENFRIADO	23	617	26,83
INFLAMABLE	1.769	34.185	19,32
CORROSIVO	316	5.802	18,36
ASFIXIANTE	17	202	11,88
RADIATIVO	4	30	7,50

La distribución de los accidentes por categorías es muy similar a la mostrada en la Tabla 4.20, siendo más representativas las sustancias inflamables, tóxicas, corrosivas y explosivas. En lo relativo a la variable respuesta, se produce un hecho significativo. Si la gravedad relativa de los accidentes con sustancias explosivas era la más elevada con relación al número de muertos, en el caso de los heridos, es la categoría de tóxicos la más relevante, con un ratio de 55 heridos por accidente.

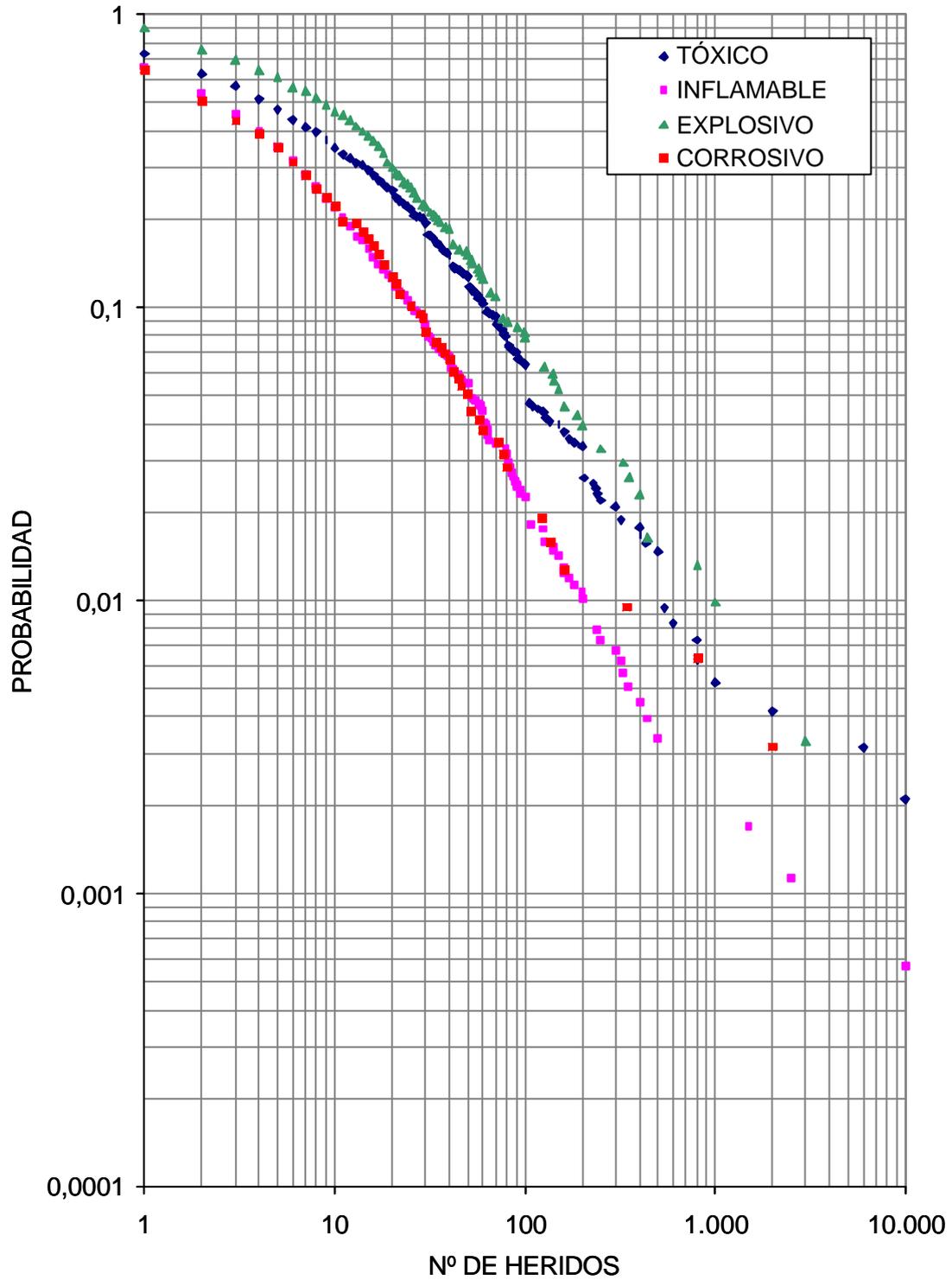
Este hecho, aunque significativo, no deja de ser previsible ya que mayoritariamente las sustancias tóxicas intervienen en accidentes por formación de nubes de gas, que incluso sin llegar a provocar efectos letales generalizados, sí que afectan a un número mucho mayor de personas. Los eventos por explosión, con efectos más limitados en el espacio, afectan en principio a un menor número de personas, aunque de una forma más severa.

Las restantes categorías presentan una distribución similar a la señalada en la Tabla 4.20.

La Figura 4.16 muestra la curva p-N para el número de heridos y para las distintas categorías de peligro con suficientes registros como para resultar significativas. Contrariamente a lo que a priori cabría esperar, la curva correspondiente a sustancias tóxicas se sitúa por debajo de la de sustancias explosivas en la mayor parte del rango de x considerado. Sin embargo, hay que destacar que en $x=10.000$, las sustancias tóxicas acumulan 20.000 heridos (accidentes AN 1098 y AN 2744) y que las sustancias explosivas tienen su máximo en 3.000 heridos (accidente AN 2091). Ello justifica que a pesar de mostrar menor severidad en el tramo $x < 2.000$, las sustancias tóxicas presenten un ratio de heridos por accidente superior al de las sustancias explosivas.

Cabe destacar también un comportamiento idéntico de las curvas correspondientes a sustancias inflamables y corrosivas en el rango hasta $x = 200$.

Figura 4.16. Curvas p-N para el número de heridos por categoría de peligro de la sustancia.



4.6.3. Pérdidas económicas según la categoría de peligro de la sustancia

Para el cálculo del ratio de daños económicos por accidente en función de la categoría de peligro de la sustancia tan sólo hay 737 registros de MHIDAS con información suficiente (campo MATERIAL HAZARD y DAMAGE informado). Los ratios obtenidos se muestran en la Tabla 4.22. Debe tenerse en cuenta que los datos no son acumulables por lo expuesto en apartados anteriores.

Tabla 4.22. Pérdidas económicas en función de la categoría de peligro de la sustancia.

CATEGORÍA	Nº ACCTES. (NA)	DAÑOS ECONÓMICOS (MM US\$'99) (DE)	DE/NA
ENFRIADO	7	163,47	23,35
EXPLOSIVO	64	1.192,42	18,63
INFLAMABLE	606	11.259,65	18,58
CORROSIVO	26	321,95	12,38
TÓXICO	136	1.518,41	11,16
OXIDANTE	34	345,55	10,16

Puede observarse que las categorías más frecuentes son INFLAMABLE, TÓXICO y EXPLOSIVO, siendo poco relevantes las restantes. Resulta significativo que, en contraposición a lo observado para las variables KILLED e INJURED, los ratios correspondientes a sustancias inflamables y explosivas son muy similares y en ambos casos muy superiores al correspondiente a las sustancias tóxicas. Ésta última circunstancia se debe a que los accidentes por sustancias tóxicas suelen presentarse como formación de nubes de gas, de mayor o menor letalidad, pero que se dispersan en la atmósfera sin causar necesariamente daños a las instalaciones.

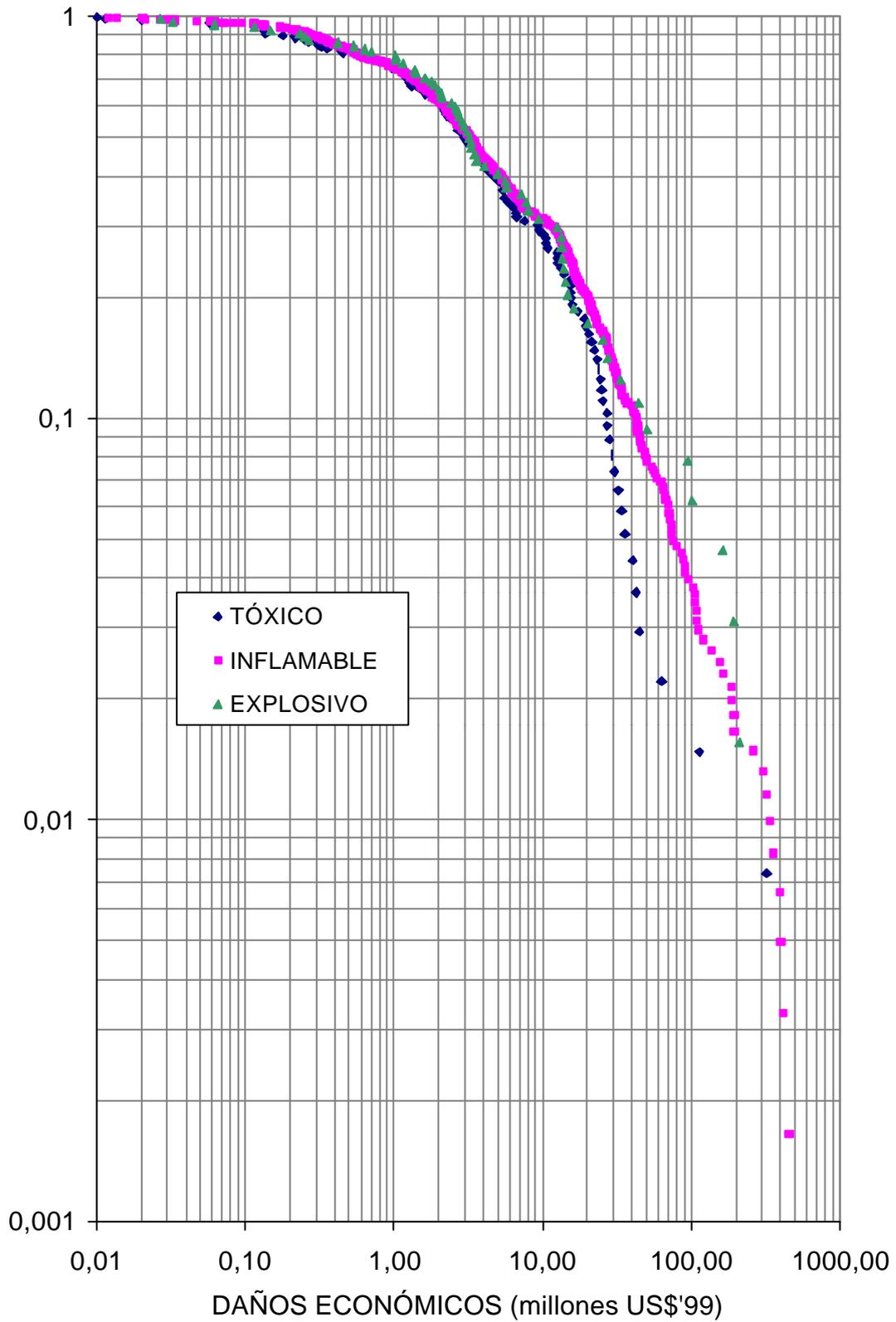
Las curvas p-N para las categorías relevantes se muestran en la Figura 4.17. Puede apreciarse que las tres curvas se comportan de forma muy similar en el intervalo $0 \leq x \leq 10$. A partir de $x = 10$, la curva asociada a sustancias explosivas se sitúa por encima de las otras y la que representa las sustancias tóxicas por debajo de la de inflamables que tiene un comportamiento "promedio", muy similar al genérico de la curva p-N mostrado en la Figura 4.9.

4.7. GRAVEDAD DE LOS ACCIDENTES SEGÚN EL TIPO DE INCIDENTE

El factor "Tipo de Incidente (IT)" de la base de datos MHIDAS recoge información sobre la forma en que se desarrolla el accidente. Para ello se dispone de cuatro categorías descriptivas fundamentales (fugas, derrames, explosiones e incendios) y una serie de descriptores secundarios que matizan o detallan el tipo de incidente primario (dardo de fuego, fuego en charco, BLEVE, explosión de nube de vapor no confinada,...). Tiene su importancia la secuencia en la que se describen los incidentes, ya que permite saber el orden cronológico de los eventos y establecer el árbol de sucesos asociado a un accidente.

En el Anexo 2 de esta memoria puede consultarse con detalle la reestructuración que de este campo se ha hecho. En este apartado, dada la complejidad de trabajar con los descriptores secundarios, se hace referencia, preferentemente, a los de tipo más general.

Figura 4.17. Curva p-N para la variable DAMAGE según el tipo de peligro de las sustancias.



4.7.1. Número de muertos en función del tipo de incidente

La Tabla 4.23 muestra los accidentes y el número de muertos correspondientes a cada una de las combinaciones de categorías principales antes citadas.

Tabla 4.23. Número de muertos en función del tipo de incidente.

TIPO DE INCIDENTE	Nº ACCTES. (NA)	Nº DE MUERTOS (NM)	NM/NA
Nube de gas-explosión	3	132	44,0
Explosión	388	6.332	16,3
Fuga-nube de gas	194	2.196	11,3
Incendio-explosión	154	1.617	10,5
Incendio-incendio	15	85	5,6
Explosión-incendio	425	2.040	4,8
Explosión-explosión	5	13	2,6
Fuga-explosión	53	137	2,5
Explosión-nube de gas	23	52	2,2
Explosión-fuga	19	40	2,1
Nube de gas-incendio	7	14	2,0
Incendio	302	564	1,8
Fuga	303	471	1,5
Fuga-incendio	115	112	0,9
Nube de gas	44	25	0,5
Incendio-fuga	17	8	0,4
Fuga-fuga	42	16	0,4
Incendio-nube de gas	28	1	0,0
Nube de gas-fuga	10	6	0,0
TOTAL	2.147	13.861	6,5

Puede apreciarse que de las diez categorías con un ratio de número de muertos por accidente mayor, ocho incluyen el evento explosión y que de entre ellas, el incidente desarrollado por formación de una nube de gas y su posterior explosión es, con diferencia, el más letal, aunque con una escasa representación en la base de datos (3 eventos). Evidentemente, cabe suponer que muchos incidentes identificados como un evento único (EXPLODE, FIRE, GASCLD o RELEASE), podrían detallarse más, de disponer de más y mejor información al respecto.

Agrupando los accidentes por las distintas combinaciones de los eventos secundarios, se obtiene el resultado mostrado en la Tabla 4.24. Existen otras muchas combinaciones, pero las incluidas en esta tabla son las que presentan un ratio más elevado. Puede verse que las categorías principales son las más utilizadas, lo que da una idea del nivel de detalle de la información aportada por este campo. Sin embargo un tratamiento más detallado de esta información, orientado a establecer las vías de desarrollo que puede tener un accidente a partir de una situación inicial, ha permitido obtener a algunos autores (Capítulo 6) árboles de sucesos cuantificados y de gran utilidad en estudios probabilísticos.

Tabla 4.24. Número de accidentes y de muertos en función del tipo de incidente secundario.

TIPO DE INCIDENTE	Nº DE ACCTES. (NA)	Nº DE MUERTOS (NM)	NM/NA
Explosión de nube densa	32	2.731	85,3
Explosión de nube densa-explosión	2	132	66,0
Fuga continua-nube de gas	31	2.002	64,6
Incendio-BLEVE	9	543	60,3
Explosión de nube densa- incendio	13	151	11,6
Explosión	328	3.480	10,6
Explosión de polvo-incendio	16	121	7,6
Incendio-explosión	138	989	7,2
Fuga instantánea	16	110	6,9
Explosión-incendio	384	1.713	4,5
Fuga-nube de gas	45	110	2,4
Incendio	302	564	1,9
Fuga continua	98	133	1,4
Fuga	187	228	1,2
TOTAL	1.601	13.007	8,1

En total, las categorías mostradas en la Tabla 4.24 recogen el 93,8% de los muertos totales y el 74,6% del total de accidentes. Obviamente, como en la Tabla 4.23, también aquí los eventos por explosión son los de gravedad más elevada.

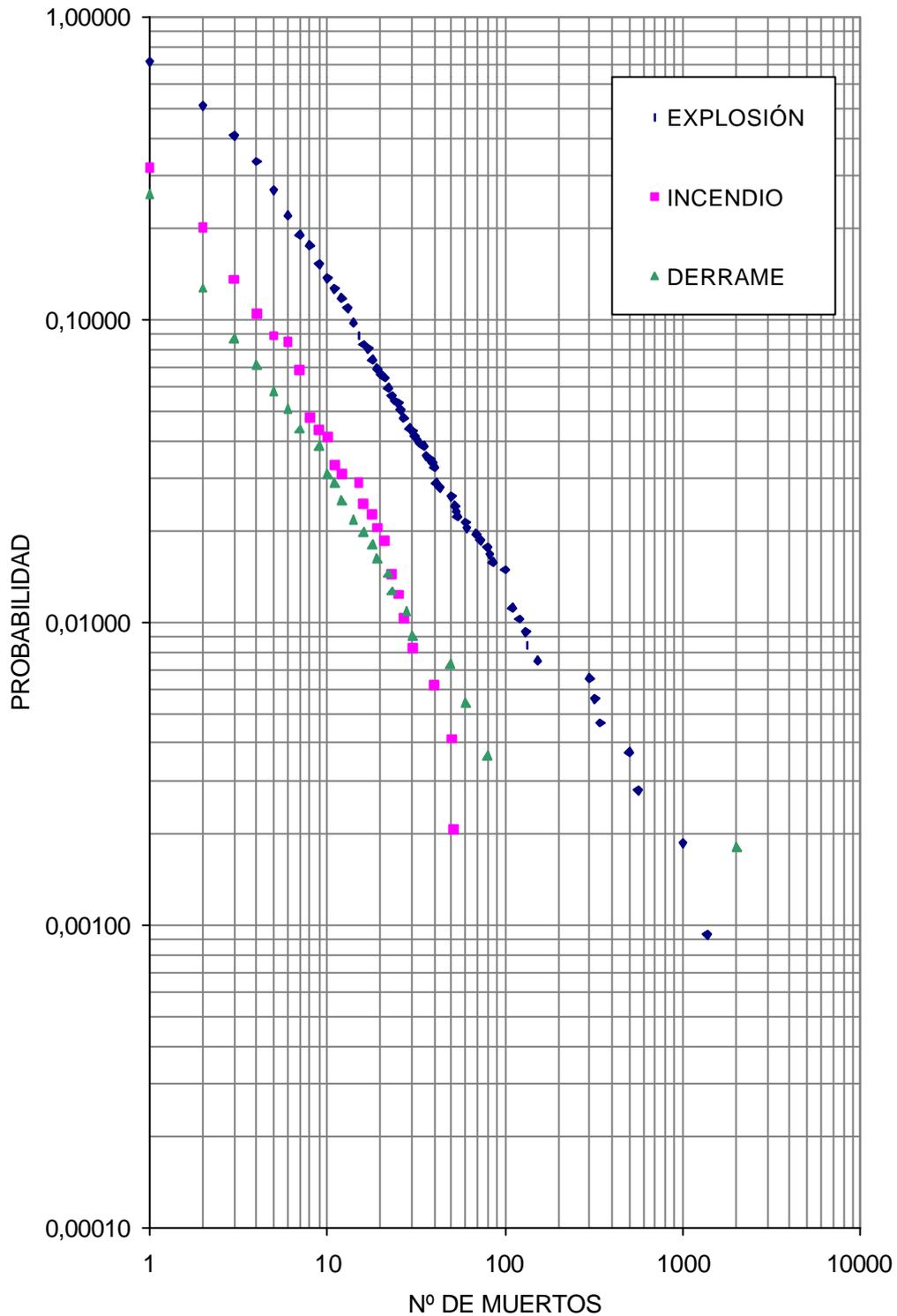
La Tabla 4.25 representa los mismos datos habiendo realizado una simplificación importante. Considerando que las explosiones son los eventos más destructivos, sea cual sea la combinación de eventos, se clasifica como explosión todo aquel cuya descripción incluya el código EXPLODE. Mediante igual razonamiento, se recodifica como incendio todo aquel accidente que, sin poseer el código EXPLODE, posea el código FIRE, se clasifican como derrame los que incluyan el código RELEASE o GASCLD únicamente y por último, se clasifican como nubes de gas aquellos que presentan el código GASCLD y no incluyen ninguno de los códigos anteriores.

Tabla 4.25. Número de muertos en función del tipo de incidente recodificado.

TIPO DE INCIDENTE	Nº DE ACCTES (NA)	Nº MUERTOS (NM)	NM/NA
EXPLOSION	1.070	10.363	9,7
DERRAME	549	2.689	4,9
INCENDIO	484	784	1,6
NUBE DE GAS	44	25	0,6
TOTAL	2.147	13.861	6,5

Según el mismo criterio de recodificación, la Figura 4.18 muestra las curvas p-N para las categorías EXPLODE, FIRE y RELEASE. La curva para GASCLD no se representa por contar únicamente con 44 casos y resultar por lo tanto poco significativa.

Figura 4.18. Curvas p-N para el número de muertos en función del tipo de incidente.



Es fácil observar que la curva correspondiente a la categoría EXPLODE se sitúa por encima de las demás en toda la gama de valores de x. Si bien de la Tabla 4.25 parece desprenderse que los accidentes por derrame son más graves que los producidos por

incendio (ratio 4,9 frente a 1,6) la curva de la categoría derrame se sitúa por debajo de la de incendio en todo el rango $x < 25$. El accidente de Bhopal, clasificado como RELEASE, es el que desvirtúa la representatividad del ratio (de no considerar este accidente, el ratio de la clase RELEASE sería de 1,25).

Respecto a las categorías secundarias, resulta inviable hacer una representación gráfica de las curvas p-N, dada la gran dispersión de combinaciones.

4.7.2. Número de heridos en función del tipo de incidente

La Tabla 4.26 muestra los accidentes y el número de heridos correspondientes a las categorías recodificadas según el criterio expuesto en el apartado anterior. Al igual que sucedía con la variable KILLED, el hecho de considerar o no los accidentes más relevantes modifica sustancialmente el ratio de afectados por accidente.

Tabla 4.26. Número de heridos en función del tipo de incidente recodificado.

TIPO DE INCIDENTE	Nº DE ACCTES. (NA)	Nº HERIDOS (NH)	NH/NA
GASCLD	317	21.778	68,7
RELEASE	622	25.609	41,2
EXPLODE	1.217	31.544	25,9
FIRE	621	5.524	8,8
TOTAL	2.777	84.455	30,4

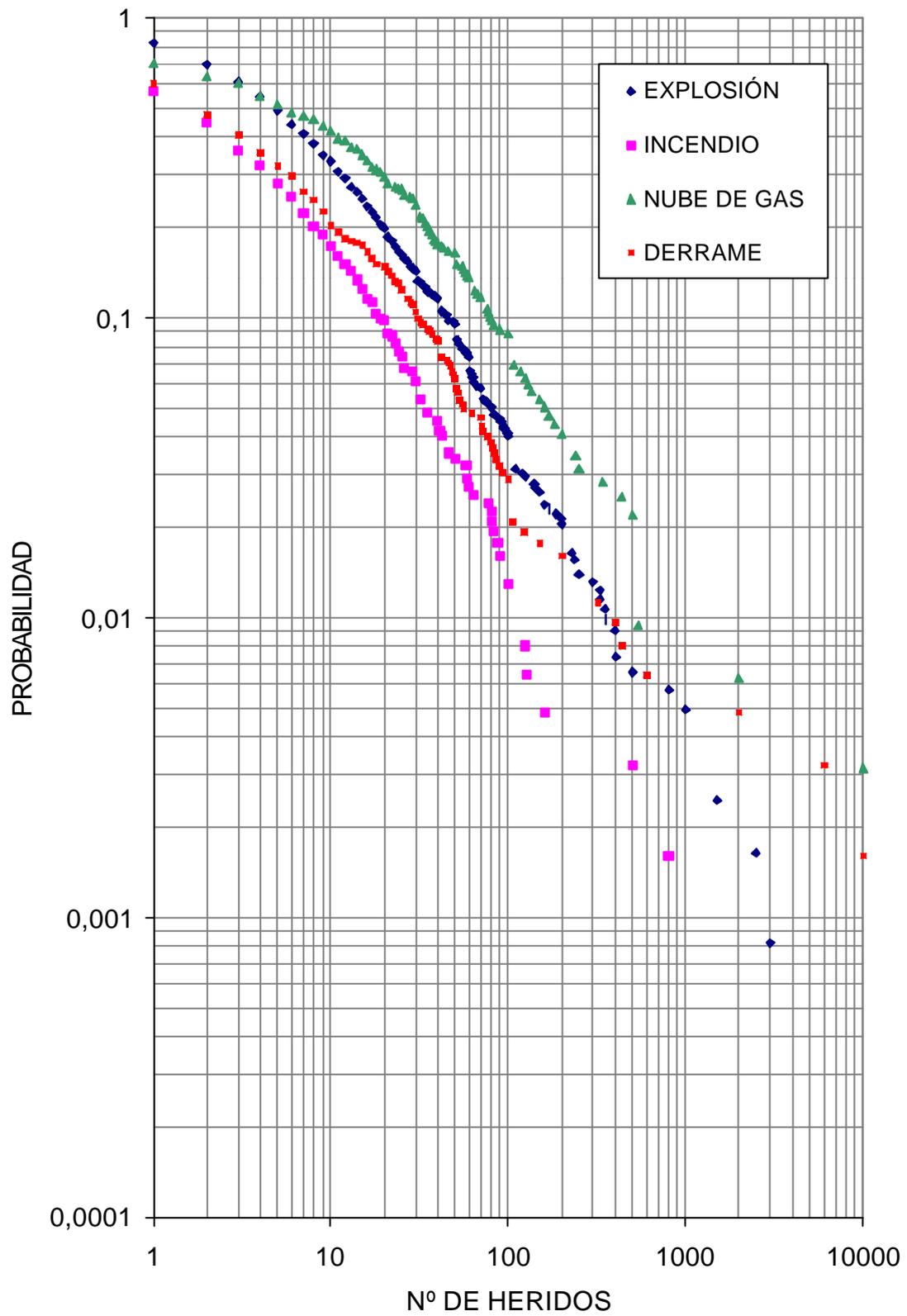
* El ratio para GASCLD sin considerar el accidente AN 1098 sería de 37,3 y el de RELEASE sin considerar los 9.999 heridos del accidente AN 2744 sería de 25,1.

Con las salvedades expuestas en la Tabla 4.26, y contrariamente a lo que sucedía con la variable KILLED (número de muertos), la categoría EXPLODE no es la que provoca un mayor número de afectados por evento. Caben aquí las mismas apreciaciones que se hacían en el apartado 4.6.2. respecto a la categoría TÓXICO. Los eventos por formación de nubes de gas, aunque con efectos, en general, menos letales, afectan a un mayor número de personas que los incidentes por explosión.

A la vista de los datos presentados en la Tabla 4.26, son previsibles los comportamientos de las curvas p-N correspondientes al número de heridos según el tipo de incidente. Así la curva GASCLD se sitúa por encima de las restantes, seguida de la correspondiente al conjunto EXPLODE. El comportamiento de las curvas para valores de $x > 1.000$ es poco representativo, dado el reducido número de casos registrados pero sin embargo contribuye significativamente a alterar el ratio de afectados por accidente.

Como en el caso de la curva p-N para sustancias explosivas, en los eventos por explosión la probabilidad de que se produzca al menos una víctima no mortal, es elevada (83%).

Figura 4.19. Curvas p-N para número de heridas por tipo de incidente principal.



4.7.3. Pérdidas económicas en función del tipo de incidente

La variable DAMAGE, actualizada mediante el índice Marshall & Stevens según se ha descrito anteriormente, permite obtener la Tabla 4.27 respecto a las pérdidas económicas producidas.

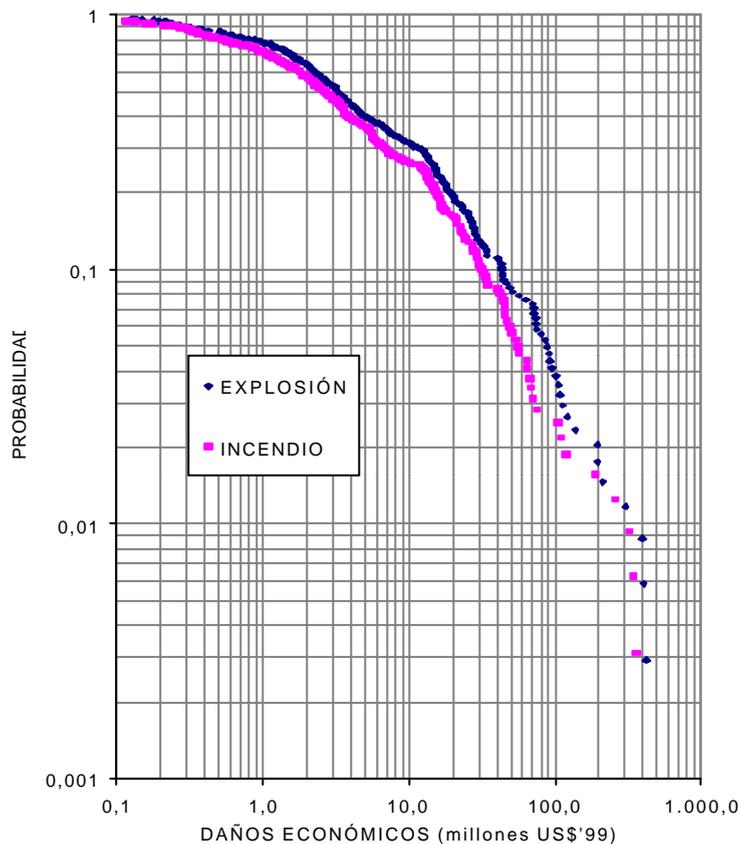
Tabla 4.27. Pérdidas económicas por tipo de incidente.

TIPO DE INCIDENTE	Nº DE ACCTES. (NA)	DAÑOS ECONÓMICOS (MM US\$'99) (DE)	DE/NA
RELEASE	41	1.402,8	34,2
GASCLD	18	367,8	20,4
EXPLODE	342	6.294,3	18,4
FIRE	320	4.479,8	14,0
TOTAL	721	12.544,9	17,4

Aunque las categorías RELEASE y GASCLD puedan aparecer como las más graves (ratio 34 y 20 respectivamente), el escaso número de eventos registrados permite asegurar que estos valores no son representativos. Para las categorías EXPLODE y FIRE es posible identificar una mayor gravedad en los eventos por explosión.

Las curvas p-N para la variable DAMAGE en función del tipo de incidente se muestran en la Figura 4.20. Se representan sólo las categorías EXPLODE y FIRE, por ser las que tienen un número de registros suficientemente significativo. De las curvas representadas se desprende una mayor gravedad de los eventos por explosión frente a los de incendio, en cuanto a pérdidas económicas se refiere.

Figura 4.20. Curvas p-N para la variable DAMAGE en función del tipo de incidente.



4.8. GRAVEDAD DE LOS ACCIDENTES SEGÚN EL TIPO DE ACTIVIDAD O INSTALACIÓN

El campo "Origen General (OG)" de la base de datos MHIDAS recoge información sobre la actividad desarrollada en la instalación en la que se ha producido el accidente. Una descripción completa de las categorías que admite esta variable se puede consultar en el Anexo 2 de esta memoria.

4.8.1. Número de muertos en función del tipo de actividad

La Tabla 4.28 indica el número de accidentes y de muertos por categoría de la variable Origen General, ordenados de forma decreciente en función del ratio "muertos por accidente. Resulta significativo, de una parte, la mayor presencia de accidentes relacionados con actividades de proceso y de almacenamiento (y en menor medida, de operaciones de transferencia); de otra parte, es posible observar una gravedad similar para todas las categorías en el rango 4,6-8,9, destacando como ratios más elevados los correspondientes a las categorías DOM/COM (accidentes domésticos o comerciales) o TRANSFER (transferencia de sustancias entre equipos). En ambos casos es razonable considerar una mayor presencia de personas en la zona del accidente que cuando éste se produce en los almacenamientos o en las zonas de proceso.

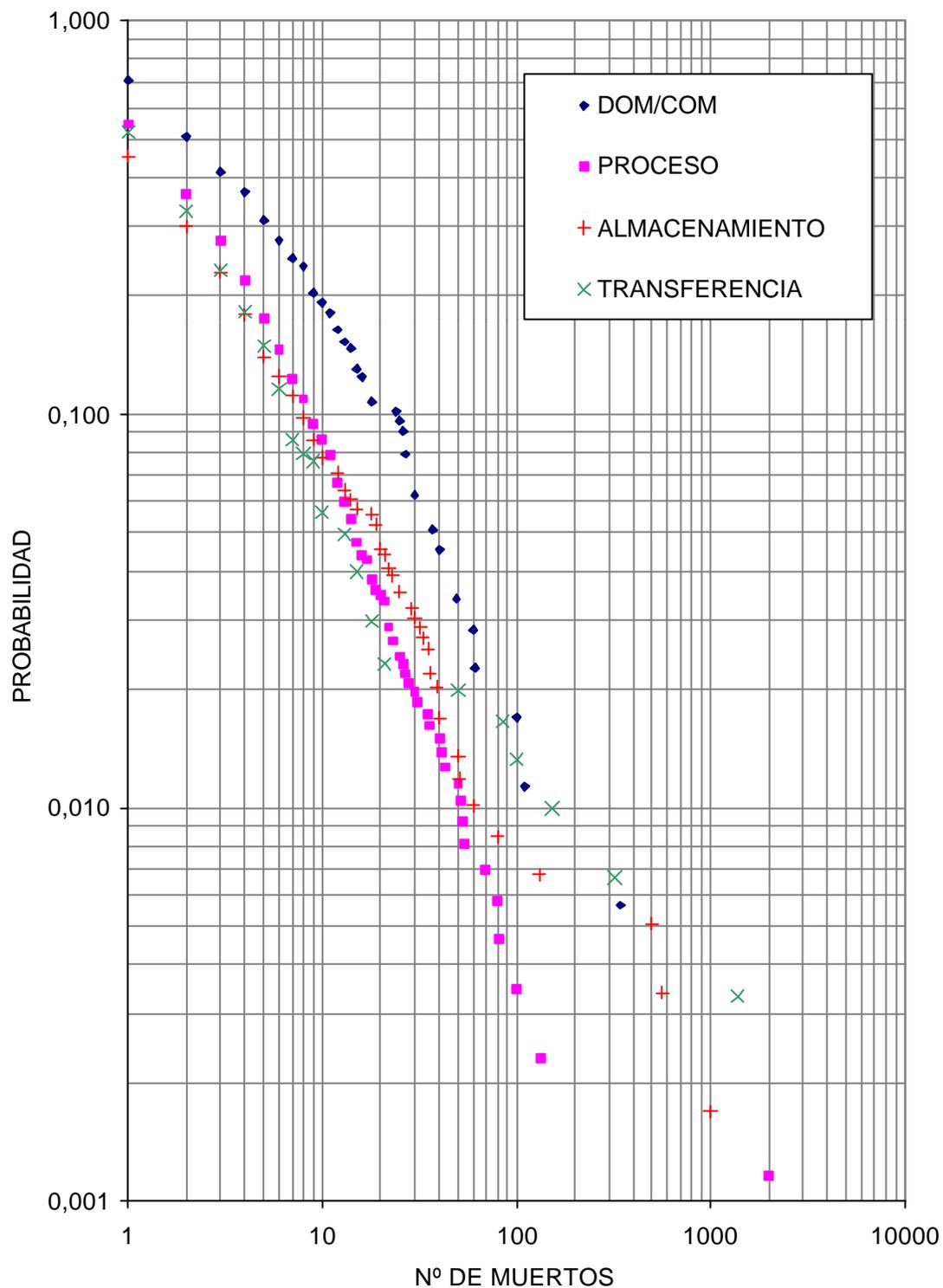
Tabla 4.28. Número de accidentes y de muertos en función del tipo de actividad.

CÓDIGO DE ACTIVIDAD	ACTIVIDAD	Nº DE ACCTES. (NA)	Nº DE MUERTOS (NM)	NM/NA
DOM/COM-	Comercial	177	1.568	8,86
TRANSFER-	Transferencia	302	2.628	8,70
STORAGE-	Almacenamiento	593	3.877	6,54
PROCESS-	Proceso	867	4.920	5,67
WAREHOUSE-	Nave almacén	104	484	4,65
WASTE-	Residuos	35	93	2,66
TOTAL		2.078	13.570	6,53

Las curvas p-N mostradas en la Figura 4.21 indican la mayor probabilidad de accidentes graves para los accidentes en actividades domésticas o comerciales en el rango $x < 100$ y un comportamiento muy similar de las restantes curvas en este rango, con una pendiente algo más pronunciada para la curva correspondiente a los accidentes en instalaciones de proceso.

Es significativo el cambio de pendiente que experimenta la curva p-N de los accidentes por transferencia de materiales a partir de aproximadamente $x = 20$, llegando a situarse por encima de las restantes curvas en $x = 150$.

Figura 4.21. Curvas p-N para el número de muertos según el tipo de actividad.



4.8.2. Número de heridos según el tipo de actividad

Para analizar esta distribución se dispone de 2.710 registros de accidente, aunque hay que considerar que la mayor parte de ellos (41%) pertenecen a la categoría PROCESS (proceso). Las más significativas, por número de registros, son las correspondientes a accidentes en instalaciones de proceso, almacenamiento (STORAGE), zonas domésticas o comerciales (DOM/COM) o procesos de transferencia de materiales (TRANSFER). En cuanto al número de heridos se refiere, es significativo el elevado ratio de la categoría TRANSFER (59,5) frente a valores inferiores a 27 para las restantes categorías con suficientes elementos significativos.

Tabla 4.29. Número de accidentes y de heridos en función del tipo de actividad.

CÓDIGO	ACTIVIDAD	Nº DE ACCTES (NA)	Nº HERIDOS (NH)	NH/NA
WASTE	Residuos	49	6.531	133,29
TRANSFER	Transferencia	340	20.242	59,54
WAREHOUSE	Nave almacén	136	3.749	27,57
PROCESS	Proceso	1.123	30.054	26,76
STORAGE	Almacenamiento	689	16.136	23,42
DOM/COM	Comercial	373	6.805	18,24
TOTAL		2.710	83.517	30,82

La distribución de las curvas p-N por categorías no tiene ningún efecto discriminante, solapándose unas con otras. Por este motivo, la Figura 4.22 muestra una única curva, correspondiente a la variable INJURED para la globalidad de los registros disponibles.

4.8.3. Daños económicos según el tipo de actividad

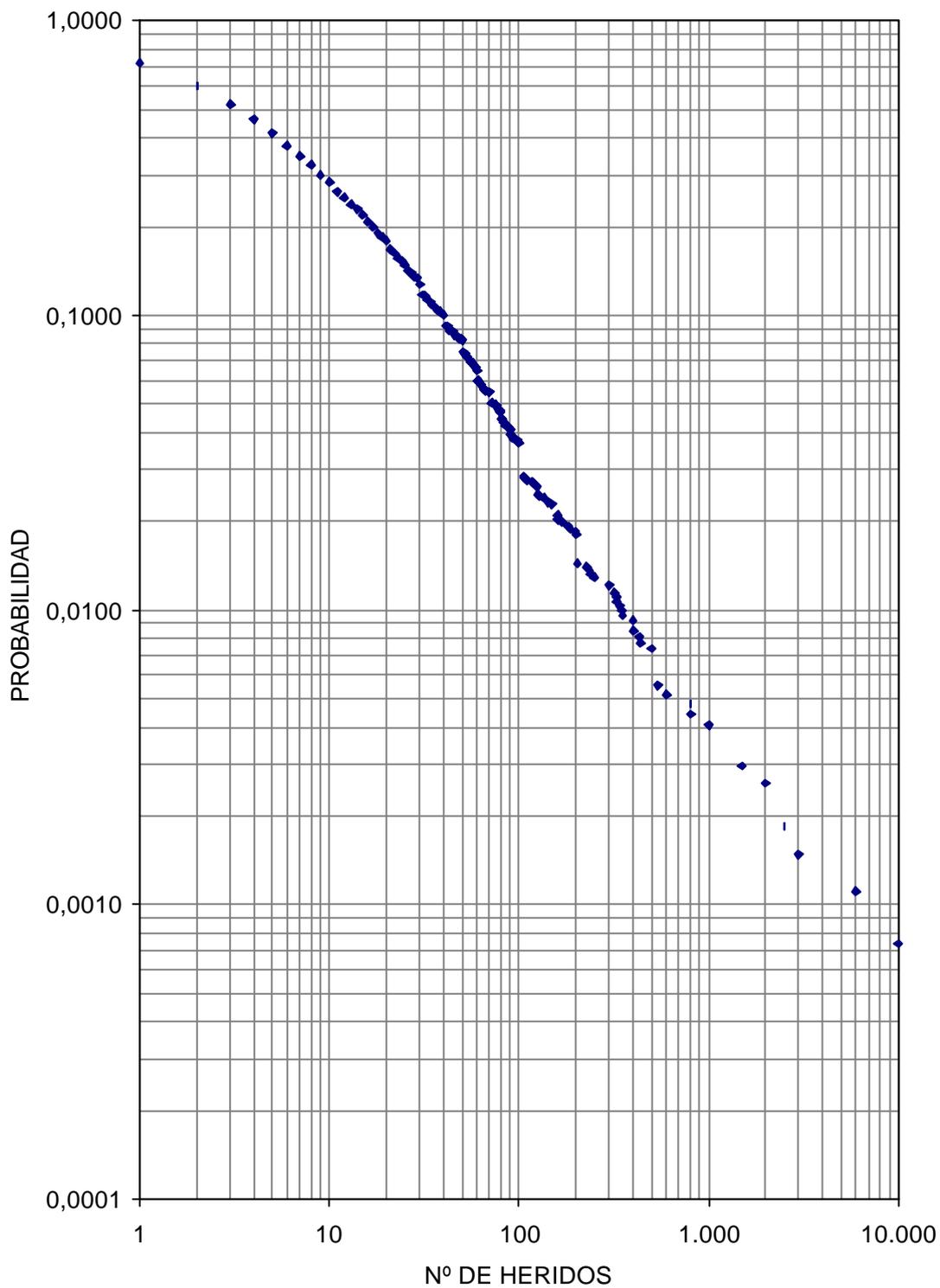
Para la variable DAMAGE, la distribución de los daños económicos por tipo de actividad permite obtener los resultados mostrados en la Tabla 4.30. Obsérvese que para este análisis se dispone únicamente de 717 registros.

Tabla 4.30. Número de accidentes y pérdidas económicas por tipo de actividad.

CÓDIGO	ACTIVIDAD	Nº DE ACCTES	DAÑOS ECONÓMICOS MM US\$'99	RATIO
STORAGE	Almacenamiento	198	4.086,23	20,64
PROCESS	Proceso	322	6.584,02	20,45
WASTE	Residuos	9	159,50	17,72
DOM/COM	Comercial	51	653,81	12,82
TRANSFER	Transferencia	67	742,56	11,08
WAREHOUSE	Nave almacén	70	609,42	8,71
TOTAL		717	12.835,53	17,90

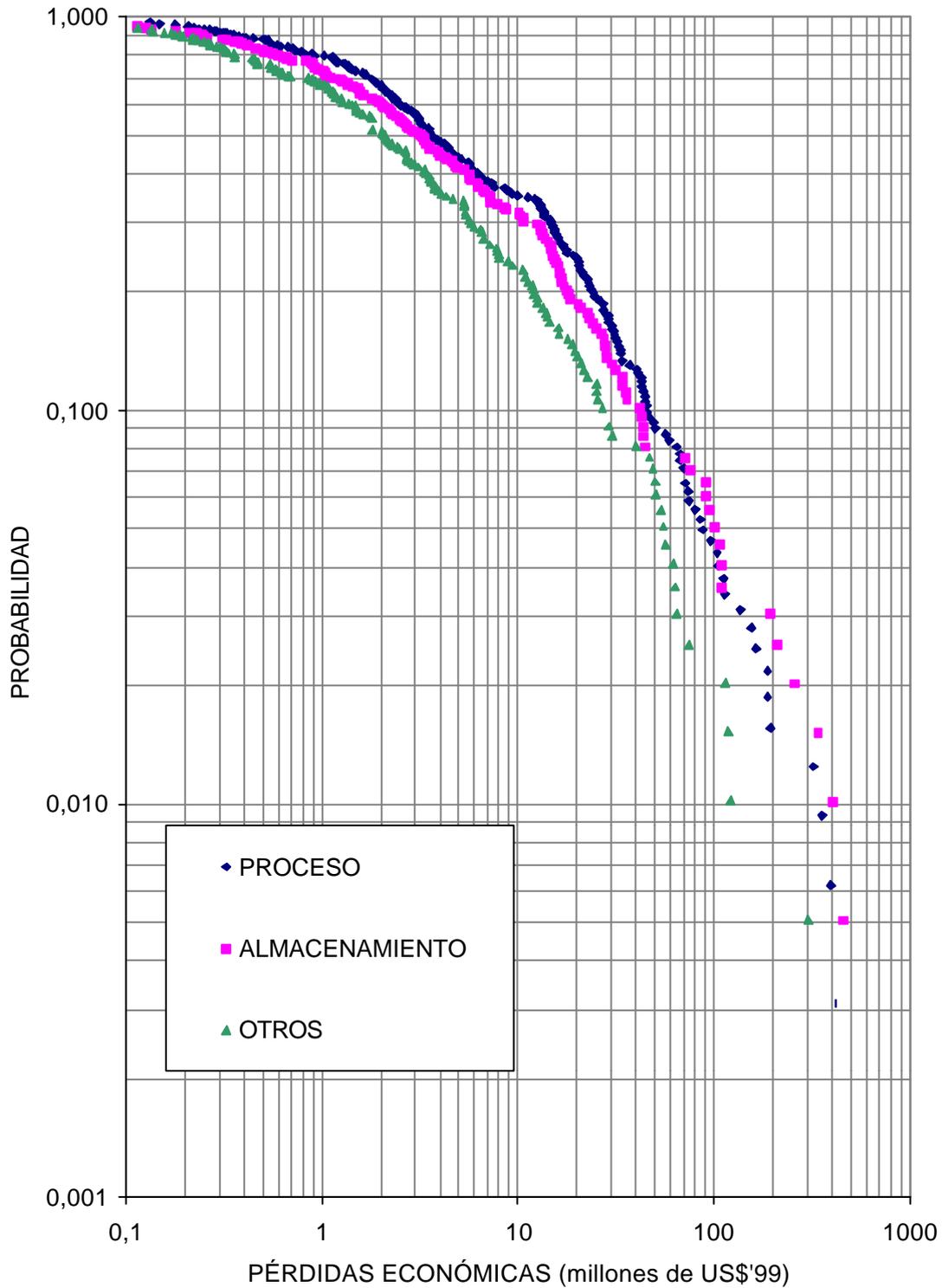
Las categorías PROCESS y STORAGE son las más representativas, aglutinando entre ambas el 73% de los registros disponibles y siendo, además las que presentan un ratio de pérdidas económicas por accidente superior (en torno a 20,5 millones de US\$'99), mientras que las restantes categorías se sitúan por debajo de 13 millones de US\$'99.

Figura 4.22. Curva p-N para la variable INJURED.



Las curvas p-N representadas en la Figura 4.23 para la variable DAMAGE indican una mayor gravedad para los accidentes en instalaciones de proceso y en las zonas de almacenamiento, por encima de las restantes clases (consideradas de forma agrupada), en la parte significativa del rango de x analizado.

Figura 4.23. Curvas p-N para la variable DAMAGE en función del tipo de actividad.



Este comportamiento parece lógico si se considera que el valor unitario de los equipos de las zonas de proceso suele ser sensiblemente más elevado que el de las restantes áreas o mercancías que puedan estar en la zona de almacenamiento.

4.9. GRAVEDAD DE LOS ACCIDENTES EN FUNCIÓN DE SUS CAUSAS

El campo GC (General Cause) permite identificar diferentes causas de los accidentes y atribuir una o varias de ellas a cada registro de MHIDAS. En función de estas categorías y cruzando los datos con los relativos a número de muertos, número de heridos y daños económicos, se han obtenido los resultados que se exponen a continuación.

Hay que hacer constar que la variable GC es una de las que más datos faltantes tiene, por lo que, en general, su uso limita bastante el número de registros disponibles para el análisis posterior.

4.9.1. Número de muertos en función de la causa del accidente

Teniendo en cuenta que al poder utilizarse varias categorías en cada accidente los datos no son acumulables, los resultados obtenidos para la variable KILLED son los presentados en la Tabla 4.31.

Tabla 4.31. Número de accidentes y de muertos en función de la causa del accidente.

CAUSA	Nº ACCTES. (NA)	Nº MUERTOS (NM)	NM/NA
Reacción violenta	175	2.524	14,4
Error humano	494	5.150	10,4
Causa externa	257	1.720	6,7
Condiciones de proceso	63	354	5,6
Fallo de servicios	30	84	2,8
Fallo mecánico	598	1.387	2,3
Fallo de instrumentación	40	80	2,0
Impacto	75	101	1,3

Las categorías más representativas en cuanto a número de registros son, por este orden, "Fallo mecánico", "Error humano", "Causa externa" y "Reacción violenta". Por lo que a la gravedad por accidente se refiere, la categoría "Reacción violenta" es la que presenta un valor más elevado (14,4), notablemente afectado por el accidente AN 1098 (Bhopal, 1984), con un total de 2.000 muertos. De no tener en consideración este evento tan extraordinario, el ratio sería de 3,0 muertos por accidente.

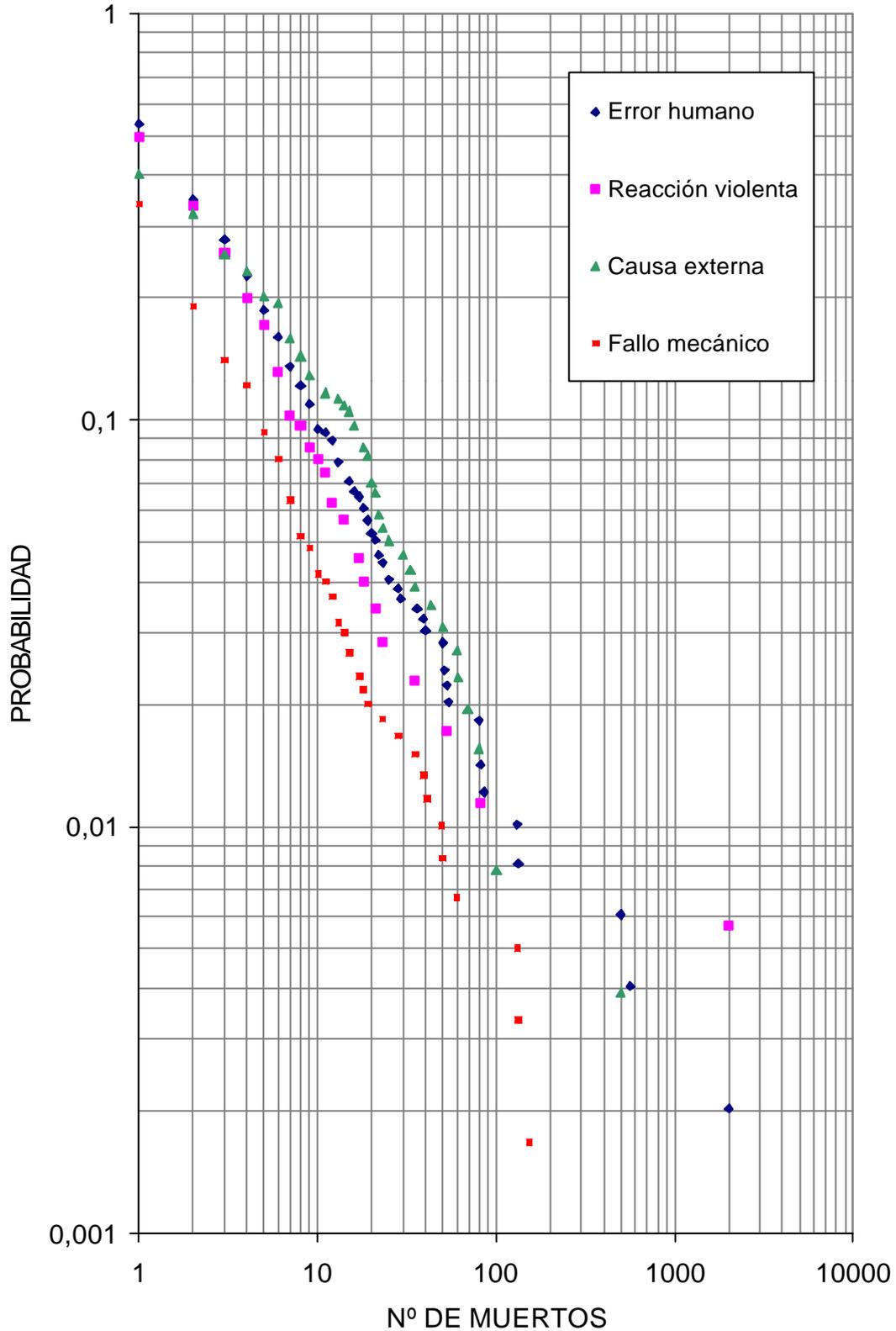
Esta circunstancia se aprecia claramente en la curva p-N para esta categoría mostrada en la Figura 4.24, ya que en la mayor parte del rango de x se mantiene por debajo de otras curvas y sólo al extremo de la curva, presenta el valor $x=2.000$ con una probabilidad por encima de las otras categorías.

Salvando la anterior, el "Error humano" es la categoría con un ratio más elevado (10,4) seguido de las "Causas externas" y de las "Condiciones (anómalas) de proceso".

Las curvas p-N correspondientes a "Error Humano" y "Causas externas" tienen un comportamiento prácticamente paralelo en todo el rango de x, siendo más probables

los accidentes graves por error humano. La curva de los accidentes por reacción violenta se sitúa por encima de ambas salvo a partir de $x = 150$.

Figura 4.24. Curvas p-N para el número de muertos en función de la causa del accidente.



4.9.2. Número de heridos en función de la causa del accidente

Para la variable INJURED se han obtenido los resultados mostrados en la Tabla 4.32.

Tabla 4.32. Número de accidentes y de heridos en función de la causa del accidente.

CAUSA	Nº ACCTES. (NA)	Nº HERIDOS (NH)	NH/NA
Error humano	564	41.246	73,1
Reacción violenta	207	15.028	72,6
Causa externa	320	9.355	29,2
Condiciones de proceso	66	1.624	24,6
Fallo de instrumentación	46	1.021	22,2
Fallo de servicios	36	788	21,9
Impacto	87	1.894	21,8
Fallo mecánico	675	13.918	20,6

Las categorías significativas en cuanto a número de registros disponibles son las mismas que en el apartado anterior. El ratio de heridos por accidente, es claramente diferenciado para las clases "error humano" y "reacción violenta" (en torno a 73 heridos por evento) frente a las restantes clases (dónde se sitúa en el rango 20,6-29,2). En la categoría "Error humano" se contabilizan 10.000 heridos, correspondientes al accidente de Bhopal (AN 1098) y 10.000 del accidente de Changzhi (China, 1987), identificado como AN 2744. Asimismo, en la categoría por reacción violenta se contemplan de nuevo 10.000 heridos debidos al accidente AN 1098. De no tomar en consideración estos dos accidentes, los ratios de estas dos categorías hubieran sido 37,8 para "Error humano" y 24,3 para "Reacción violeta". En cualquier caso sigue siendo significativa la gravedad de los accidentes producidos por error humano.

Las curvas p-N de la Figura 4.25 ponen de manifiesto, además, otras circunstancias. Hasta $x=30$, la curva de mayor probabilidad es la correspondiente a "reacción violenta", seguida de la de la clase "Error humano". A partir de ese punto prácticamente se superponen. La curva por "Fallo mecánico" se mantiene por debajo de todas las demás curvas en todo el rango de x .

4.9.3. Daños económicos en función de la causa del accidente

Para analizar la relación existente entre las causas del accidente y las pérdidas ocasionadas se dispone de sólo 480 registros de MHIDAS, ya que los restantes presentan datos mancantes, bien en el campo GC, bien en el campo DAMAGE. A partir de ellos se ha construido la Tabla 4.33, en la que se indican el número de accidentes por categoría, los daños totales producidos y el ratio "pérdidas por accidente". Debe recordarse que las categorías de la variable GC no son excluyentes y que por lo tanto los resultados no son acumulables.

De los resultados presentados se desprende que las categorías más representativas en cuanto a número de accidentes son las mismas que se obtenían en los apartados precedentes. En cuanto al ratio obtenido por accidente, puede decirse que las categorías "error humano" y "fallo mecánico" están en el rango 23,2-26,0 mientras que las clases "reacción violenta" y "causa externa" están en el rango 19,1-19,9. Dada la escasa representatividad de las restantes clases, poco puede decirse al respecto de ellas.

Figura 4.25. Curvas p-N para la variable INJURED en función de la causa del accidente.

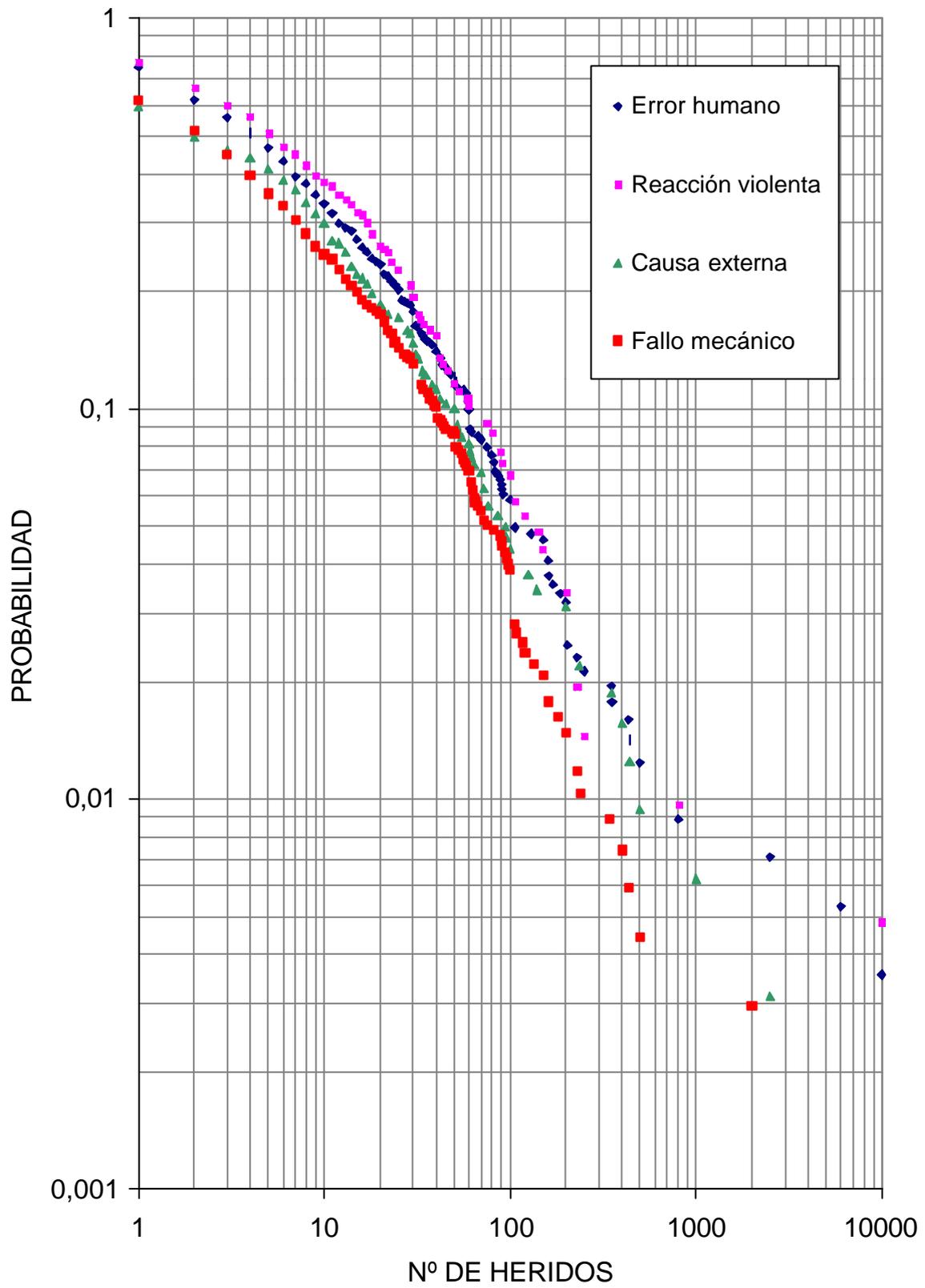


Tabla 4.33. Número de accidentes y daños económicos en función de la causa del accidente.

CAUSA	Nº ACCTES. (NA)	DAÑOS ECONÓMICOS (MM US\$'99) (DE)	DE/NA
Condiciones de proceso	26	869,2	33,4
Error humano	150	3.907,4	26,0
Fallo mecánico	204	4.727,5	23,2
Fallo de instrumentación	18	400,8	22,3
Reacción violenta	70	1.390,9	19,9
Causa externa	140	2.680,8	19,1
Impacto	20	235,1	11,8
Fallo de servicios	18	203,5	11,3

Las curvas p-N para esta variable en función de cada clase no aportan información complementaria pues se solapan totalmente, debiendo utilizar la curva genérica presentada en la Figura 4.9.

4.10. GRAVEDAD DE LOS ACCIDENTES EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE SUSTANCIA

4.10.1. Número de muertos en función de la cantidad de sustancia

La cantidad de sustancia interviniente en cada accidente se refleja en MHIDAS en el campo "Quantity of Material" (QY), en forma de literal y expresada en toneladas. Según se detalla en el Anexo 2 de esta memoria, en la agrupación de un mismo accidente en un solo registro, se transforma este campo a un campo numérico, sumando las cantidades registradas de cada sustancia participante en el accidente.

En función de esta cantidad, y creando cuatro categorías básicas (hasta 6 toneladas, entre 6 y 50 toneladas, entre 50 y 200 toneladas y más de 200 toneladas) se ha obtenido la Tabla 4.34 que representa el número de accidentes y de muertos en cada categoría. Se han considerado estas categorías por ser los rangos más utilizados en la directiva SEVESO II.

La Tabla 4.34.a corresponde a los datos íntegros. La Tabla 4.34.b corresponde a los datos depurados habiendo excluido del estudio el accidente de Bhopal en 1984 (AN 1098, 2.000 muertos), el accidente de Brescia (Italia) en 1900 (AN1886, 1.000 muertos) y el de Bombay en 1944 (AN 2091, 1.377 muertos) por extraordinarios.

Tabla 4.34.a. Número de accidentes y número de muertos según la cantidad de sustancia involucrada (incluye los accidentes de Bhopal –1984, Brescia – 1900 y Bombay – 1944).

CANTIDAD	Nº ACCTES. (NA)	SQ	SQ/ACCTE.	Nº MUERTOS (NM)	NM/NA
$Q \leq 6$	230	380	1,65	469	2,04
$6 < Q \leq 50$	144	3.211	22,30	2.748	19,08
$50 < Q \leq 200$	70	7.055	100,79	1.117	15,96
$Q > 200$	168	1.418.809	8.445,29	3.228	19,21
TOTAL	612	1.429.456	2.335,71	7.562	12,36

Tabla 4.34.b. Número de accidentes y número de muertos según la cantidad de sustancia involucrada (excluye los accidentes de Bhopal - 1984, Brescia - 1900 y Bombay - 1944).

CANTIDAD	Nº ACCTES. (NA)	\$Q	\$Q/ACCTE	Nº MUERTOS (NM)	NM/NA
Q ≤ 6	230	380	1,65	469	2,04
6 < Q ≤ 50	143	3.186	22,27	748	5,23
50 < Q ≤ 200	69	7.055	100,79	117	1,70
Q > 200	167	1.417.419	8.487,53	1.851	11,08
TOTAL	609	1.428.040	8.612,24	3.185	5,23

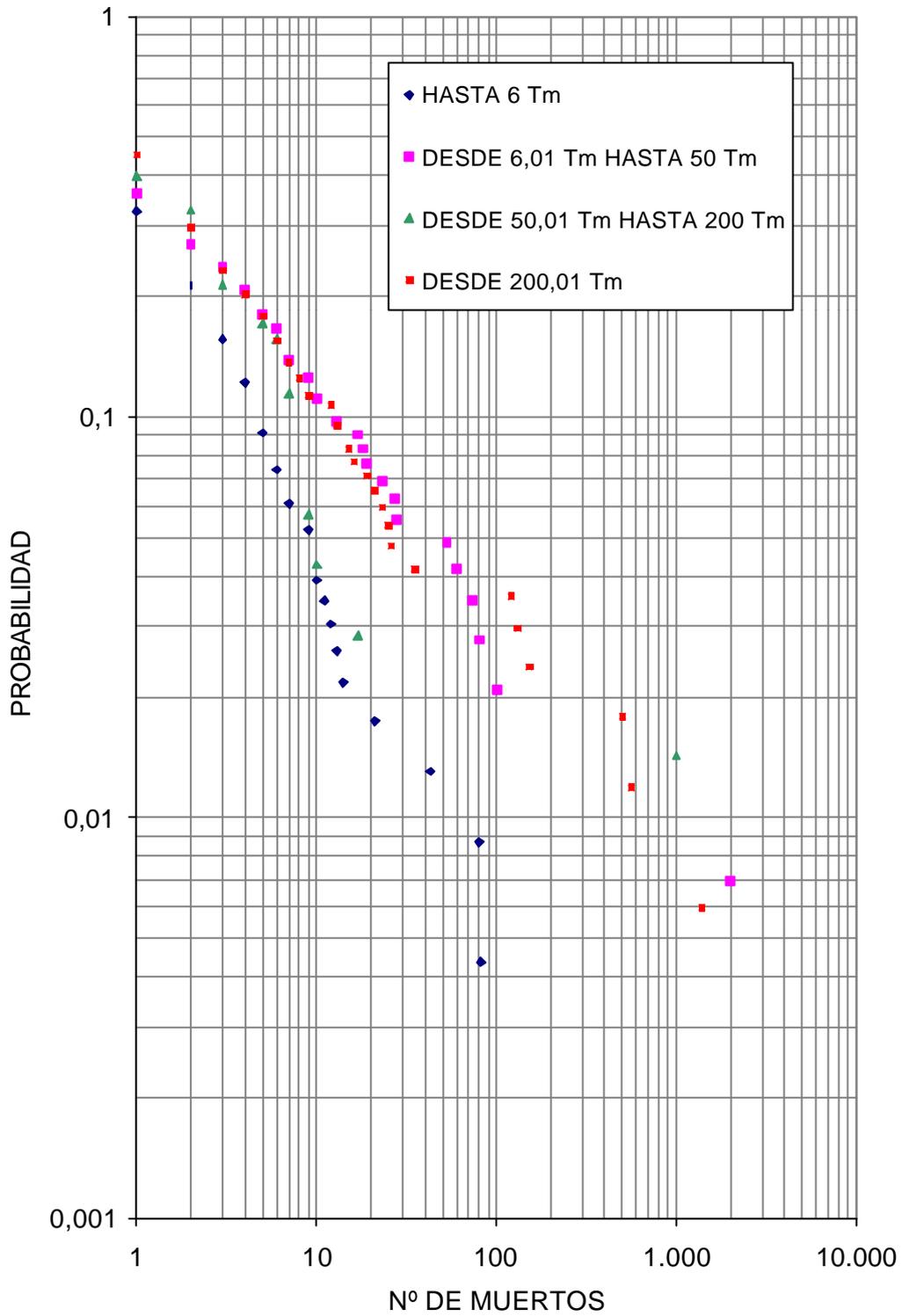
Puede apreciarse como significativo que el 61% de los accidentes se incluyen en las dos primeras categorías, mientras que la cantidad de sustancia más importante, con diferencia, corresponde a la categoría de accidentes con más de 200 toneladas de sustancia involucrada.

Las categorías de hasta 6 toneladas y la de 50 a 200 toneladas presentan un ratio reducido en el rango 1,7-2,04 muertos por accidente. Es significativo que la categoría de accidentes de 6 a 50 toneladas presente un ratio dos veces mayor. Puede influir notablemente en esta circunstancia la forma de almacenamiento de las sustancias, dato que no está disponible en la base de datos MHIDAS. Para la categoría de accidentes con más de 200 toneladas, el ratio es notablemente superior a los anteriores.

Las curvas p-N obtenidas para esta variable y estas categorías se muestran en la Figura 4.26. Los datos considerados para su elaboración coinciden con los que se han utilizado en la Tabla 4.34.b, habiendo descregado los tres accidentes más graves antes citados. Puede apreciarse claramente que la categoría de hasta 6 toneladas es la que tiene menor probabilidad de provocar un cierto número de muertos en todo el rango de x. Las categorías de 6 a 50 toneladas y la de más de 200 toneladas tienen un comportamiento similar y muestran claramente probabilidades de ocurrencia de accidentes más graves sensiblemente más elevadas que las restantes. El comportamiento de la curva para accidentes con cantidad de sustancia entre 50 y 200 toneladas no resulta relevante ya que para su cálculo sólo se dispone de 69 registros, de los cuales 42 son accidentes que no causaron muertos. Sin embargo cabe destacar que en esta categoría no se ha registrado ningún accidente en el rango de 17 a 1.000 muertos.

La Figura 4.27 representa el número de muertos provocado en cada accidente frente a la cantidad de sustancia interviniente. Puede apreciarse claramente que no existe una correlación clara entre las dos variables ya que por un lado los tipos de incidente son diferentes en cada caso (explosiones, incendios, fugas o derrames, etc.) y por otro las cantidades referenciadas en MHIDAS corresponden a la cantidad de sustancia presente en el lugar del accidente y no necesariamente a las cantidades participantes en el evento.

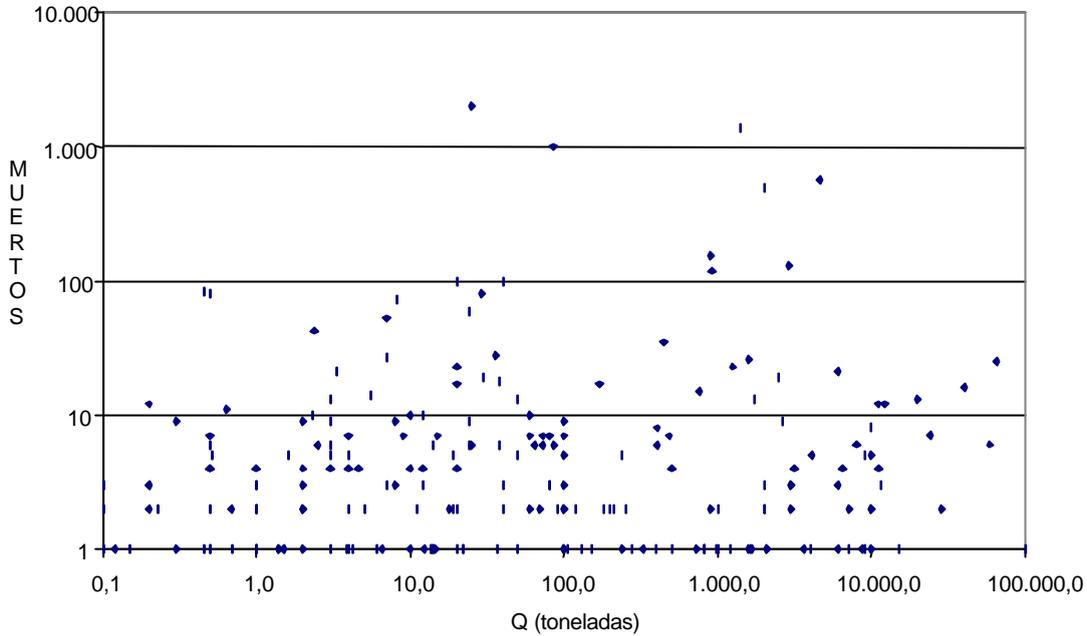
Figura 4.26. Curvas p-N para la variable KILLED en función de la cantidad de sustancia.



Para el caso concreto de explosiones accidentales, en el Capítulo 6 se presenta una metodología para estimar el número de muertos máximo en función de la cantidad de

sustancia involucrada. Asimismo, una vez determinado ese máximo, se establece la probabilidad de alcanzar un determinado porcentaje del mismo.

Figura 4.27. Número de muertos frente a la cantidad de sustancia interviniente.



4.10.2. Número de heridos en función de la cantidad de sustancia

Existen en MHIDAS 646 registros con información suficiente para analizar la relación entre la variable INJURED y la variable QYN. Su distribución (considerando los mismos rangos de cantidad de sustancia que en el apartado anterior) es la presentada en la Tabla 4.35.

Tabla 4.35. Distribución del número de heridos en función de los rangos de cantidad de sustancia interviniente.

CANTIDAD	Nº ACCTES. (NA)	S Q	SQ/ACCTE	Nº HERIDOS (NH)	NH/NA
$Q \leq 6$	260	401,7	1,54	7.378	28,38
$6 < Q \leq 50$	145	3.229,3	22,27	25.825	178,10
$50 < Q \leq 200$	64	6.815,4	106,49	623	9,73
$Q > 200$	177	1.432.714,0	8.094,43	8.523	48,15
TOTAL	646	1.443.160,4	2.233,99	42.349	65,56

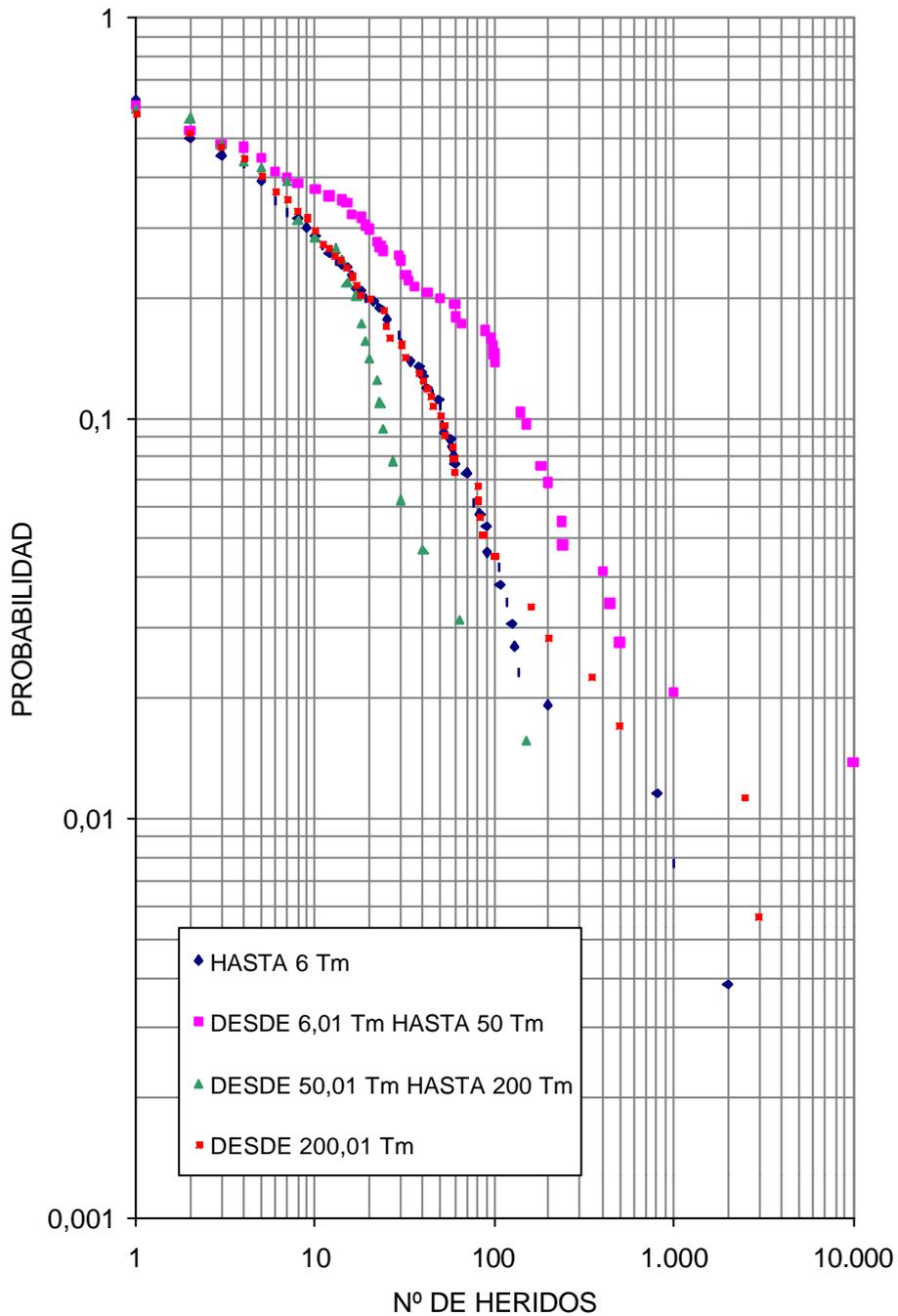
La distribución de accidentes en cada categoría es más o menos uniforme, resultando algo más reducida en el rango de 50 a 200 toneladas. El ratio de número de heridos por accidente muestra un comportamiento totalmente errático, difícilmente justificable. Cabe destacar no obstante, que en el rango de 6 a 50 toneladas de sustancia se incluyen los accidentes AN 1098 y AN 2744 ya mencionados con anterioridad y que entre ambos suman 20.000 heridos. De no considerar estos dos eventos, el ratio para esta categoría sería de 40,73.

Salvando el hecho de que la información disponible es claramente deficitaria, puede concretarse que los accidentes con cantidades de sustancias peligrosas en el rango

de 50 a 200 toneladas son menos graves que los restantes, tanto en número de muertos como de heridos.

Las curvas p-N correspondientes a esta variable y estas categorías se muestran en la Figura 4.28. El comportamiento de todas ellas es bastante singular. De una parte, la proporción de accidentes sin heridos es idéntica en todas ellas (60%). Su pendiente en el tramo hasta $x=10$ es muy similar (algo menor para la categoría de 6 a 50 toneladas).

Figura 4.28. Curvas p-N para número de heridos en función del rango de cantidad de sustancia.



Sorprendentemente, las categorías de hasta 6 toneladas (la menor) y de más de 200 toneladas (la mayor) tienen un comportamiento muy similar, especialmente hasta $x=100$.

Por su parte la curva correspondiente a accidentes con cantidades de sustancia entre 50 y 200 toneladas muestra claramente que éstos presentan una proporción de accidentes graves menor que las restantes categorías analizadas, como ya se comentaba al analizar el ratio de número de heridos por accidente obtenido.

4.10.3. Daños económicos en función de la cantidad de sustancia

Existen tan sólo 207 registros con información relativa a los daños económicos producidos y sobre la cantidad de sustancia involucrada. Se reparten de manera aproximadamente uniforme, siendo menos frecuentes los correspondientes a cantidades de sustancia entre 50 y 200 toneladas y los más frecuentes los de más de 200 toneladas. Como en los apartados 4.10.1 y 4.10.2, el ratio de gravedad por accidente (ya sea medida en número de muertos, heridos o millones de dólares en pérdidas económicas), indica que son más graves los accidentes de las clases $6 < Q \leq 50$ y $Q > 200$, frente a las categorías $Q \leq 6$ y $50 < Q \leq 200$ (Tabla 4.36).

Tabla 4.36. Pérdidas económicas en función de la cantidad de sustancia.

CANTIDAD	Nº ACCTES. (NA)	S QYN	SQ/ACCTE.	DAÑOS ECONÓMICOS (MM US\$'99) (DE)	DE/NA
$Q \leq 6$	50	91,7	1,83	630,2	12,60
$6 < Q \leq 50$	44	1.107,6	25,17	1.008,1	22,91
$50 < Q \leq 200$	27	2.722,5	100,83	428,6	15,87
$Q > 200$	86	1.066.702,0	12.403,51	3.149,7	36,62
TOTAL	207	1.070.623,7	5.172,10	5.216,6	25,20

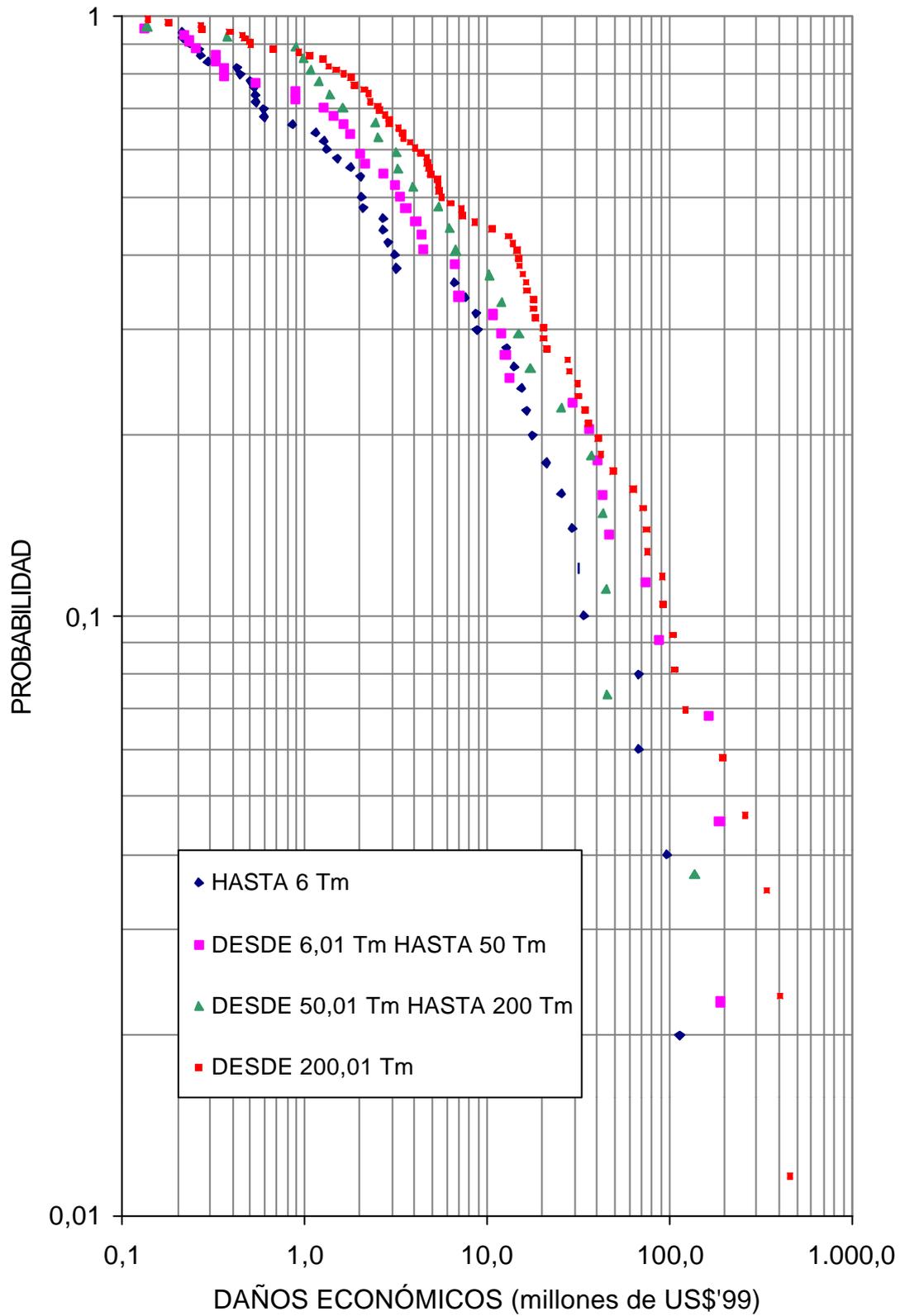
A su vez las curvas p-N correspondientes a la variable DAMAGE, considerando las clases antes descritas, tienden a indicar una mayor probabilidad de accidentes más graves cuanto mayor es la cantidad de sustancia involucrada (Figura 4.29).

4.11. CONCLUSIONES

El análisis pormenorizado de la gravedad de los accidentes en función de los campos de la base de datos MHIDAS, no permite la deducción de métodos de cálculo o estimación del riesgo excesivamente elaborados o detallados. La poca información aportada sobre las instalaciones y los procesos desarrollados en el lugar del accidente, así como los escasos y poco detallados parámetros para valorar las consecuencias del evento, no permiten un desarrollo teórico profundo.

Sin embargo, la información procesada sí permite deducir una serie de conclusiones relativas a la evolución de los accidentes (en número y gravedad) en el tiempo, según la influencia del grado de desarrollo, del origen de los mismos, etc.

Figura 4.29. Curvas p-N para la variable DAMAGE en función de la cantidad de sustancia involucrada en el accidente.



En las últimas décadas han sido registrados muchos más accidentes que en el pasado. Ello pone de manifiesto el creciente interés de la comunidad científica en

particular (y de la sociedad en general) por la seguridad en los procesos industriales y el estudio de los accidentes, y no implica necesariamente que las instalaciones actuales sean más peligrosas que las del pasado. Hay que considerar la actual mayor facilidad para la difusión y tratamiento de la información y el mayor número de instalaciones industriales en funcionamiento.

Asimismo, aunque aparentemente cada vez se dan más accidentes y se produce un mayor número de muertos, el ratio "número de muertos por accidente" (Tabla 4.3) se mantiene constante desde 1950, lo que equivaldría a decir que el potencial destructivo de las instalaciones industriales no ha variado en los últimos 50 años (no obstante, debe recordarse el salto cualitativo que ha experimentado la curva p-N correspondiente a la última década del siglo XX). Por su parte, las variables INJURED y DAMAGE tienden a mostrar un comportamiento similar, según se aprecia en las Tablas 4.5 y 4.6. De hecho, es posible que por una parte los procesos actuales sean potencialmente más peligrosos dadas las condiciones más extremas de trabajo o el empleo de sustancias más reactivas. Sin embargo, las mayores medidas de seguridad y de planificación del riesgo aplicadas en la actualidad reducen o minimizan este potencial destructivo.

De la misma forma que puede hacerse este razonamiento desde un punto de vista histórico (a través del tiempo), también puede hacerse desde un punto de vista socio-geográfico. Como se pone de manifiesto en la Tabla 4.10, el número de muertos por accidente en instalaciones de países subdesarrollados tecnológicamente es seis veces superior (20,02 muertos por accidente) al que se produce en los países desarrollados (3,06 muertos por accidente). La variable número de heridos tiene un comportamiento similar, destacando los 122 heridos por accidente para las zonas en vías de desarrollo. El razonamiento realizado en el párrafo anterior sobre las medidas de planificación y reducción del riesgo es perfectamente aplicable a este resultado.

Sin embargo, la Tabla 4.14 permite concluir que los daños económicos derivados de un accidente son, de media, del mismo orden para todos los países. Hay que tomar en consideración a este respecto que las instalaciones ubicadas en estados desarrollados suelen ser tecnológicamente más avanzadas y en consecuencia más costosas.

Por lo que al estado físico de la sustancia interviniente en el evento se refiere (Tabla 4.16), los accidentes derivados de la manipulación y/o fabricación de explosivos sólidos son significativamente más peligrosos que los ocasionados por otros tipos de sustancias (ratio de 22,82 muertos por accidente frente a una media de 6,5 muertos de media general). Se evidencia un comportamiento similar con respecto a las variables INJURED pero no así para la variable DAMAGE.

Las sustancias explosivas, sea cual sea su estado físico (Tabla 4.20) presentan siempre una gravedad intrínseca superior al resto en lo relativo a número de muertes, mientras que en lo referente al número de heridos, son las sustancias tóxicas las que provocan un mayor número de afectados (Tabla 4.21). Respecto a la variable DAMAGE, esta mayor gravedad no es tan evidente, siendo las categorías más significativas las correspondientes a explosivos e inflamables (Tabla 4.22).

La Tabla 4.25 evidencia claramente la mayor gravedad relativa por accidente de aquellos que incluyen el evento EXPLOSIÓN. En particular, los eventos iniciados por la formación de una nube de gas y posterior ignición de la misma, ocasionando una explosión, presentan un ratio de mortalidad de 44 muertos por accidente, muy superior al que puedan tener otros tipos de eventos.

Por lo que a número de heridos se refiere, la mayor gravedad relativa está asociada a los eventos por formación de nubes de gas. Es evidente una correlación entre la categoría de peligro TÓXICO de la sustancia y el evento GASCLD (nube de gas).

Según el tipo de actividad desarrollada en el momento del accidente (Tabla 4.28), la mortalidad estimada se sitúa en el rango 5,67-8,86 muertos por accidente para las categorías con un número de registros significativo. Destacan a este respecto los accidentes en instalaciones comerciales o domésticas y las operaciones de transferencia de materiales (trasvases, cargas/descargas, etc.) con una gravedad (número de muertes) sensiblemente superior a las restantes categorías y probablemente influenciada por la mayor presencia de personas en el entorno del accidente. De hecho, desde el punto de vista de la variable DAMAGE, las actividades de mayor gravedad son las relacionadas con el almacenamiento de sustancias y las instalaciones de proceso, donde la presencia de equipos y/o mercancías de valor es relevante pero no así la presencia de personas.

Los accidentes por reacción violenta, errores humanos y los fallos en las condiciones de proceso son las causas que desencadenan los accidentes más graves, aunque, atendiendo a la frecuencia de aparición, son más relevantes los fallos mecánicos y los errores humanos.

Por último, la cantidad de sustancia que ha intervenido en el accidente resulta aparentemente un dato relevante. Los accidentes con cantidades de sustancia intervinientes entre 50 y 200 toneladas suelen presentar una menor gravedad relativa que aquellos que involucran de 6 a 50 toneladas o más de 200 toneladas de sustancia (Tablas 4.34, 4.35 y 4.36). Se considera que la forma de almacenamiento es un dato relevante no recogido en MHIDAS y que podría justificar claramente esta apreciación.

No obstante, al considerar los datos no agrupados, la representación obtenida no permite extraer conclusiones significativas y evidencia la inexistencia de una correlación clara entre la cantidad de sustancia implicada en el accidente y el número de muertos o heridos provocado.

A modo de resumen de las conclusiones expuestas, se presenta a continuación la Tabla 4.37, que puede permitir semicuantificar las relaciones expuestas en los apartados anteriores. Los valores entre paréntesis corresponden a los ratios obtenidos descrestando los accidentes considerados extraordinarios y que desvirtúan claramente el valor medio obtenido. Asimismo, se indican con asteriscos aquellos ratios o valores medios obtenidos a partir de pocos registros (menos de 100 casos) y que en consecuencia pueden resultar poco significativos.

Al respecto, hay que valorar muy positivamente las ventajas que en un futuro próximo puede aportar la base de datos MARS, desarrollada en el marco de la Unión Europea, estructurada de una forma mucho más razonable, con una cantidad de información sobre el accidente mucho más detallada y, seguramente, con informaciones más rigurosas y completas [KIRCHSTEIGER 1998]. En el Anexo 1 de esta memoria se detalla la estructura de la base de datos MARS y se describen sus principales ventajas. Si no se ha empleado esta base de datos en lugar de MHIDAS para el desarrollo de este estudio ha sido por la imposibilidad de disponer de los registros completos de la base de datos MARS.

Tabla 4.37. Resumen de los ratios de número de muertos, nº de heridos y pérdidas económicas por accidente calculados en los apartados anteriores.

FACTOR	CATEGORÍA	MUERTOS POR ACCIDENTE	HERIDOS POR ACCIDENTE	PÉRDIDAS ECONÓMICAS POR ACCTE.
DÉCADA	<1949	58,4	106,5	17,74
	1950-59	2,5	121,0	8,77
	1960-69	3,1	21,5	14,94
	1970-79	2,6	13,4	15,76
	1980-89	4,8 (2,5)	41,8 (20,9)	21,09
	1990-99	6,5	18,7	19,13
MUNDO	1er mundo	3,06	15,7	17,1
	En desarrollo	14,74	122,0	12,6
	3er mundo	20,02	80,1	20,7
ESTADO FÍSICO	Polvo ^a	22,82 (2,57)	29,22	27,82
	Sólido	21,19	46,95	6,28
	Varios	4,11	32,63	13,63
	Líquido	4,08	34,61	17,35
	PLGAS	3,76	30,40	17,37
	Gas	3,43	24,31	30,46
TIPO DE SUSTANCIA	Explosivo	22,84	45,82	18,63*
	Enfriado	15,13*	26,83*	23,35*
	Oxidante	8,38	32,84	10,16*
	Asfixiante	6,56*	11,88	--
	Tóxico	4,53	55,01	11,16
	Inflamable	4,42	19,32	18,58
	Corrosivo	1,20	18,36	12,38*
	Radiactivo	0,25*	7,5*	--
TIPO DE ACCIDENTE	Explosión	9,7	25,9	18,4
	Derrame	4,9 (1,25)	41,2 (25,1)	34,2*
	Incendio	1,6	8,8	14,0
	Nube de gas	0,6	68,7 (37,3)	20,4*
TIPO DE ACTIVIDAD	Comercial	8,86	18,24	12,82*
	Transferencia	8,70	59,54	11,08*
	Almacenamiento	6,54	23,42	20,64
	Proceso	5,67	26,76	20,45
	Nave almacén	4,65	27,57	8,71*
	Residuos	2,66*	133,29*	17,72*
CAUSA INMEDIATA	Reacción violenta	14,4 (3,0)	72,6 (24,3)	19,9*
	Error Humano	10,4	73,1 (37,8)	26,0
	Causa externa	6,7	29,2	19,1
	Condiciones de proceso	5,6*	24,6*	33,4*
	Fallo de servicios	2,8*	21,9*	11,3*
	Causa mecánica	2,3	20,6	23,2
	Fallo de instrumentación	2,0*	22,2*	22,3*
	Impacto	1,3*	21,8*	11,8*
CANTIDAD SUSTANCIA	Q < 6 t	2,04	28,38	12,6*
	6 ≤ Q < 50 t	19,08 (5,23)	178,10 (40,73)	22,91*
	50 ≤ Q < 200 t	15,96 (1,7)*	9,73*	15,87*
	Q ≥ 200 t	19,21 (11,08)	48,15	36,62*

^a El número de muertos entre paréntesis se refiere a polvos no explosivos exclusivamente.

* Ratios obtenidos con menos de 100 registros y por lo tanto poco significativos.