

La Metodología de la Seguridad Industrial

Antonio Muñoz
Subdirector General de Calidad y Seguridad Industrial
Ministerio de Ciencia y Tecnología

José Rodríguez Herrerías
Jefe del Area de Seguridad Industrial
Ministerio de Ciencia y Tecnología

José M^a Martínez-Val
Catedrático de Termotecnia ETSII, UPM
Director F²I²

INDICE

1. Introducción	1
2. Metodología analítica y metodología operativa	7
2.1. Metodología analítica	8
2.2. La normativa industrial	11
2.3. Metodología operativa	13
3. Evaluación de riesgos en la Seguridad Laboral. Medidas de protección	17
4. Evaluación de riesgos y requisitos de seguridad en los productos y servicios industriales	23
5. Análisis de riesgos en relación con accidentes graves. Planes de emergencia	26
5.1. Análisis fiabilístico de la seguridad	34
6. Conclusiones. Gerencia de Riesgos	44

1. Introducción

La preocupación por la seguridad es una de las características más sobresalientes de nuestra civilización. Ello se denota de diversas formas, siendo una de las más significativas la cobertura de riesgos mediante las pertinentes pólizas de seguros. No hay ámbito de la actividad humana que sea ajeno a esta práctica, con la que intentamos precavernos respecto al daño que podamos sufrir por diversas actividades, siendo este daño a veces biológico, a veces económico, a veces mixto. El seguro mueve en España, en el conjunto de todo su negocio (vida, vivienda, automóviles, industrial, agrícola,...) unos 5,5 billones de pesetas, lo cual significa algo más del 5,7% del Producto Interior Bruto nacional. En otras palabras, y hablando en términos medios, dedicamos casi el 6% de la creación de riqueza a asegurarnos que, de sufrir algún daño, al menos nos podremos resarcir económicamente, aunque sea en parte.

Esta cierta obsesión por la seguridad es, como hemos dicho, genérica, y adopta precauciones contra múltiples tipos de amenaza, desde las catástrofes naturales al robo, pasando por los accidentes en el transporte o la baja por enfermedad.

Contra la mayoría de esas amenazas no es fácil, sino muy difícil, y a veces imposible, tomar medidas precautorias sistemáticas, por el altísimo valor de incertidumbre inherente a muchos fenómenos naturales, y así mismo a los sociales.

Ese no es el caso del riesgo industrial. Por supuesto, existe un ramo importante del seguro que está específicamente dedicado a los riesgos industriales y asimilados (incluyendo los laborales) que en su conjunto incluiría mutuas y otras entidades de cobertura de riesgos y tratamiento de efectos, incluyendo rehabilitación. Pero el riesgo industrial no está afectado del mismo nivel de incertidumbre que las catástrofes naturales, el tráfico viario o los actos delictivos.

El riesgo industrial está asociado a la explotación sistemática de las fuerzas y los fenómenos del mundo físico, cuyas leyes son bien conocidas y cuyos efectos se pueden predecir con notoria precisión. Es cierto que la precisión absoluta es inalcanzable, pues el comportamiento de los materiales ante sollicitaciones exigentes, o las reacciones de los seres humanos que manejan máquinas o controlan procesos, no puede garantizarse con total fiabilidad. Por tanto, las averías de equipos y los fallos humanos son causa fundamental de contenido aleatorio que también afecta a las actividades industriales. La diferencia respecto de los otros riesgos es que en el ámbito industrial se puede aplicar una sistemática que reduce los efectos de estos riesgos hasta niveles incomparablemente menores. Tómese el caso, por ejemplo, de la electrocución, que en la mayor parte de los países industrializados no alcanza la cifra de 10^{-7} muertes/año, lo que significa en media una electrocución mortal al año por cada 10 millones de personas. Ese nivel de siniestralidad es tan bajo como el de la actividad más sedentaria, como puede ser el juego del ajedrez.

En los capítulos precedentes hemos distinguido tres niveles o ámbitos de Seguridad Industrial

- la laboral u ocupacional
- la de productos y servicios industriales
- la de instalaciones industriales susceptibles de sufrir accidentes graves

En cada caso la metodología de seguridad es esencialmente distinta y específica. Ello se refleja en que la materialización legal de las disposiciones de seguridad es también

diferente, aunque haya que admitir que esa diferenciación ha ido mejorando y haciéndose más específica con el tiempo, tal como la Seguridad Industrial se convertía en un verdadero cuerpo de doctrina.

En este cuerpo de doctrina se distinguen diversos ámbitos o especialidades, y particularmente los tres en los que se estructura su contenido global, ya dichos en los párrafos precedentes, y todos aquellos que de manera sectorial se pueden distinguir, y que generalmente se definen por el origen del peligro: eléctrico, térmico, mecánico, químico, nuclear, etc. De esta vertebración matricial ya nos ocupamos en el capítulo 1.

Para tratar la metodología de la Seguridad Industrial es pertinente recordar que ésta tiene el objetivo fundamental de evitar daños, o mitigar las consecuencias de éstos, y que estos daños van asociados a un determinado tipo de riesgo.

El concepto de riesgo es *estocástico por naturaleza*. Si se pudiera de manera determinista fijar el daño causado inexorablemente por una actividad, y éste no pudiera variar (a peor ni a mejor) dicho daño se incorporaría a los propios resultados de la actividad, recibiría su tratamiento económico y no habría que cubrirlo con una póliza de seguros o precaución similar. La definición convencional del riesgo corresponde al producto del daño causado por la probabilidad de que tal daño se produzca.

Riesgo = Daño x Probabilidad

Esta definición se ha de concretar algo más, pues son muchos los tipos de daño que un producto o un proceso puede producir, y muy diversas las circunstancias (escenarios) en los que puede darse, por lo que la evaluación de la probabilidad también exige un conocimiento preciso de los mecanismos y medios por los que puede producirse un daño.

Ya hemos mencionado que hay responsabilidades inherentes a la causa de un daño, y que por ello se recurre al aseguramiento (mediante pólizas comerciales) para tratar al menos de remediar los perjuicios económicos del daño causado, o las responsabilidades civiles anejas.

Ese es el aspecto más visible de la Gerencia de Riesgos, y el que más dinero mueve, pero ello se debe esencialmente a la naturaleza estocástica aludida. Ante las incertidumbres en cuestión, la opción de asegurarse es elemental y muy propia de la naturaleza humana.

Con total respeto a esta práctica de la cobertura de riesgos mediante un seguro, hay que poner énfasis en que **la política de Seguridad debe ser**, en cierto modo, la contraria: es decir, **minimizar los riesgos e incertidumbres tanto como se pueda**. En el límite asintótico de la Seguridad absoluta, que no existe, no harían ninguna falta las pólizas de seguros. Pero aún reconociendo que éstas van a ser necesarias, se pueden reducir las primas de contratación y los gastos que conllevan los siniestros, si se mejora en política de seguridad, lo cual significa analizar las causas de los riesgos y corregir las deficiencias observadas, tanto en origen del peligro como en la propagación del efecto e infligimiento del daño.

A esta función de seguridad, las empresas industriales dedican en España aproximadamente un 0,75% de su volumen de negocio (sin contar primas de seguros, lógicamente). Este dinero se invierte básicamente en Auditorías de Seguridad (internas y externas) Formación e Inversiones específicas en materia de seguridad (Equipos e

Protección, Detectores, Alarmas, Sistemas de reacción ante emergencias, etc). No resulta este 0,75% una cifra desdeñable. Por ejemplo, en media, la empresa industrial española no llega a dedicar el 0,4% de su volumen de negocio a Investigación, Desarrollo e Innovación.

Volviendo al concepto de daño, prácticamente intuitivo, éste es relativamente complejo de abarcar y definir en el ámbito legislativo, que es donde resulta de aplicación final por lo que se refiere a reclamaciones por daños y perjuicios. A este respecto resulta importante referirse al libro "Los delitos de daños" de Ignacio Serrano Butragueño (Editorial Aranzadi,) y a la legislación que sobre esta materia existe en España, sobre lo cual un buen compendio es "Legislación sobre responsabilidad por daños" de Luis F. Reglero Campos, en editorial Tecnos, .

En múltiples ocasiones la cuantificación del daño y su repercusión e indemnización económica, son temas que finalizan en los tribunales de justicia, por lo que no se puede evitar esta primera mención a la legislación al respecto, sobre lo cual hay además una rica jurisprudencia, y en todo lo cual no se va a entrar, pues pertenece a un ámbito doctrinal distinto.

Conviene saber no obstante que en la jurisprudencia sobre las reparaciones de los daños existe la clara necesidad de relacionar causas y efectos, es decir demostrar la relación causal o de origen de que un determinado daño se ha producido por una determinada acción.

La tipología de los daños es variadísima, pudiendo distinguirse entre los daños a personas y los daños de naturaleza económica. Sobre los primeros cabe asimismo hacer una diferenciación múltiple entre los tipos de daño en función de las discapacidades que se produzcan, teniendo lógicamente como límite superior el fallecimiento.

En cuanto a los perjuicios o daños de naturaleza económica, éstos pueden ser, si cabe, aun más variados, de tal modo que no es posible realizar una descripción sistemática de ellos, pues afectan a una multitud de situaciones y actividades económicas habituales.

La seguridad industrial no trata tanto de los daños producidos como de las técnicas para reducir la probabilidad de que estos ocurran. Está claro que el ámbito doctrinal natural para tratar los daños sobre las personas es la medicina, y actúa en las personas damnificadas con independencia de cual sea la etiología del daño, en función de los síntomas que se presentan.

Por el contrario, el técnico de seguridad industrial debe estar preocupado por evitar las circunstancias de las cuales puedan derivarse daños a las personas o daños económicos. Para éso han de analizarse las causas y procesos por las cuales el daño se llega a concretar, y disponer o implantar las precauciones necesarias con objeto de reducir los riesgos al nivel apropiado.

Recordando la definición convencional y de primera aproximación de que el riesgo es el producto de la probabilidad de causar un daño, por la valoración de dicho daño, está claro que el técnico en seguridad nuclear puede orientar su trabajo, en función de la actividad concreta sobre la que actúe, bien para **mitigar la entidad del daño** que puede producirse o bien **para reducir la probabilidad de su ocurrencia**.

Para lo primero, se puede trabajar sobre las especificaciones de los procesos y productos industriales con objeto de mitigar el daño máximo. Por ejemplo, sobre prevención de riesgos eléctricos, se aprecia como el daño causado por éstos es dependiente de la tensión eléctrica que se utilice. Lógicamente, la adopción de una tensión por debajo de cierto nivel evita unos daños que podríamos considerar inaceptables, como es el caso del fallecimiento de un usuario por la utilización común de las redes eléctricas de su vivienda. De ahí precisamente que los reglamentos de baja tensión de los diversos países establezcan unos máximos del nivel de tensión que se puede utilizar en las redes con acceso indiferenciado de los usuarios, con objeto de limitar el máximo daño inferido. Por ejemplo, si en las redes se permitieran voltajes del orden de 1.000 voltios, sería un daño cierto (más o menos improbable) el fallecimiento por electrocución, a parte de los problemas de contracciones musculares, quemaduras, etc. Sin embargo, sí se limita el nivel de tensión a unos 200 voltios la posibilidad (que no probabilidad) de producir una electrocución mortal es muy remota, y solo afectaría a individuos especialmente sensibles, o en circunstancias particularmente contrarias (como puede ser la presencia de agua sobre la piel del usuario) y todo lo cual además puede minimizarse desde el punto de vista de la probabilidad de ocurrencia de dicho fenómeno a través de las protecciones tecnológicas que han de cubrir las redes de baja tensión.

Similarmente, en una industria química *la cantidad total* de material utilizado en un proceso o el inventario almacenado *puede limitarse*, en función de las características que presente la instalación y en particular su demografía cercana. De esta manera, la emisión de un gas tóxico, por ejemplo, puede no ser nociva si es de una cantidad suficientemente pequeña como para que su difusión atmosférica diluya la concentración de dicho gas por debajo de la concentración máxima permitida; es decir, aquélla que produce daños apreciables en el ser humano.

Por otro lado, las precauciones pueden ir dirigidas *a la disminución de la probabilidad de que un daño se produzca*. Ésto por lo general se consigue con la mejora continua y el buen mantenimiento (subrayándose ésto especialmente) de los sistemas y procesos industriales. Un buen diseño y las técnicas de conservación adecuadas pueden minimizar los casos hipotéticos de accidentes, y por tanto reducir las probabilidades de causar daño a valores insignificantes. Las prácticas específicas para ésto son muy propias de la actividad involucrada, y lógicamente serán muy distintas para la industria eléctrica, la química, o la térmica. De ahí que estos análisis se aborden en los capítulos específicos subsiguientes de este libro.

Conviene subrayar la *diferencia entre causa y daño* pues a menudo se utilizan borrosamente los apellidos para tipificar el riesgo, bien en función de su causa bien en función de su efecto o daño. Por ejemplo típicamente se suele hablar de riesgos medioambientales, y en ese caso se hace referencia al daño producido sobre el medio ambiente, el cual puede provenir de causas muy diversas. Sería más preciso hablar de daños medioambientales, puesto que el riesgo debe tener en cuenta el tipo de accidente originario. Esto es, cabría hablar de riesgos químicos medioambientales o riesgos radiológicos medioambientales, y en tal caso quedaría bien definido el tipo de etiología o raíz del daño y el sujeto sobre el cual el daño se efectúa.

En particular, junto a *los daños a seres humanos y los daños de naturaleza económica*, se ha tipificado en estos últimos años el *delito ecológico*, que es aquel en el cual el daño, tenga o no una repercusión económica más o menos objetivamente valorable, se produce sobre el medio ambiente general. Estos daños medioambientales requieren sus técnicas precautorias lo mismo que los restantes daños, pues en definitiva tienen

una raíz común, y por lo general su efecto sobre el medio ambiente se produce a través de mecanismos muy similares a las rutas por las que se pueden producir daños a seres humanos. Sin embargo, en el ámbito industrial, habida cuenta de que la hidrosfera y la atmósfera son el sumidero industrial de muchísimos productos, los daños medioambientales han llegado a cobrar una significación importante, y por tanto exigen su ingeniería muy especializada.

Como complemento de esta introducción, conviene listar un glosario de términos que se utilizan con acepciones muy específicas en el ámbito de la seguridad industrial.

Daño: perjuicio causado en las personas, propiedades o medio ambiente, incluyendo tanto los de tipo biológico, con su repercusión económica correspondiente, y los meramente económicos.

Peligro: posibilidad de que se produzca un daño, generalmente significando la calidad y cuantía del daño probable. Por ejemplo, peligro de muerte por electrocución.

Probabilidad de suceso: Es La frecuencia con la que se presenta, o se espera que se presente, un determinado suceso accidental, que da origen a una cadena de consecuencias.

Accidente: situación no habitual en el oficio o instalación que se considera.

Riesgo: producto del daño causado por un suceso accidental multiplicado por la probabilidad de que dicho suceso tenga lugar. El riesgo, como se ha explicado anteriormente, es de naturaleza estocástica, y se basa en la existencia de un peligro, concretable en un daño, y al cual hay asociada una determinada probabilidad de ocurrencia.

Evaluación de riesgos: técnica para determinar los riesgos asociados a un determinado puesto de trabajo, al uso de algún producto o servicio industrial, o al funcionamiento de una instalación industrial.

Plan de prevención: conjunto de medidas tomadas para evitar los riesgos identificados en la evaluación correspondiente, erradicando algunos de ellos por el propio diseño o funcionamiento del sistema en cuestión, y disminuyendo la probabilidad de otros tanto como sea razonablemente posible.

Nivel de seguridad: calificación que puede asociarse a las prestaciones de un producto, un servicio o una instalación, en función de las características de seguridad que se han incorporado por diversas actuaciones, tanto de inversión en equipos, como de formación, etc.

Acotación de daños: técnica que intenta limitar la máxima consecuencia de un daño, mediante limitaciones en las cantidades de productos tóxicos o peligrosos que pueden estar afectados por un accidente.

Propagación de accidente: secuencia accidental de sucesos en los cuales a partir de una causa, no siempre relevante ni de entidad suficiente, se llegan a efectos que pueden ser muy graves.

Mitigación de consecuencias: conjunto de acciones tomadas preventivamente o adoptadas durante la emergencia, con las cuales se evita la propagación amplificada del accidente, acotándose los daños.

Planes de emergencia: conjunto de disposiciones para poder reaccionar ante situaciones accidentales o imprevistas. Existen planes de emergencia interiores, que solo involucran a las instalaciones y al personal profesionalmente expuesto, y planes exteriores que afectan a la población circundante o al medio ambiente, y en los cuales ha de intervenir la autoridad pública y protección civil.

Protección civil: servicio público, generalmente gubernativo, destinado a actuar en emergencias de variado tipo, incluidas las de origen industrial.

Contra medidas: conjunto de acciones que se ponen en marcha en la ejecución de un plan de emergencia para conseguir la mitigación de las consecuencias del accidente.

Recuperación de la instalación o del servicio: suceso final en el cual el accidente y sus consecuencias han sido superados, y se puede restituir el servicio o, al menos, conducir este o la instalación a situación suficientemente segura, sin riesgo indebido para nadie.

Lecciones derivadas del accidente: resultado de los análisis a efectuar a posteriori, y que deben ser materializados en nuevos proyectos de ingeniería de seguridad para la instalación en cuestión y similares.

2. Metodología analítica y metodología operativa

El análisis de los riesgos en toda su extensión, desde origen a efectos finales, es sin duda la herramienta crucial de la metodología de seguridad, pero este análisis no cabe plantarlo a ciegas y sin sistemática, pues existe un amplio cuerpo de doctrina sobre el particular e, incluso más importante, existe legislación de obligado cumplimiento.

En líneas generales, la metodología de la seguridad tiene que atender al conocimiento y estudio de

- La legislación aplicable
- La normativa que recoja el estado del arte, parte de la cual será obligatoria si así lo determina la legislación, aunque en general será sólo recomendable.
- El análisis de la problemática específica (del puesto de trabajo, de la seguridad del producto o de la instalación, etcétera). En esto es esencial que el análisis se verifique exhaustivamente, con consideración completa de todo tipo de riesgos y secuelas.

Junto a lo precedente, que constituye el esqueleto de **la metodología analítica**, hace falta considerar los medios y procedimientos para poner en práctica las técnicas de Seguridad. Eso se contempla en **la metodología operativa**, que tiene como líneas fundamentales las siguientes:

- Auditorías de seguridad (internas y externas) y sus correspondientes Proyectos subsiguientes
- Formación y entrenamiento
- Inversiones en material y equipo

Respecto de esto último, cabe resaltar que las grandes instalaciones afectadas por las directivas Seveso, que son básicamente las de tipo Químico, como Refinerías, fábricas de plásticos y fibras sintéticas, detergentes, lejías, etc., la inversión en Seguridad puede alcanzar el 10% del total de la inversión efectuada en la planta. A su vez, esa cantidad habrá requerido entre un 10% y un 20%(de ese 10%) en Estudios de Seguridad y Proyectos de Ingeniería.

Por lo que corresponde a Formación y Entrenamiento, las cifras difieren mucho de unos sectores a otros, y son particularmente altas en la Industria Química y la Industria Nuclear. En media, los trabajadores deben recibir formación y entrenamiento en seguridad durante unas 8 horas/año, aproximadamente, pero con la salvedad hecha para las industrias antedichas.

Adicionalmente habría que hacer la salvedad de los Equipos de seguridad y del propio Comité de Seguridad y Salud Laboral, que debería dedicar unas 50horas/año a este cometido, e incluso más, aunque ello depende del grado de madurez que tengan ya los Manuales de Protección y los Planes de Emergencia en cada instalación concreta.

La formación y el entrenamiento afectan a una de las causas más comunes de siniestralidad: **el factor humano**.

La incidencia humana en la seguridad, o en la siniestralidad, raramente procede de cuestiones psicológicas morbosas o extraordinarias, sino muy rutinarias, tales como la carencia de concentración en la actividad ejecutada, *escasa percepción del riesgo* que

conlleva y, muy a menudo, *insuficiente preparación* o conocimiento acerca de los fenómenos físicos sobre los que el operario está actuando (lo cual puede aplicarse tanto al conocimiento de la interacción neumático-pavimento de una carretera, tratándose de circulación de vehículos como a los efectos de un soplete, tratándose de Seguridad Industrial). El factor humano introduce una importante carga de incertidumbre en todo lo referente a la Seguridad. Hasta la fecha, las *incertidumbres* se han tratado científicamente con herramientas matemáticas estadísticas. Hoy día ha cobrado pujanza el análisis de situaciones inciertas (o borrosas) a través de lógica difusa y el razonamiento cualitativo. Esta tendencia tiene una clara justificación, pues cuando una persona ha de reaccionar o tomar una decisión que afecta de manera inmediata a la Seguridad, raramente va a tener ocasión de resolver una ecuación diferencial (es un decir!) y concluir con que el valor de la incógnita es 7,05. Por el contrario, su decisión será cualitativa (y en ello tendrá mucha importancia su preparación anterior).

2.1. Metodología analítica

Existe un método de resaltar la importancia de la Seguridad, y es aquilatarla en función de sus *efectos económicos*. Por supuesto, la peor repercusión de la siniestralidad son las defunciones, y la mayor parte de la Normativa de seguridad va dirigida a la **protección de la vida humana**. Sin embargo, de considerar sólo ese aspecto, se suscita por parte de algunos la idea de que la seguridad es antieconómica, por obligar a unos gastos que no se rentabilizan. Esa idea es superficial y errónea. Puede haber algún caso concreto en que sea difícil evaluar la repercusión económica positiva que tienen las inversiones en seguridad, pero por lo general es fácil aquilatar esos efectos positivos. Basta, simplemente, con evaluar los efectos negativos asociados a la siniestralidad que se produciría de no hacer esas inversiones en seguridad. En dichos efectos hay que tener en cuenta que las propias vidas humanas (y el absentismo laboral subsiguiente a un percance) tienen una valoración económica neta (aunque a ello haga frente un seguro privado o la Seguridad Social). Obviamente la vida humana y la salud son bienes mucho más preciados que su mera valoración económica, pero ésta no debe olvidarse, y desde luego ha de contabilizarse al hacer los fríos **análisis coste-beneficio** que justifican las inversiones en seguridad.

Siendo importantísimo lo anterior, relativo a las vidas humanas, no debe oscurecer la existencia de otros daños puramente económicos que inciden en la actividad industrial siniestrada. Algunos de estos daños son directos, y requieren **reposición de equipo** y nuevas inversiones. Otros son más indirectos, pero incluso más dañinos, como es la **disfuncionalidad** que se produce en una organización humana cuando ocurre un siniestro. El viejo dicho "nadie es imprescindible" puede ser una verdad a largo plazo, pero a corto plazo casi todas las personas de un equipo humano son insustituibles y su ausencia (mas aún si es accidentada) produce disfunciones.

Globalizando, los efectos económicos de la siniestralidad pueden ser por **indemnizaciones**, inversiones de **recuperación y reposición**, y **lucro cesante** por disfunciones, falta de operatividad, interrupción de la producción, pérdida de clientes, etc.

En la mentalidad común, los *accidentes catastróficos* suelen asociarse con alto número de pérdida de vidas humanas, y la repercusión económica pasa desapercibida. Tal es el caso de los accidentes de aviación, descarrilamientos, naufragios, siniestros de autobuses, etc., y en menor medida accidentes propiamente industriales, como el de Seveso (Italia, 1976) y el de Chernobyl (Ucrania, 1986).

Ciertamente es lamentable que en un accidente aéreo se produzca un centenar de muertes, pero además de ese duelo, absolutamente irreparable, hay que tener en cuenta que las inversiones de reposición pueden superar los 5.000 millones de Pta., y las indemnizaciones y desembolsos de seguros otro tanto.

No obstante, los accidentes Industriales suelen tener características opuestas a los del Transporte, en el sentido de que las pérdidas en vidas humanas pueden ser incluso nulas, y los daños económicos enormemente cuantiosos. Un accidente representativo de esta situación fue el de la central nuclear TMI-2, más conocido por accidente de Harrisburg. En 1.979, la 2ª unidad de la central de "Three Mile Island" sufrió una aparatosa avería provocada por un fallo mecánico secundario (o al menos previsible y previsto) enormemente agravado por acciones humanas (de antes y de después del fallo) como consecuencia de las cuales el reactor nuclear se quedó sin refrigeración, lo que motivó la destrucción de gran parte de sus vainas y, en definitiva, su parada irrecuperable. A pesar de los daños sufridos por el reactor y del hecho de que gran parte de los productos radiactivos quedaran libres (desenvainados) no se produjeron escapes apreciables de radiactividad dado que funcionaron (como era de esperar) las barreras de confinamiento exterior, dentro de las cuales permanecen los productos radiactivos.

Como consecuencia directa del accidente no hubo que lamentar ninguna víctima, y de manera indirecta, por la radiactividad fugada, ésta fue tan escasa que sus efectos no pueden ser apreciados y de hecho nadie ha podido sustanciar la petición de indemnizaciones por daños radiológicos (por ser imposible establecer ni la más mínima *relación probable causa-efecto*). Desde esa perspectiva, podría decirse que fue un accidente inocuo para la salud humana, si bien tuvo notorias repercusiones psicológicas. Hay que tener en cuenta que se mencionó la posibilidad de una evacuación por emergencia, sin información comprensible sobre el caso, lo que motivó, entre otras cosas, que se vendieran todas las existencias de las armerías de Maryland y Pennsylvania, por temor a actos de pillaje y bandolerismo durante una evacuación en masa.

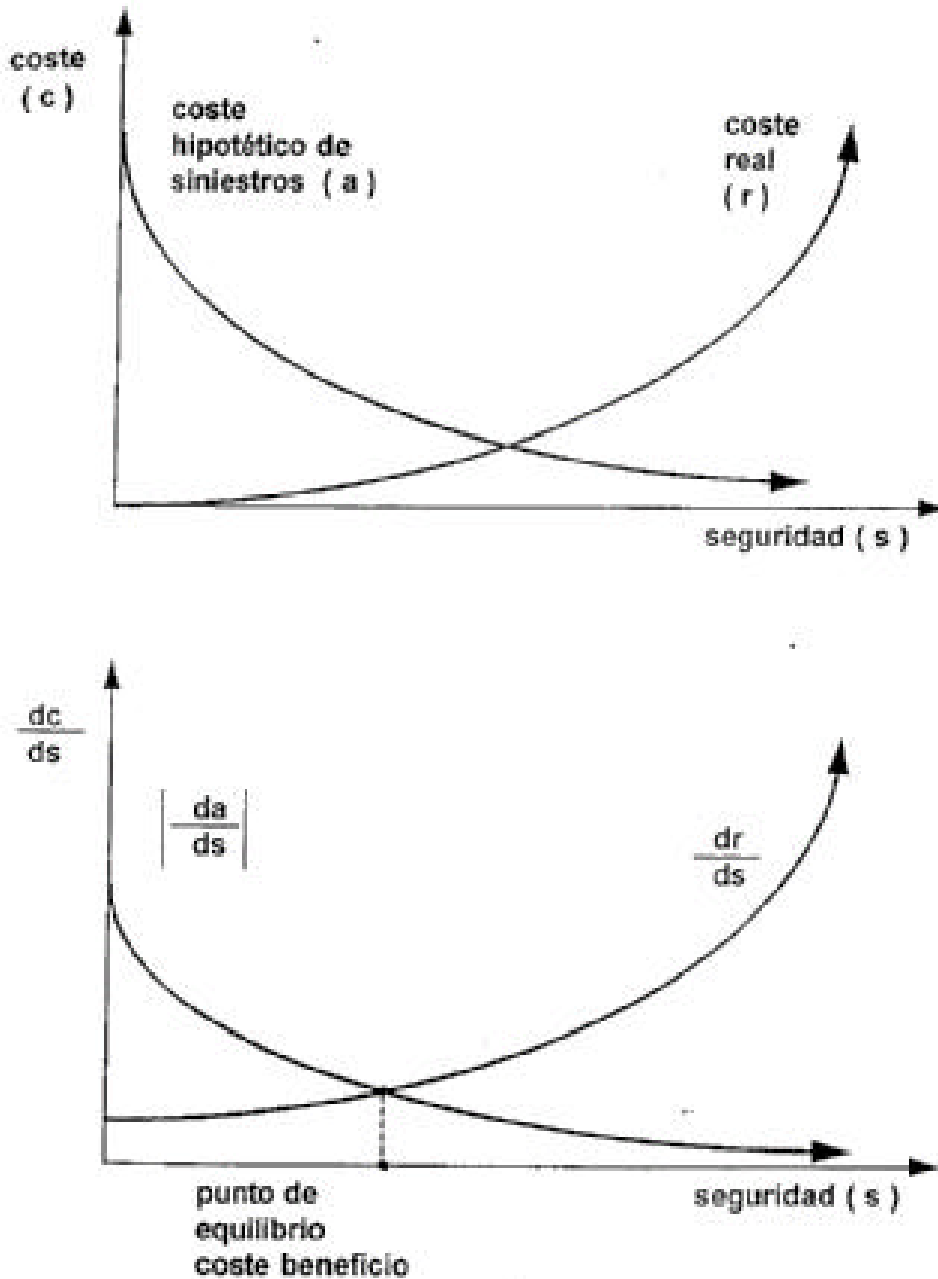
El accidente de TMI-2 fué, sin embargo, una gran **catástrofe económica**. Su valor de reposición, es de unos 500.000 millones de pesetas (en realidad, se puede decir que la empresa perdió toda la inversión realizada, pues la unidad solo había funcionado un año, y sin embargo ha de continuar manteniéndola, en tanto no se proceda a su clausura definitiva, que también será costosa).

Tras ese accidente, algunos especialistas señalaron que la Normativa de Seguridad Nuclear está mucho más pensada para la *protección de personas* que para la de *las instalaciones*, y efectivamente es y debe ser así. La **empresa** debe proteger su inversión de acuerdo con su política de **gerencia de riesgos**, mientras que las autoridades públicas deben velar, sobre todo, por la salud y seguridad públicas así como de las personas profesionalmente expuestas.

A nivel empresarial, estas metodologías se han de sintetizar en una técnica de gerencia de riesgos que permita a los responsables empresariales garantizar que los riesgos asumidos por la empresa están dentro de lo tolerable, y que se ha llegado a la situación adecuada en cuanto a inversiones en seguridad. Para ello suele ser útil la técnica de **análisis coste-beneficio**, mediante la cual la gerencia de riesgos determina cual sería la disminución de incertidumbres o riesgos, y por tanto el aumento de la seguridad, consiguiente a la inversión de una cierta cantidad adicional de dinero; comparando esta inversión, que implica un gasto cierto, con la disminución de riesgo hipotético que se

obtiene mediante dicha inversión. Teóricamente el análisis coste-beneficio permite hallar un punto de equilibrio en el cual el gasto de presupuesto adicional para aumentar la seguridad no revierte en una reducción similar en la cantidad de dinero que se requiere para realizar la cobertura del riesgo reducido. En la figura nº 1 se expone un ejemplo de análisis coste-beneficio, a título meramente ilustrativo, teniendo en cuenta que la seguridad asintótica no existe y su valor requeriría una inversión infinita.

Figura 1
Esquema del principio de análisis coste-beneficio



La naturaleza y aplicación de los análisis coste-beneficio se estudiará con más detalle en el punto 5 de este capítulo, en el contexto de la seguridad de las instalaciones susceptibles de sufrir accidentes graves. Es una herramienta que debe complementarse

con los Estudios Fiabilísticos de Seguridad, también denominados APS (Análisis Probabilísticos de Seguridad).

No todas las metodologías de seguridad tienen fundamento estocástico. Al contrario, las relativas a la Seguridad Ocupacional y a la Seguridad de Productos suelen tener una base de limitaciones de tipo determinista.

El por qué de este determinismo es muy simple: el cuerpo humano tiene limitaciones obvias y bien conocidas para soportar los efectos de agentes físicos y químicos.

Por ejemplo, por encima de 45 °C, el agua produce quemaduras de cierta significación en la piel. Por encima de 1 ppm (parte por millón) de cloro en el aire, la agresión de éste a los tejidos humanos (sobre todo, mucosas) es insostenible. Por ello se deben poner **límites físicos y químicos** a diversas variables (temperaturas, concentraciones de sustancias,...) y estos límites no deben sobrepasarse en ninguna condición de trabajo contemplable en el proyecto o en la funcionalidad de la instalación. Por supuesto, la incertidumbre asociada a la naturaleza, a los materiales físicos –recipientes, máquinas– y al factor humano podrán hacer aparecer otras condiciones en las que se rebasen esos límites, pero ello pertenece ya al ámbito de la fiabilidad y al análisis de accidentes graves.

En relación con los límites de concentraciones y otras variables, cabe señalar la *problemática de seguridad asociada a los subproductos o residuos*. En España generamos al año del orden de 400.000 toneladas de residuos tóxicos o peligrosos. Su correcta disposición es también objeto de la Seguridad Industrial, y se han de valorar los riesgos asociados a ellos en la triple vertiente de daños humanos, daños económicos, y daños al medio ambiente.

De hecho, uno de los requisitos metodológicos esenciales en la Seguridad Industrial es su completitud, es decir, atender en su análisis a todas las posibles causas de riesgo y a todos los posibles efectos potenciales. Ello implica atender a todo el ciclo de vida de los procesos y de los productos, desde las materias primas al resultado final, incluyendo actividades de mantenimiento y, como ya se ha dicho, residuos y subproductos.

2.2. La normativa industrial

Para asegurar la exhaustividad en estos estudios es muy útil el uso de Normativa. La práctica industrial de establecer normas es muy antigua, pues aporta ventajas de numeroso tipo y ayuda a sistematizar y a hacer operativo el estado del arte. No todas las Normas, ni mucho menos, tienen connotaciones de seguridad, pues muchas van orientadas a la estandarización de elementos y dispositivos o al establecimiento y demostración de parámetros de calidad. Aún así, estas Normas no orientadas a la Seguridad suelen tener un efecto indirecto muy positivo en ella, pues la calidad y la estandarización son factores que reducen sustancialmente la incertidumbre de las prestaciones de los materiales y de los productos, y ello contribuye a acotar el carácter estocástico de la seguridad, y a hacer más representativas las estadísticas de las que se disponga.

En este sentido hay que señalar la importancia de los datos actuariales y series estadísticas sobre fallos de equipos, averías, incidentes y accidentes. Ello constituye la única referencia experimental en accidentología real, pues no tendría sentido producir accidentes para estudiarlos. Pero la acumulación de datos puede tener muy poca significación estadística si los componentes y equipos involucrados son totalmente

dispares unos de otros. Por el contrario, de responder a una misma normativa, la valoración o representatividad estadística es mucho mayor, y de los datos actuariales se pueden determinar valores tales como el Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF en terminología inglesa) o la tasa de fallos y la varianza asociadas a una tipología dada de sucesos.

De cara a asegurar la completitud del análisis de riesgos es prudente utilizar guías genéricas que se vayan concretando o acotando al caso real en estudio. Por ejemplo, la Directiva Marco europea 80/1.107 CEE sobre Orígenes de Riesgos es una referencia clásica en este ámbito, y en ella se distinguen tres grandes agentes peligrosos

- Químicos (contaminantes, toxicología, materiales agresivos,...)
- Físicos (temperatura, presión, radiaciones, electricidad, energía cinética, ruido y vibraciones,...)
- Biológicos (bacterias, virus,...)

Obviamente una Directiva Marco es demasiado genérica, y en la mayor parte de los casos existe una Normativa mucho más específica que aborda el tema de modo mucho más eficiente. Tal es la situación, por ejemplo, de los productos industriales en general, y en particular los contemplados en las Directivas del Nuevo Enfoque de la Unión Europea, descritas en el capítulo sobre este tema, en este mismo libro.

Habitualmente, las Normas son establecidas por Comités Técnicos donde concurren muchos de los más prestigiosos especialistas del tema que se trate. Podría decirse, con carácter general, que cuando un Comité de esta naturaleza se reúne para establecer una norma, todo el acervo científico de ese tema queda puesto encima de la mesa de discusión.

Estos Comités Técnicos suelen actuar bajo los auspicios de una entidad ad hoc, que en España es AENOR, la Asociación Española de Normalización y Certificación, aunque hay países donde son varias las instituciones que emiten normas. El caso más completo y complejo es el norteamericano. Existe en USA el ANSI (American National Standard Institute) que viene a ser como la institución paraoficial de normalización (standard = norma) pero en USA son muy potentes las Asociaciones sectoriales, y son ellas las que elaboran directamente las normas. Tal es el caso de las ASME (American Society of Mechanical Engineers) las ASTM (American Society for Testing and Materials) las IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) las ASHRAE, TEMA, AIP y varias otras.

En el marco internacional hay que dejar constancia de la ISO (International Standard Organisation) que es la referencia fundamental en Normas de Calidad, y en el marco de la Unión Europea existe el CEN, Comité Europeo de Normalization, con su rama eléctrica, CENELEC, y la dedicada a telecomunicación, ETSI.

Muchas de las normas elaboradas por una asociación terminan siendo incorporadas a otros cuerpos de normas. Por ejemplo, muchas de las normas ISO devienen normas europeas, EN, y a su vez pueden incorporarse como normas españolas, UNE, o normas alemanas, DIN, o británicas, BS, etc.

Cuanto más completo es el conjunto de Normas sobre un ámbito industrial, más seguro puede decirse que es éste

Las Normas como tal no son de obligado cumplimiento, salvo que específicamente se haya declarado así por una disposición legislativa o gubernativa, que sí que puede descansar en una norma específica para obligar a cumplir un requisito de seguridad.

En tal caso, puede el legislador acumular y sistematizar las normas que considera deben ser obligatorias, y promulgarlas como legislación propiamente dicha.

El caso más preclaro es quizá el norteamericano, donde el Code of Federal Regulations (su Boletín Oficial del Estado) recoge en títulos específicos lo relativo a la seguridad de las industrias más problemáticas. Así, en el 10 CFR se recoge todo lo relativo a Energía Nuclear, y en el 40CFR todo lo de la Industria Química. Cada uno de esos títulos legislativos se subdivide en secciones. Por ejemplo, el 10CFR20 es una especie de Reglamento sobre sustancias radiactivas, y entre otras cosas establece las concentraciones máximas permitidas en aire y en agua, de los diversos radionucleidos

Las normas, pues, configuran el marco de referencia más inmediato para las personas involucradas en actividades industriales.

Pero ningún técnico actual puede ser especialista en todas las materias, y a buen seguro que en su labor se cruzarán, para su aplicación, multitud de Normas que, si es un técnico responsable, debe entender. Ésto se debe lograr precisamente mediante asignaturas, textos y prontuarios que expliquen las bases metodológicas de la Seguridad Industrial, los fundamentos de los riesgos que pueden aparecer en diversas materias y la realidad física -con sus daños potenciales- que subyace en las Normas. A menudo, lo que salva de la catástrofe es precisamente ésto: la comprensión. En primer lugar, porque los hombres no somos autómatas, y hasta en la aplicación de algo tan concreto como debe ser una Norma, hay algo siempre de interpretativo o circunstancial. En segundo lugar, porque las Normas no pueden cubrir toda la casuística imaginable, ni tendría sentido que la intentasen cubrir, porque entonces sería inaplicable

En España la actividad normativa se contempla como parte esencial de la infraestructura industrial, y como tal está contemplada en el R.D. 2200/1995, que desarrolla estos aspectos a partir de la ley de Industria de 1992.

La metodología basada en normativa simplifica, como hemos dicho, el proceso de aplicación y verificación de los principios de seguridad industrial, pero tiene como inconveniente menor el hecho de que genera una excesiva confianza por parte de los proyectistas y analistas de seguridad industrial, que sustituyen el rigor de un análisis completo de seguridad por la aplicación directa de una norma, sin cuestionarse la licitud de utilización de dicha norma, y las cuestiones interpretativas o circunstanciales que puedan variar de unos casos a otros. En definitiva, aunque es esencial e importantísimo, sobre todo valorándolo en términos generales, la adopción y utilización de normas, sin embargo conviene hacer énfasis en la importancia de que las normas sean entendidas por quiénes las aplican.

La aspiración de que el cuerpo de normas provea de esa cobertura exhaustiva a la que aludíamos no siempre es accesible, especialmente en las tecnologías emergentes, y va siendo cada vez más fácil de obtener cuando, mediante la acumulación de experiencias y la incorporación paralela de análisis de seguridad, se logra una descripción completa y profunda de los fenómenos involucrados.

Lo anteriormente mencionado representa la **metodología analítica** de la seguridad industrial, con la cual no concluye toda la responsabilidad de este área de ingeniería.

Esa metodología permite conocer exhaustivamente los sistemas industriales y sus riesgos, pero no implica que mediante dicho conocimiento se vayan a obtener los resultados apetecibles.

2.3. Metodología Operativa

Para convertir los análisis de riesgos y demás estudios de seguridad en algo útil, hace falta, como suele decirse en castellano, pasar de las musas al teatro; ésto es, materializar en inversiones, en equipos, en formación, en organización, etc., todo lo identificado en la metodología analítica.

Para ello hace falta poner en práctica la **metodología operativa** de la seguridad industrial, basada en gran medida en una involucración de todos los elementos humanos que intervienen en las actividades y los procesos tratados, de tal manera que conozcan responsablemente sus cometidos de seguridad. Como en muchos casos dichos elementos humanos no tienen por qué poseer los conocimientos físicos y químicos para entender las bases de la normativa de seguridad, es imprescindible que funcione eficientemente la formación en materia de seguridad, y se provean de métodos operativos para que la normativa aplicable y los principios generales de seguridad industrial puedan ser asimilados a todos los niveles.

Dentro de esta metodología es imprescindible la disposición de *mecanismos de control y correctores de los procesos que conlleven riesgo*. En lo posible, los mecanismos de control deben llevar disposiciones precautorias que indiquen con antelación suficiente la aparición de una circunstancia de alto riesgo. La metodología operativa es susceptible de presentar lagunas de difícil detección, pues así como la metodología analítica se basa en supuestos bien definidos a los cuales se les dedica tanto tiempo de estudio como sea necesario, sin embargo la metodología operativa reviste un nivel de incertidumbre en su aplicación que no siempre puede reducirse con las convenientes actuaciones previsoras y con la mentalización y formación de los elementos humanos involucrados. De ahí que en este ámbito sea especialmente importante la técnica de ingeniería denominada de calidad total, que aspira a la involucración en la obtención de calidad, y en este caso de seguridad, de todos los elementos intervinientes, al mismo tiempo que existe una mentalización, una formación y una capacitación a todos los niveles suficientemente rigurosa como para proceder a la temprana detección de defectos y a la implantación sistemática de un proceso que conduzca en breve plazo a la eliminación de los defectos.

Todo lo anterior, tanto la metodología analítica como la operativa, confluye en el término **cultura de seguridad**, por la cual se entiende que las responsabilidades en materia de seguridad se extienden entre todos los factores intervinientes, se comprenden, y se está en disposición de afrontarlas con suficientes garantías.

Como suele decirse, la fortaleza de la cadena es la fortaleza de su eslabón más débil, y en materia de seguridad, el rigor o la calidad de la seguridad la proporciona la calidad de su elemento menos seguro.

Lo anteriormente dicho hace referencia a la seguridad industrial de sistemas de producción o de servicio, y no de manera tan directa a la seguridad asociada al uso de *productos comerciales*.

En primer lugar hay que tener en cuenta que los productos de libre mercado están sometidos a una reglamentación específica en el ámbito de la Unión Europea, pues

dichos productos pueden ser transportados de unos países a otros sin limitaciones arancelarias, aunque sin embargo si actúan sobre ellos limitaciones de seguridad.

El enfoque con que se tratan los temas de seguridad referidos al producto requiere una metodología operativa peculiar, pues en punto alguno se puede prever que los usuarios de dichos productos dispongan de un nivel de información científica o tecnológica elevado. La Administración impone unas restricciones para la comercialización de los productos potencialmente peligrosos, y se establecen unos requisitos de homologaciones para su comercialización en el caso de productos que aún se regulen por el llamado Antiguo Enfoque, o impone unos requisitos esenciales de seguridad que los fabricantes o importadores de los productos deben declarar que cumplen, en el caso de los productos incluidos en el Nuevo Enfoque.

Como cuestión orientativa de la metodología a aplicar en los estudios de seguridad industrial cabe clasificar o atender los daños y riesgos industriales en función de diversos criterios. En principio, los daños y riesgos pueden ser asociados a diferentes ámbitos, concretamente:

- instalaciones civiles y generales
- productos de uso común
- servicios industriales
- instalaciones industriales
- productos industriales especializados

En la escala anterior, la profesionalización o especialización del ámbito va incrementándose; de tal forma que se parte de riesgos asociados al uso generalizado de un sistema o producto, por parte de la población en general, y se llega al ámbito donde sólo los profesionales están afectados por los posibles daños. *En función del nivel de especialización, cabe aplicar técnicas de formación y entrenamiento que reduzcan considerablemente el riesgo. Esto es factible en los ámbitos profesionalizados, y lógicamente no lo es en los ámbitos de uso común, donde la ingeniería de seguridad tiene que descansar fundamentalmente en la concepción y diseño de los aparatos o servicios.*

También cabe tener en cuenta los diferentes daños producidos según su modalidad o etiología, en lo cual se distinguen fundamentalmente cuatro apartados:

- *Agentes químicos* tóxicos o insalubres, que pueden producir daños por inhalación, ingestión, asfixia o causticidad.
- *Agentes explosivos* o combustibles, en los cuales se ha de tener en cuenta el peligro de explosiones (deflagraciones si son subsónicas; detonaciones si son supersónicas). La problemática de estos agentes está relacionada con la concentración de los mismos que pueda darse en diversos locales, y con sus fugas y vertidos.
- *Agentes físicos*, que a su vez son de distinta naturaleza, como pueden ser:
 - Electricidad
 - Energía cinética (máquinas)
 - Energía cinética (caídas)
 - Sobrepresiones
 - Temperatura

- Criogenia
 - Vibraciones, sonidos y ultrasonidos
 - Radiación no ionizante (laseres)
 - Radiación ionizante
- *Agentes biológicos*, que pueden ser particularmente importantes en la industria farmacéutica y en la incipiente ingeniería genética. Con características más extendidas hay que tener en cuenta la existencia de microorganismos dañinos para el cuerpo humano que pueden permanecer o reproducirse en ámbitos industriales (por ejemplo legionela), así como la existencia de sustancias o microorganismos alérgenos.

Por último, hay que mencionar *la organización y ergonomía de la seguridad*, en la cual se han de distinguir los siguientes aspectos:

- La integración de la seguridad industrial en la empresa
- El sistema de evaluación de riesgos
- Los servicios de prevención
- La planificación de la seguridad y de la reacción ante accidentes
- La formación y entrenamiento en seguridad
- El entorno ergonómico del puesto de trabajo
- El error humano:
 - En el diseño o concepción
 - En la ejecución

En definitiva, la metodología operativa es muy específica del tipo de seguridad industrial que se trate, y por ende se ha de tratar en secciones independientes, desarrolladas a continuación.

3. Evaluación de riesgos en la Seguridad Laboral. Medidas de protección

La Seguridad Laboral se extiende a múltiples campos, no todos calificables de industriales, pues sectores tales como el transporte y la construcción presentan especificidades muy definidas y no se rigen propiamente por normativa de tipo industrial. Estos sectores presentan una tasa de siniestralidad muy elevada, y son la principal causa de la mortalidad laboral, así como del perjuicio económico asociado a los accidentes, que se eleva a más de dos billones de pesetas anuales.

En el cuadro adjunto se presentan las estadísticas referentes al global de la Seguridad Laboral (según fuentes sindicales)

	1996	1997	1998	1999	Variación 96/99(%)
Accidentes	1.212.846	1.321.940	1.486.109	1.607.453	32,54
Accidentes con baja	616.237	676.644	752.882	865.980	40,53
Graves	10.685	10.393	10.649	11.620	8,75
Mortales	982	1.070	1.071	1.115	13,54
Por desplazamient o al trabajo	39.338	43.659	51.961	50.389	28,09
Mortales por desplazamient o	322	384	420	476	47,83

De las estadísticas anteriores podría decirse que la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/1995 y su R.D. 39/1997) no ha sido un éxito, pues en los años que lleva desde su promulgación la siniestralidad no ha hecho sino aumentar, y muy significativamente, con especial énfasis en los accidentes in itinere. Aún así, las muertes atribuibles a estos no son el 10% de los accidentes mortales en el transporte en general. En todo caso, por lo que corresponde a la accidentalidad con baja (de atención sanitaria) ésta también ha aumentado espectacularmente, y ello sí está asociado directamente con la seguridad ocupacional en general.

España tiene en esto, uno de los índices más pobres de la Unión Europea y la mortalidad laboral total es de 10^{-4} / año, lo que significa 100 muertos al año por cada millón de trabajadores, lo cual es prácticamente el doble de la tasa media de la Unión Europea.

Parecen existir varias causas estructurales en ello, incluyendo la fuerte participación de empresas subcontratadas y trabajadores eventuales en algunos sectores, sobre todo el de la construcción. De hecho, en España la siniestralidad media entre los trabajadores eventuales es prácticamente el doble de la de los fijos, lo cual está curiosamente en correlación con la estadística europea, donde el porcentaje de trabajadores eventuales es muy bajo (aproximadamente la mitad del valor español).

Si nos ceñimos a la industria, los índices de siniestralidad que encontramos en el año 2000 son aproximadamente estos:

Índice de frecuencia: 42 accidentes con baja por millón de horas trabajadas

Índice de gravedad: 2,6 jornadas perdidas por accidentes (~ 18 horas) por cada mil horas trabajadas

Índice de incidencia: 39 trabajadores accidentados por cada mil empleados.

Hay que señalar que la coherencia de las cifras anteriores no es plena, por la dificultad de la recopilación sistemática y uniforme de datos. Por ejemplo, teniendo en cuenta que a cada trabajador se le puede asociar unas 1700 horas de trabajo anual, el índice de incidencia podría describirse como 39 accidentados por 1,7 millones de horas trabajadas, que equivale a 23 trabajadores accidentados por millón de horas.

Sin embargo, el número de accidentes con baja es casi el doble (42) lo cual significa que no hay un criterio uniforme al computar la accidentología (Los datos anteriores corresponden a los dados por una muestra bastante rigurosa del sector industrial, dada en "Gerencia de riesgos y seguros", nº 72, 4º trimestre del 2000).

La metodología en este campo se basa lógicamente en la evaluación de los riesgos del puesto de trabajo. Para ello se dispone de varios procedimientos escritos (check lists) de Seguridad Ocupacional, con los que se identifican las fuentes de peligro y la intensidad de éstos. También podría considerarse en estos casos el análisis probabilístico, pero la mayor parte de los organismos competentes no admiten ese planteamiento. Es decir, se considera que la seguridad absoluta es inalcanzable, y que por tanto puede ocurrir un accidente, pero no se admite que éste tenga como causa un peligro bien identificado; pues si se identifica, hay que disponer los medios de protección ad hoc para que desaparezca como tal peligro. En otras palabras, en Seguridad Ocupacional no se suele aceptar el concepto de daño cierto, aunque sea improbable. Se entiende que la tecnología tiene elementos suficientes para evitar ese tipo de daños, aunque nunca pueda garantizarse del todo que las máquinas fallen, o que el elemento humano no se equivoque y dé lugar a un accidente. En este campo juega un papel fundamental el **concepto de límite máximo** de una variable, bien física (temperatura, ruido, radiación,...) bien química (concentraciones de diversos productos).

Las prácticas de Seguridad Laboral se orientan a asegurar que estos límites no se rebasen en ninguna situación concebible y lógica.

Como a menudo la actividad industrial puede exigir que en inmediata vecindad al trabajador sí se den valores por encima del límite permitido, hay que adecuar los adecuados Medios de Protección que han de ser suficientemente eficaces para asegurar que los límites no se transgreden por lo que a la biología del trabajador corresponde. Tal es el caso de las viseras o gafas de atenuación de la radiación electromagnética, tanto en luz visible, como infrarroja cercana (que también se deposita en la retina) como ultravioleta (que deteriora poderosamente el cristalino). En el campo químico son ejemplos notorios las mascarillas, para evitar la inspiración de agentes nocivos; y en el campo térmico, los aislamientos y calorifugados.

En este apartado hay que señalar la existencia de la legislación correspondiente, en cuyo ápice se encuentra la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, de la que deriva el Real Decreto de los Servicios de Prevención. El objeto de esta articulación legal es promover la seguridad y la salud de los trabajadores mediante aplicación de medidas y desarrollo de actividades encaminadas a tal fin.

La Ley está articulada en siete títulos más las disposiciones adicionales y especiales. En el primero de los títulos se especifican el objeto y el ámbito de aplicación de la Ley, y se definen los términos aplicados en su desarrollo. En el segundo título se establecen

los principios para implantar una política en materia de prevención de riesgos que protejan la seguridad y salud de los trabajadores. Los derechos y las obligaciones de todos los agentes involucrados en este tema se contemplan en el título 3.

El título 4º es el de mayor contenido técnico de la Ley, pues trata de los servicios de prevención, aunque posteriormente éste haya tenido su desarrollo reglamentario. En este título se establecen los principios fundamentales que han de regir los estudios de seguridad para poner en marcha servicios que prevengan accidentes y siniestralidad en general

En el título 5º se establece la necesidad de consulta y participación de los trabajadores, como sujetos a la vez pasivos y activos en esta temática, puesto que ellos son quiénes más directamente sufren los efectos de la inseguridad, y por tanto son los agentes a proteger, y de su disposición y buena práctica depende en gran medida el resultado de seguridad.

El título 6º trata de las obligaciones de los fabricantes, importadores y suministradores, en relación con los equipos o productos industriales que puedan estar involucrados en la cuestión de seguridad.

El título 7º define el marco de responsabilidades y sanciones, recayendo las primeras grandemente en el empresario, al que se le obliga a poner en marcha todos los mecanismos necesarios para que haya unos servicios de prevención eficientes.

La Ley de Prevención de Riesgos Laborales no sólo requiere de su desarrollo reglamentario, ya aludido, sino asimismo de la asistencia de una serie de entidades y herramientas operativas que permitan la mejor gestión de la seguridad. Algunas de esas entidades son de tipo general, y merece citarse las siguientes:

- Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo
- Fondo de prevención y rehabilitación, que se nutre de los excesos o superávits de las Mutuas de accidentes
- Inspección de trabajo y seguridad social
- Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo
- Fundación para la promoción de la seguridad y salud laboral
- Organismos de normalización y de infraestructura industrial, que coadyuven a la mejora de la seguridad mediante acciones genéricas.
- Entidades auditoras, de inspección y de control y similares, que contribuyan a la puesta en práctica de las políticas genéricas de seguridad.

Por otro lado, en el ámbito de cada empresa o conjunto de empresas similares, se tienen que contemplar una serie de herramientas o instrumentos de gestión de la seguridad como son:

- Mecanismos de evaluación de riesgos, por auditorías externas o internas
- Programa de formación de trabajadores en temas de seguridad
- Establecimiento de manuales de seguridad e higiene específicos de las instalaciones de la empresa
- Planes y manuales de emergencia y de respuesta ante accidentes
- Gerencia empresarial de riesgos

El conjunto de todas las prácticas que deben implantarse en el seno de la empresa y la vertebración de estas prácticas con los procedimientos operativos ordinarios, debe recogerse en un manual de seguridad que incluya todos los procedimientos

identificados al efecto para mejorar la seguridad, incluyendo la identificación de medidas específicas a implantar en aquellos puntos que necesitan corrección, más la revisión de esto cuando se haya producido la corrección en cuestión. También se tienen que contemplar las actividades de formación y entrenamiento pertinentes.

En ello pueden ser extremadamente útiles los **Manuales de prevención de salud laboral**, que diversas Mutuas de accidentes publican y mantienen actualizados con objeto de ayudar a sus mutualistas a cubrir los objetivos de los servicios de prevención.

Estos manuales deben ser confrontados en su utilidad práctica mediante auditorías en las que se revisen los procedimientos y las actuaciones en evaluación de riesgos, todo lo cual debe quedar documentalmente archivado para sus revisiones pertinentes. Esto incluye la verificación de que las especificaciones *técnicas de control y vigilancia de las variables físicas y químicas se producen de tal manera que puedan declararse situaciones de emergencia cuando sea pertinente*. Como colofón de esto se necesita la elaboración de **Planes de emergencia** para actuar en respuesta a accidentes de la diversa tipología que se haya identificado en las auditorías.

En el ámbito global de la seguridad laboral tienen también considerable importancia, aunque no son propiamente parte de la seguridad industrial, los historiales médicos del personal, puesto que no solo se trata de la prevención de accidentes sino de la precaución contra las *enfermedades profesionales*. A este respecto cabe indicar la existencia del Real Decreto de Enfermedades Profesionales R.D. 1955/1978.

Se ha mencionado reiteradamente que el tema de la seguridad laboral debe ser fundamentalmente precautorio, y encaminado *a evitar daños actuando sobre los orígenes del peligro*. No obstante, hay que tener en cuenta que los accidentes y las enfermedades laborales son imposibles de prevenir en su totalidad por las propias incertidumbres y por la naturaleza estocástica de los fenómenos físicos y del comportamiento humano. Debido a ello, es muy importante mantener un historial sobre la siniestralidad producida, que permita ir mejorando los aspectos que hayan fallado en la seguridad.

Esta práctica de *revisión de los casos anómalos producidos* se da tanto para la seguridad ocupacional como para los otros tipos de seguridad, particularmente es significativa en el estudio de los accidentes graves.

Por último, y de forma sistematizada, conviene que mediante el historial de la siniestralidad, se establezcan indicadores que permitan tener una idea de cual es en términos cuantitativos la situación de seguridad de una determinada empresa o sector respecto de lo que sería deseable o de la inseguridad por causas naturales. Los tipos de indicadores que más se utilizan a este respecto son:

- *Indicadores de seguridad*, como son los tiempos transcurridos sin accidente laboral con baja, o la producción conseguida sin pérdidas por averías o accidentes. En términos estadísticos esto se suele denominar tiempo medio entre fallos, aunque también cabe aplicarlo a accidentes de tipología inespecífica.
- *Indicadores de prevención*, que a su vez pueden ser de diversa índole:
- *Económicos*, como es el coste de la gestión de seguridad, y el porcentaje que se dedica a seguridad en las inversiones de nueva planta o en la atención rutinaria a la seguridad, tomando en este caso como referencia el volumen de ingresos totales de la entidad.

- *Organizativos*, como son el porcentaje de las medidas correctoras, previamente identificadas que se han logrado poner eficientemente en marcha, en un plazo dado, generalmente un año.
- *Técnicos*, como es el porcentaje de horas dedicadas a formación en seguridad por las diversas categorías o especialidades de trabajadores. También se considera un indicador técnico el porcentaje de situaciones anómalas o imprevistas resueltas convenientemente mediante la correspondiente aplicación de una medida de emergencia prevista o simplemente por la reacción adecuada del personal involucrado.
- *Legales*, como puede ser el porcentaje de cumplimiento de la reglamentación, que tendría que llegar al 100% en la situación ideal, así como el número de normas recomendadas que se han puesto en práctica para estar más al día respecto del estado del arte.

Un tercer grupo de indicadores lo forma la siniestralidad en sí misma, como pueden ser los de tipo:

- *Personal*, como es el índice de frecuencia y el índice de incidencia en los trabajadores, medido bien en tiempo, bien en número de éstos.
- *Materiales*, que debe reflejar el número total de averías, y sus clases; identificación del tipo de maquinaria que genera los accidentes; y número de escapes de productos peligrosos o de fluidos de gran contenido energético.
- *Inmateriales*, como son los que pueden afectar al buen nombre de la empresa por la acumulación de accidentes, o los que pongan en evidencia la utilización de tecnología inadecuada en diversos procesos.
- *Económicos*, destinados a valorar la incidencia económica de los accidentes, como es el coste total de los accidentes, tanto de manera directa como en lucro cesante, los valores medios de pérdida por accidente para los diversos tipos de riesgo, y en definitiva la relación entre los costes directos de la siniestralidad y los reintegros recuperados por la cobertura de riesgos que se haya establecido previamente mediante las correspondientes primas.
- *Legales*, que debe incluir el número de condenas judiciales falladas en contra, debido a accidentes o siniestros; el número de denuncias efectuadas por las administraciones públicas y sus inspecciones, el número de denuncias efectuadas por los trabajadores, y en definitiva el número de denuncias o reclamaciones que vengan de terceras partes, incluyendo de manera muy especificada las reclamaciones de consumidores directos o de usuarios del servicio industrial prestado.

Respecto de esto último, es común en las entidades empresariales que producen productos o prestan servicios bajo garantía, el establecimiento de un fondo de garantía, con el cual atender las reclamaciones habidas. En este caso resulta un indicador muy significativo de la seguridad y calidad de los servicios suministrados, el valor del fondo de garantía ejecutado, respecto del volumen de ingresos de la compañía.

En definitiva en la seguridad laboral importa de manera esencial la identificación de los peligros inherentes a los diversos puestos de trabajo, y la aplicación de la **normativa** adecuada para garantizar que las variables físicas y químicas sujetas a límites máximos no lleguen a valores por encima de éstos.

Adicionalmente a esta primera aproximación, cabe la identificación de **medidas de protección** individuales y generales para mitigar los efectos ordinarios de las variables físicas y químicas sobre los trabajadores.

Por último queda la cuestión de vital importancia respecto a la *reacción ante accidentes y planes de emergencia*, para lo cual se ha debido de elaborar un análisis adecuado de los equipos y procedimientos que se han de tener a disposición de los trabajadores para poder reaccionar en el menor plazo posible ante situaciones anómalas. También se ha de contar en estas situaciones con diseños previos que contemplen la mitigación de los efectos de los accidentes, y eviten la propagación amplificada de éstos, mediante incendios, fallos en cadena, liberaciones adicionales de productos tóxicos y similares. Téngase en cuenta que en gran medida la capacidad de reacción ante una emergencia es función fundamental de las prevenciones que se hayan identificado a priori en el manual de seguridad y en el plan de emergencia que se haya previsto por los sistemas de prevención y por las auditorías de seguridad.

Para la realización de estas auditorías y en general de la evaluación de riesgos en el puesto de trabajo, conviene citar varia documentación ya existente, aunque todavía no absolutamente rodada, tanto en el campo internacional como en el nacional. Por lo que corresponde al primero, la U.E. ha elaborado una guía para orientación de la evaluación de los riesgos en el puesto de trabajo, publicada por la Dirección General de Empleo, Relaciones Laborales y Asuntos Sociales (Luxemburgo, 1997) con el título "Directrices para la evaluación de riesgos en el lugar de trabajo".

También cabe consultar la información generada por la agencia norteamericana OSHA (Occupational Safety Helath Agency, consultable en www.osha-slc.gov).

Por lo que corresponde al ámbito nacional, hay que dejar constancia de la existencia de una norma experimental, concretamente la UNE 81900-1996 EX, en la cual se establecen los requisitos que integran un sistema de gestión para la prevención de riesgos laborales.

La norma parte de un planteamiento de cual ha de ser la política de prevención de riesgos laborales, y como ésta se puede implantar gracias al adecuado sistema de gestión y de prevención de esos riesgos. En la Norma se establecen responsabilidades y una metodología genérica de la evaluación de los riesgos.

Uno de los apartados más importantes está destinado al análisis de la planificación de la prevención con dos epígrafes fundamentales:

- Los objetivos y metas en la prevención de riesgos laborales,
- El programa de gestión en la prevención de sus riesgos

Como en la práctica totalidad de la normativa, un apartado importante se dedica a la documentación de dicho sistema de gestión y al mecanismo para elaborar un manual de prevención y seguridad a partir de dicha documentación.

Una cuestión capital en la praxis de la metodología operativa de la seguridad laboral es el control de las actuaciones, que implica mantener actualizado un *registro de la prevención de riesgos*. Esto permite en definitiva configurar una sistemática de evaluación del propio sistema de gestión de riesgos laborales.

Aunque esta norma tenga carácter experimental, desde el punto de vista de su aplicación es perfectamente válida, y puede orientar sobradamente para efectuar auditorías de seguridad y confeccionar los manuales correspondientes.

Ahora bien, conviene subrayar que no existe un único modelo de empresa ni organización de trabajo, ni todas las actividades presentan el mismo tipo de riesgo, y por tanto en principio no existe un único procedimiento para evaluarlos.

La empresa puede adoptar cualquiera de los métodos que mejor se adapten a sus peculiaridades o recurrir a auditorías exteriores de personal solvente, o de mutuas de trabajo que tengan especialistas

En todo caso, la evaluación de los riesgos debe tener en cuenta los requisitos impuestos por la legislación, y particularmente el R.D. 39/1997 de los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales, lo cual es de obligado cumplimiento, y su observancia es fundamental para evitar responsabilidades civiles y penales en esta materia.

4. Evaluación de riesgos y requisitos de seguridad en los productos y servicios industriales

La metodología relativa a este apartado se desarrolla ampliamente en el capítulo V de este mismo libro.

Conviene anotar no obstante que en esta materia la problemática de seguridad viene tratada con dos enfoques distintos. Por un lado existe aún el denominado Antiguo Enfoque, basado en la homologación previa de los productos, y en la cual se ha de superar el trámite de homologación oficial por parte de la autoridad pertinente, que a su vez puede apoyarse en laboratorios de ensayo oficiales o en entidades colaboradoras que realicen las funciones de inspección y ensayo que se requieran para superar la homologación. Este es el caso de los automóviles, que están sujetos a una normativa internacional derivada de los acuerdos de Ginebra de 1958, y desarrollo subsiguiente, por lo que la comercialización de un vehículo o de piezas para dicho vehículo exige la tramitación correspondiente de la homologación de tipo.

Por otro lado existe el llamado Nuevo Enfoque, que se inscribe dentro de la política de seguridad de la Unión Europea, haciendo ésta compatible con una dinamización del llamado Mercado Interior de la Unión Europea, en el cual se permite el libre tránsito de mercancías de unos países a otros, sin existencia de barreras arancelarias ni de tipo técnico.

El Nuevo Enfoque está ligado al Mercado CE, que exige la declaración de conformidad por parte del fabricante o importador y la formulación de un expediente técnico en el que se recojan los resultados de los análisis efectuados de acuerdo con los módulos de verificación del cumplimiento, para tener la certeza de que se cumplen los requisitos de seguridad exigidos por las directivas aplicables a los productos.

La evaluación de la conformidad se realiza de acuerdo con el llamado Enfoque Global para la evaluación del cumplimiento de requisitos, lo cual descansa en la aplicación de una serie de módulos (con 16 especialidades en total) que se describen adecuadamente en el capítulo mencionado.

Los aspectos técnicos de la seguridad de los productos descansa aquí en la evaluación de riesgos, la cual se efectúa guiada por los Reglamentos aplicables a cada país (que no pueden vulnerar disposiciones europeas de mayor rango, si éstas existen) o por normas armonizadas a nivel de la U.E., relacionadas con el Nuevo Enfoque.

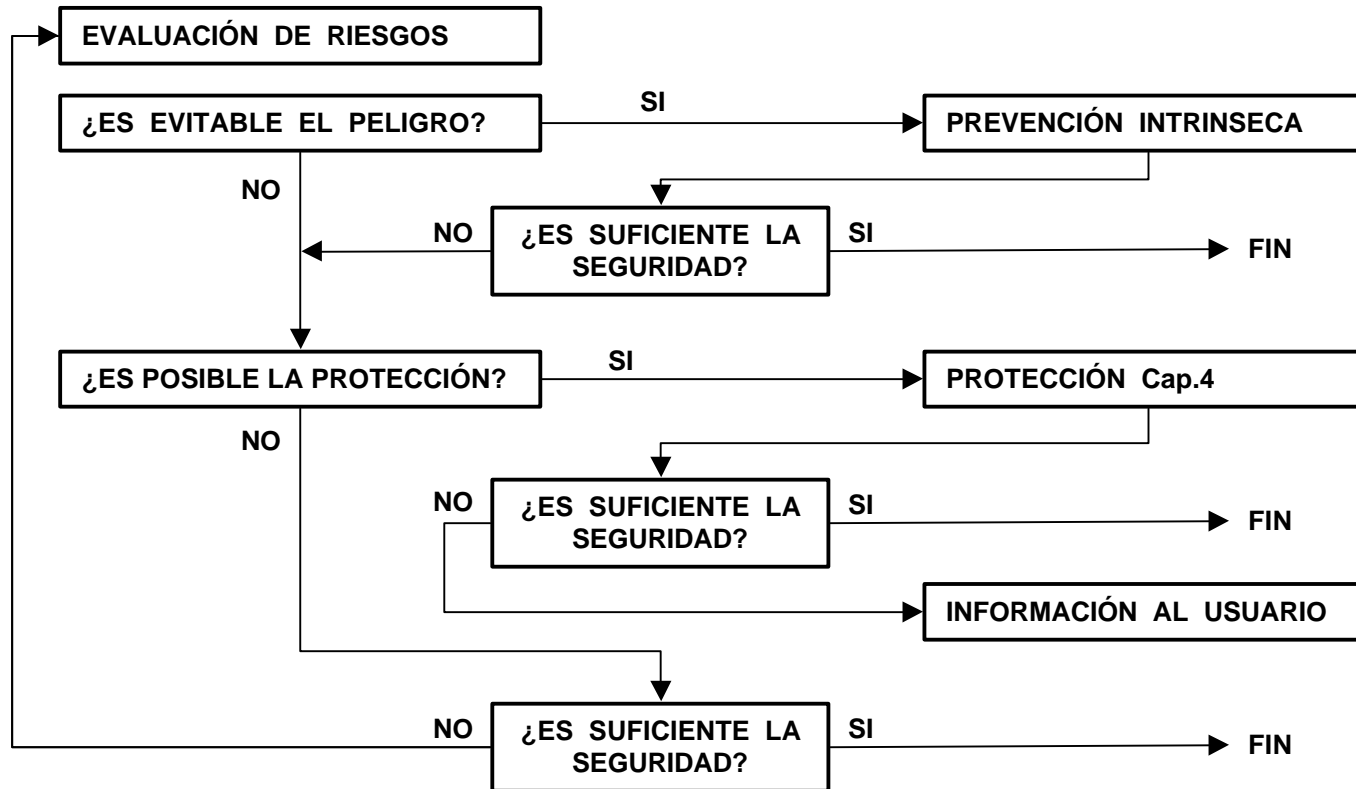
La evaluación de los riesgos se ha de efectuar fundamentalmente a nivel del expediente técnico formulado para cada producto, y en dicho expediente se han de contemplar los aspectos que establezca el conjunto de directivas correspondiente.

En la figura 2 de estudio de adecuación de una máquina, se presenta un esquema de cómo tiene que efectuarse la evaluación de éstas, con arreglo a la filosofía que determina la Directiva de Máquinas de la U.E. En la identificación de riesgos, hay que tener en cuenta todos los aspectos que puedan intervenir en la máquina como son:

- Ergonomía, o adaptación de la máquina al usuario y viceversa.
- Mecánico, incluyendo aspectos relacionados con movimiento de piezas, vibraciones y ruido. En particular son importantes los peligros por atrapamiento de miembros, abrasión de los mismos, etc.

Figura 2

ESTUDIO DE ADECUACIÓN DE UNA MÁQUINA



También se han de tener en cuenta los aspectos térmicos y eléctricos, aunque éstos están contemplados a su vez en otra Directiva, la denominada de Baja Tensión.

Junto a las disposiciones europeas en diversos ámbitos aplicables a diversos productos, existe en cada país un conjunto de Reglamentos que establecen límites acerca de diversas variables y fijan diversos mecanismos de protección a diferentes servicios industriales, y particularmente el eléctrico, el de combustibles y el de productos químicos.

En el caso eléctrico, existe por ejemplo, en España, un Reglamento de Baja Tensión que establece los requisitos que deben cumplir las instalaciones domésticas comerciales e industriales que estén por debajo de determinados niveles de tensión (típicamente 1000 voltios) y que configuran los sistemas de protección del público usuario, empleando el estado del arte de la tecnología eléctrica de la manera más racional posible. Existe un conjunto de reglamentos sectoriales publicados por diversos reales decretos que constituyen la referencia fundamental e inexcusable para la instalación de servicios industriales y su funcionamiento y mantenimiento.

En este caso, la evaluación de riesgos se puede circunscribir fundamentalmente al cumplimiento de lo establecido en los Reglamentos que incorporan, para un mayor detalle técnico y en forma de guía de aplicación, una serie de instrucciones técnicas complementarias (ITC) que se considera constituyen las guías que se han de observar para conseguir el nivel de seguridad factible con el estado de la técnica en un momento dado, que es a lo máximo que cabe aspirar en este ámbito.

5. Análisis de riesgos en relación con accidentes graves. Planes de emergencia

El concepto de plan de emergencia es de amplia utilidad en la metodología de seguridad industrial, y puede hacer referencia a la reacción ante pequeños incidentes o accidentes que queden restringidos prácticamente al ámbito de la seguridad laboral. En ese sentido puede hablarse de planes de emergencia internos, que limitan su objetivo y ámbito de aplicación al interior de las instalaciones o de las empresas.

Existen sin embargo diversas circunstancias en que los efectos de los accidentes trascienden los límites de las empresas, o de la zona bajo control del propietario o empresario, suscitándose en ese momento la necesidad de planes de emergencia exteriores, que por lo general obligarán a intervenir a la autoridad pública y a los servicios de protección civil.

En este caso el objetivo es la protección de la población en general, de sus bienes, y del medio ambiente, y las causas de riesgo están por lo general motivadas por la efluencia de cantidades apreciables de sustancias tóxicas o de gases de alto contenido energético, que pueden dar lugar a deflagraciones y explosiones.

El marco legislativo en este caso varía en función del tipo de industria de que se trate. Existe por un lado la especificidad de las radiaciones ionizantes, y esto se trata a nivel de cada país, aunque el cuerpo de doctrina de seguridad industrial, en este caso nuclear, es común a todos los países occidentales, y en gran medida regido por los dictámenes recogidos en el 10 CFR (Code of Federal Regulations) de los EEUU de Norteamérica. También son importantes en el ámbito de la protección radiológica los dictámenes de la Comisión Internacional de Protección Radiológica ICRP.

Estos temas son muy específicos de las radiaciones ionizantes, y su tratamiento se realiza a través de legislaciones específicas de los diversos países, incluyendo en ellas la trasposición de acuerdos internacionales, por los efectos transfronterizos que pueda haber en la emisión de sustancias radiactivas.

En España las dos leyes que enmarcan la actividad reguladora legislativa sobre este tema son la Ley 25/1964, de Energía Nuclear, y la Ley 15/1980 de creación del Consejo de Seguridad Nuclear, organismo dependiente del Parlamento, y máxima autoridad en dicho tema.

Existe adicionalmente un desarrollo reglamentario, contenido en el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas y en el Reglamento de Protección contra las radiaciones ionizantes, el cual a la vez tiene en cuenta las recomendaciones internacionales de la ICRP y, de manera obligada, la Directiva europea sobre este tema. Estos asuntos se tratan en el capítulo XII de este libro, por Eduardo Gallego.

La seguridad nuclear constituye un ámbito muy específico de actuación, por la especificidad de sus instalaciones y de los daños causados por las radiaciones ionizantes. Compete al Consejo de Seguridad Nuclear el establecimiento de requisitos genéricos y específicos de cada instalación para asegurar el funcionamiento de ésta dentro de los límites tolerables.

En este caso, como en el de cualquier otro relativo a la seguridad, el concepto de seguridad absoluta no puede ser aplicable, puesto que implicaría un coste infinito de

seguridad, y aun así no eliminaría de raíz y de modo total la posibilidad de un accidente, aunque este fuera muy remoto.

En este ámbito, como en general en todos los referentes a accidentes mayores, cobra importancia fundamental el *concepto de coste-beneficio*, entendido en este caso de manera muy estricta, no solo desde el punto de vista económico, sino también de protección de la sociedad.

En la aplicación práctica de este análisis a los casos nucleares, se suele llegar a la filosofía ALARA, correspondiente a las siglas inglesas de *As low as reasonably achievable*, es decir tan bajo como sea razonablemente alcanzable. Ello hace referencia al nivel de siniestralidad asociada al funcionamiento de estas instalaciones.

Habida cuenta de la naturaleza estocástica del funcionamiento de los equipos y de la reacción de los materiales ante diversas sollicitaciones mecánicas, térmicas, etc., en esta ingeniería se utilizan de manera habitual los estudios denominados análisis probabilísticos de seguridad, que se basan en la consideración de los diversos componentes o subsistemas de la instalación que pueden comprometer su integridad o su funcionamiento nominal, y que por tanto pueden dar lugar a accidentes de diversa clase. Las herramientas para realizar estos estudios APS se comentan al final de esta sección.

Otro campo específico donde se pueden producir alteraciones de cierto nivel es el minero, aunque aquí por lo general la mayor incidencia, con diferencia, recae en el campo de la seguridad operacional, y es sufrida por los propios profesionales del sector.

Por el contrario, en el campo de la ingeniería química, los efectos de un accidente pueden traspasar con relativa facilidad las barreras o límites de la instalación, y transformarse en un accidente grave. Tal fue el caso del accidente ocurrido en Seveso en 1976, y el cual fue origen de la primera, y posteriormente segunda, Directiva europea sobre accidentes graves, enfocada básicamente a la industria química, pues quedan fuera de su ámbito la minería, la energía nuclear, y la industria de defensa, explícitamente.

La Directiva Seveso se concibió como la expresión mínima que se debe adoptar para la protección de las personas que vivan en las inmediaciones de las instalaciones que contienen o pueden contener sustancias tóxicas o agresivas, y que están referenciadas en los apéndices de la Directiva. Dicha Directiva fue traspuesta a nivel nacional mediante la promulgación del R.D. 886/1988, que especifica qué tipos de instalaciones están afectadas por esa normativa y cuales son las sustancias que dan origen a tomar determinadas precauciones, incluyendo el estudio completo de la seguridad de la instalación mediante algún procedimiento aceptable, como es el método Hazop, y que establece además mecanismos para la autoprotección, el control por parte de la autoridad, la información a la autoridad sobre accidentes mayores, y otros aspectos que se han de tener en cuenta en el Plan de Emergencia Exterior.

Este plan debe estar orientado a que en las inmediaciones de la instalación no se alcancen los límites máximos permitidos de concentración en aire o agua de las sustancias tóxicas de diversa naturaleza. Se entiende que en el interior de la instalación se pueden tomar las medidas adecuadas por parte del personal de la instalación, que cuenta con la formación y el entrenamiento adecuados y con los equipos de protección

individual necesarios para hacer frente a las contingencias previstas en el Plan de Contingencia Interior.

Habida cuenta que en las concentraciones de emisión tienen especial efecto las condiciones meteorológicas y las urbanísticas alrededor de la instalación, se plantea en este caso una problemática de la relación de vecindad entre la instalación y sus inmediaciones, y de hecho en la Directiva Seveso II una de las cuestiones capitales que se consideran es la variación de las circunstancias urbanísticas de una instalación con posterioridad al establecimiento de la misma y como consecuencia de la extensión de los cascos urbanos, que a menudo entran en interacción con la zona potencialmente afectada en un plan de emergencia exterior. De ahí que la Directiva Seveso II ponga mucho énfasis en que las autoridades locales conozcan los planes de emergencia de las instalaciones afectadas por las directivas Seveso y prevean restricciones suficientemente efectivas al aumento de vecindario en la zona, o a la aproximación del vecindario a los recintos industriales clasificados en esta Directiva.

La metodología de seguridad, a nivel industrial, no puede sin embargo afectar al exterior del recinto en sí mismo, y a sus propias instalaciones por lo que la ingeniería de seguridad ha de tender a minimizar los riesgos de escape, a valores tan bajos como sea razonablemente alcanzable, tal como se describió en relación con la filosofía ALARA.

En el capítulo XIV, de Tomas Briñas, se pasa revista a la aplicación de estas metodologías de seguridad a una planta industrial de características tales que cae plenamente dentro del ámbito de las directivas Seveso.

Para llevar a cabo los estudios de seguridad de las instalaciones potencialmente susceptibles de sufrir accidentes graves, e igualmente para efectuar un análisis completo coste-beneficio, hace falta recurrir a una herramienta de caracterización de los sucesos accidentales, asociándoles una determinada probabilidad y unos efectos de daño.

Existen varias metodologías para la evaluación de este tipo de riesgos y un esquema de las mismas se muestra en la figura 3.

Una de las técnicas más usadas es la denominada HAZOP (Hazard and Operability Análisis), en la cual se realiza una indagación sistemática de las condiciones de operabilidad de la planta, y de los riesgos que puede llevar asociada la aparición de averías o fallos mecánicos y humanos en la misma.

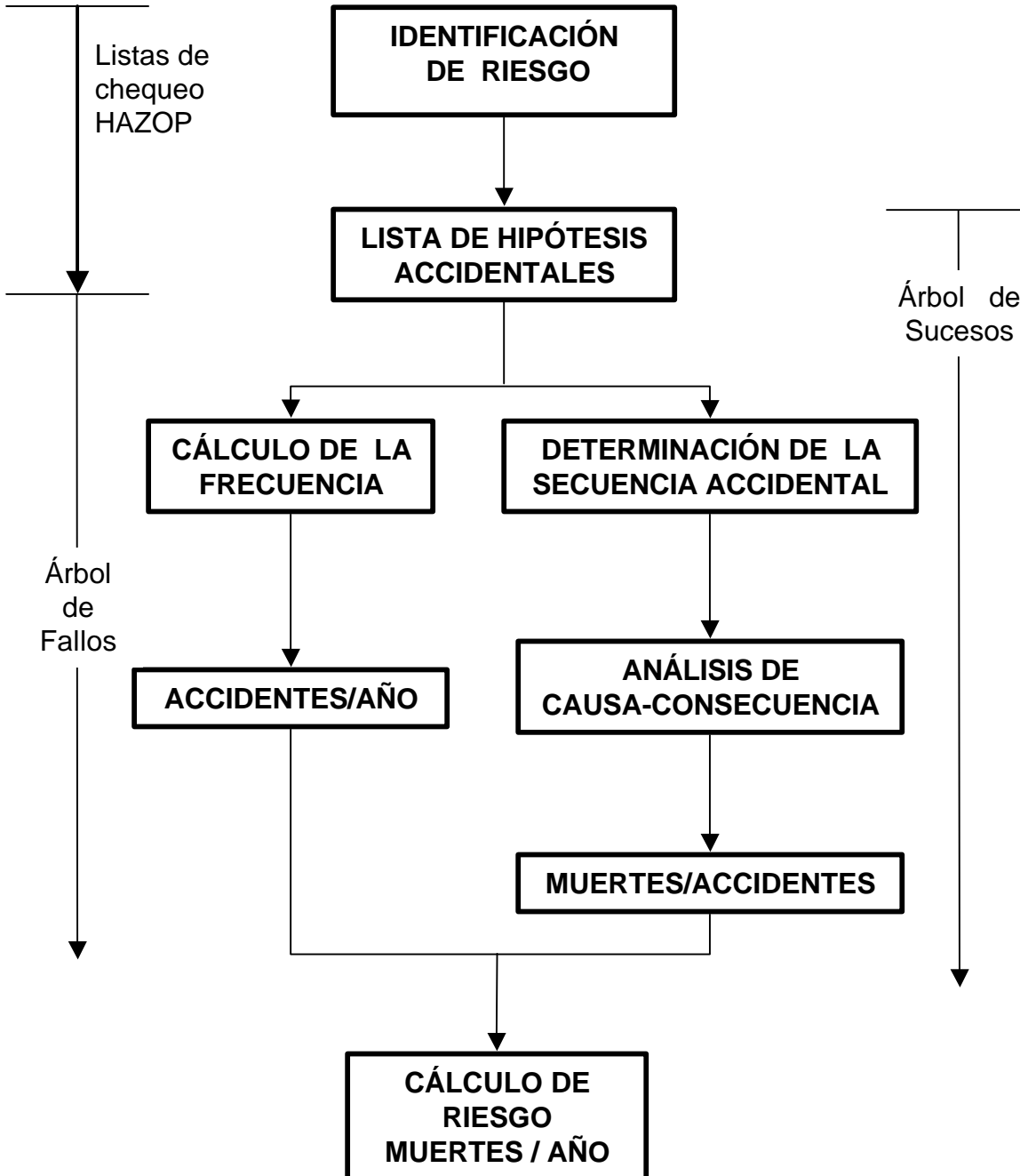
Ello da lugar a la confección de una lista de hipótesis accidentales, que en lo deseable deberían abarcar todo el espectro de incidencias que fueran razonablemente esperables.

Cada una de estas hipótesis accidentales puede dar lugar a un árbol de sucesos, en el cual se determine la secuencia accidental que puede tener lugar en la planta y por tanto llegar a un análisis causa-consecuencia, en la que se asocie la hipótesis accidental con unos efectos determinados, incluyendo muertes esperadas o daños de menor envergadura a las personas, cosas o al medio ambiente. Véase figura 4.

El árbol de sucesos es no obstante de característica esencialmente cualitativa, en cuanto a que se pueden determinar de manera aproximada las muertes y demás daños asociados a un determinado tipo de accidente.

Figura 3

SISTEMA DE EVALUACIÓN DE RIESGOS



Se debe complementar esto con un cálculo de la frecuencia de ese tipo de accidentes, lo que da lugar al análisis por árboles de fallos. En este caso se analiza qué conjunto secuencial o paralelo de fallos debe darse en la instalación para que tenga lugar la hipótesis accidental aludida. En estos casos se suele asociar una tasa de fallos a diversos sucesos iniciadores que eventualmente pueden llegar a generar la hipótesis accidental. A su vez, esa tasa de fallos, en número e incidencias por año o similar, tiene que ir complementada con unos valores de probabilidad de éxito en las diversas funciones de seguridad de los equipos que tengan que intervenir.

Por lo general, las tasas de fallos de los elementos componentes y subsistemas obedecen a una distribución estadística tipo poison, mientras que la probabilidad de éxito o su complementario de fallo de un sistema de seguridad para atajar el efecto negativo provocado, es de naturaleza binomial, ésto es, éxito/fallo, tal como se muestra en la figura 5.

Obviamente, no es fácil determinar las características o estadísticas de estas distribuciones, tanto poissonianas como binomiales. En algunos casos no existe suficiente acumulación de historia para determinar la auténtica tasa de fallos, que además típicamente arroja tres etapas diversas en la vida de un componente, que suelen apreciarse de curva de bañera, y se ven en la figura 6.

En la primera etapa de la curva de bañera, la tasa de fallos es alta como consecuencia de la aparición de los denominados fallos de nacimiento, asociados a defectos en la fabricación de materiales o en la instalación. Por lo general, en las instalaciones caras y con un índice de peligrosidad alto, este periodo de infancia suele superarse durante la puesta en marcha, con los consiguientes ensayos no destructivos y verificaciones de diverso tipo. En la curva de bañera existe posteriormente una zona de tasa de fallos pequeña y prácticamente constante a lo largo del tiempo, hasta la aparición de los fallos de envejecimiento en los cuales la tasa de fallos vuelve a dispararse y crecer, provocando un aumento considerable en la peligrosidad de la instalación.

Similarmente, en las distribuciones binomiales que caracterizan el éxito o fallo de un sistema de seguridad cuya función se necesita en un momento dado, hay numerosa incertidumbre, pues estos sistemas son generalmente muy peculiares, individualizados, y acerca de los cuales no existe una información suficientemente grande. Más aún, un correcto mantenimiento y una verificación periódica de la funcionalidad de esos sistemas puede hacerlos mucho más fiables que lo que serían en caso de sufrir deterioro por abandono, falta de mantenimiento o falta de verificación. En todo caso, y advirtiendo las incertidumbres de los modelos estadísticos, mediante los árboles de fallos se pueden determinar cual es la probabilidad de aparición de una hipótesis accidental que lleva aparejada una determinada valoración de consecuencias, incluyendo por ejemplo el número de muertes provocadas por ese tipo de accidentes. Combinando esto último, que se determina en el árbol de sucesos (véase figura 3), con el número de accidentes de ese tipo esperables en un determinado periodo, por ejemplo un año, se llega al cálculo del riesgo en muertes por año (o en otro tipo de daño por año) con lo cual el análisis global del riesgo está finalizado.

Figura 4

ESQUEMA DE APLICACIÓN DE UN ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

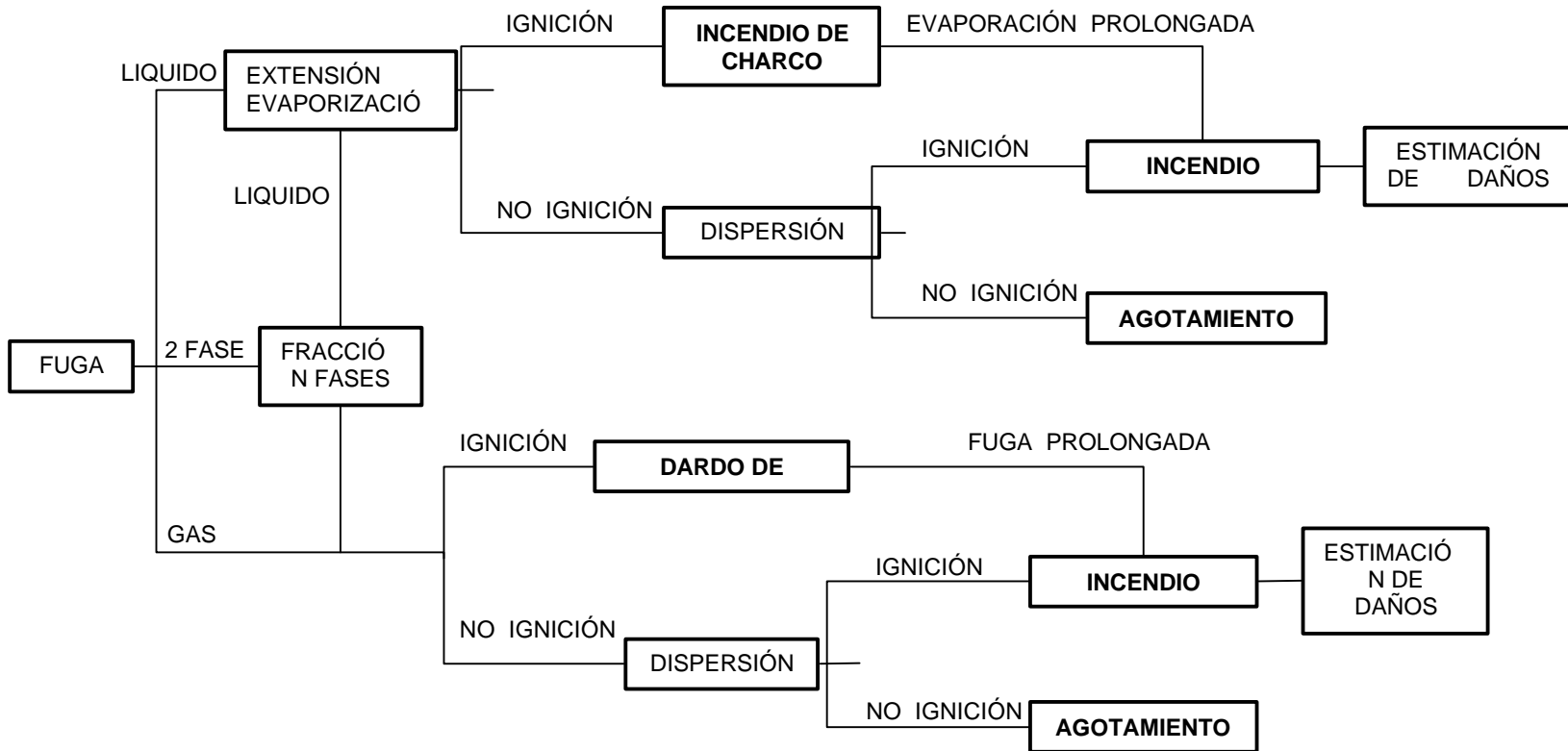


Figura 5

ÁRBOL DE FALLOS

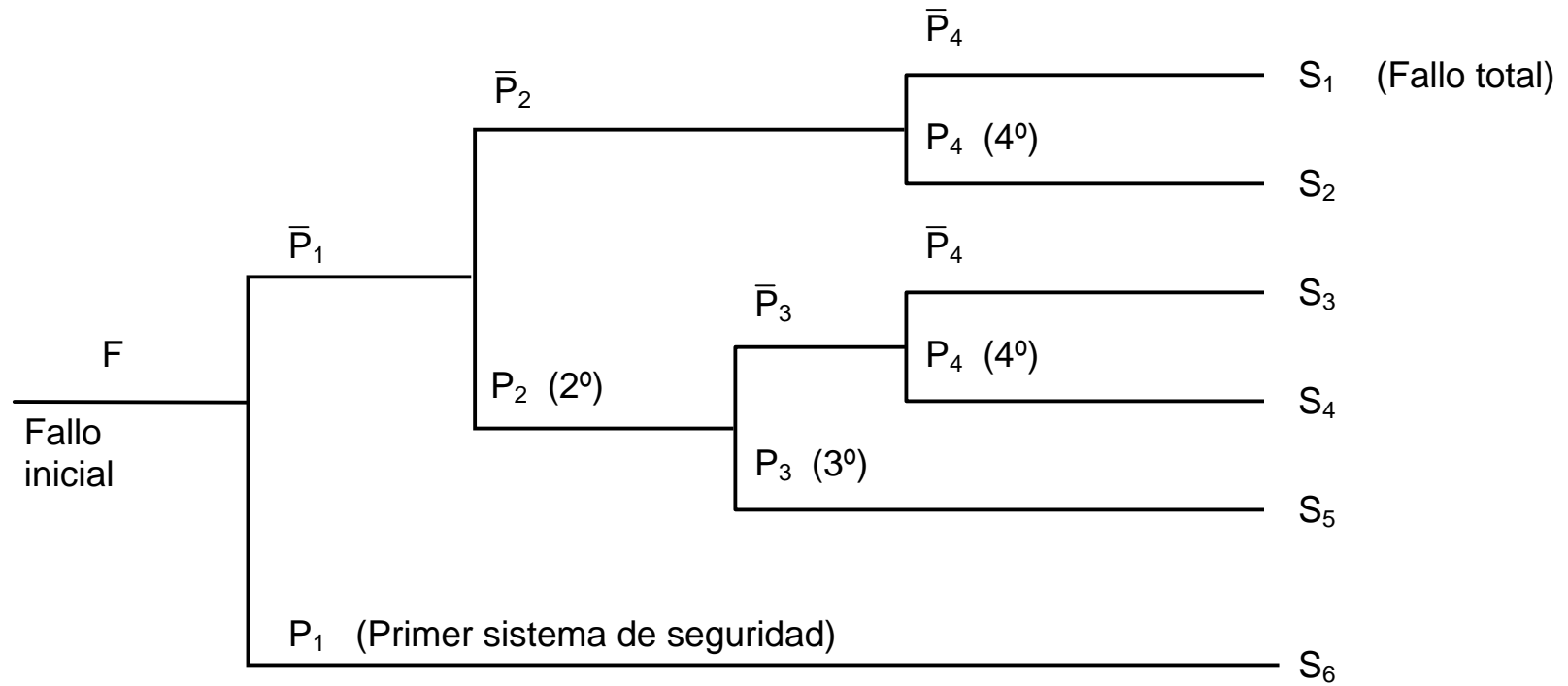
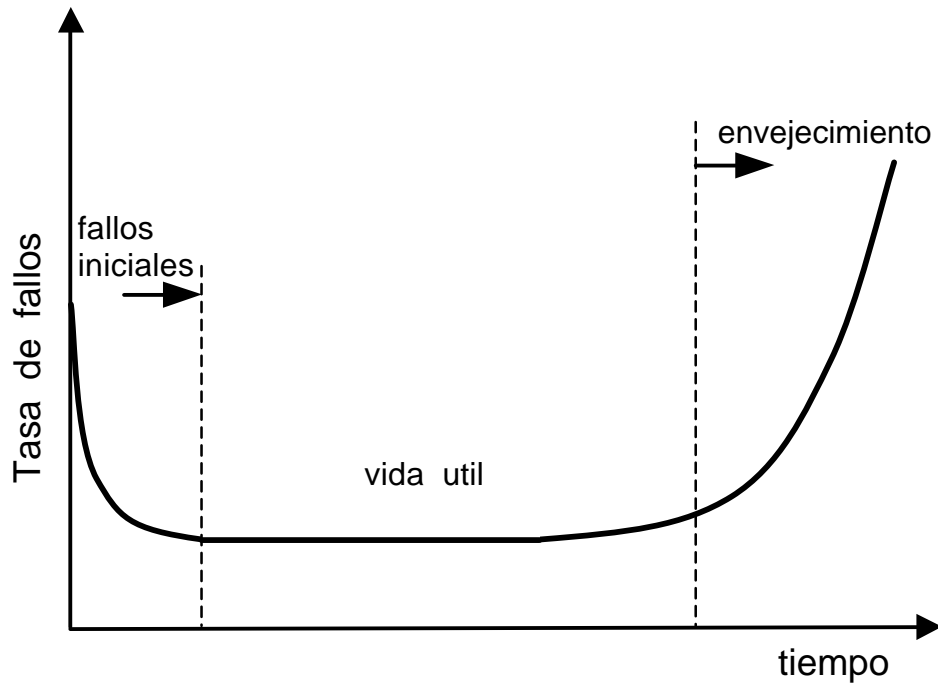


Figura 6

**CURVA DE BAÑERA QUE TIPIFICA
LA TASA HABITUAL DE FALLOS
A LO LARGO DEL TIEMPO**



Una de las ventajas de esta metodología es que permite *identificar cuales son los sucesos que comportan mayores repercusiones accidentales, y así mismo cuales son las vías por las cuales se producen mayor frecuencia en diversos tipos de accidentes*. Dicho de otra manera, esta metodología permite determinar cuales son los elementos y subsistemas cuyas prestaciones de seguridad hay que mejorar preferentemente para obtener un buen resultado de seguridad.

En las figuras 7 y 8 se muestra un espectro teórico de accidentes que puede darse en una instalación hipotética en función de sus consecuencias y de la probabilidad de que se supere el valor de dichas consecuencias. Habida cuenta de los múltiples sucesos iniciales que pueden considerarse y de las incertidumbres asociadas a diversos equipos, en principio se tiene una madeja de curvas que relacionan la probabilidad y el daño o consecuencia. Por lo general, las curvas tienen una tipología similar, siendo relativamente probables los accidentes con consecuencias bajas y altamente improbables los accidentes con consecuencias elevadas.

Del conjunto de la información que proporciona el análisis estadístico (figura 7) se llega a una caracterización como la expresada en la figura 8, en la que se ve el valor medio y los percentiles más representativos. Ello configura un mapa de riesgos, y en particular da unas cotas sobre cuáles son las consecuencias máximas esperadas en estos accidentes. Conviene señalar que la sociedad por lo general no admite accidentes de tipo catastrófico, es decir con consecuencias muy elevadas, siendo mucho más permisiva la aceptación de accidentes relativamente probables pero con un número de bajas pequeño en cada uno de ellos.

Puede cuestionarse esta percepción del riesgo, puesto que la valoración final del número de bajas puede ser prácticamente la misma, pero hay que tener en cuenta este efecto psicológico a la hora de plantear una instalación y su aceptación por parte del público.

5.1. Análisis fiabilístico de la seguridad

Para una instalación dada, en cuyo proyecto se hayan acordado una serie de sistemas de seguridad, y sobre la cual quepa calcular cuál es el coste del nivel de seguridad que se ha proyectado, es posible hacer análisis de tipo probabilístico con objeto de determinar cual es el grado de inseguridad y de consecuencias perjudiciales que puede asociarse a esa instalación según el proyecto concreto realizado.

Lógicamente, de incrementar las medidas de seguridad del proyecto, se estaría realmente en otra instalación concreta, aunque fuese la misma, pero no lo sería en su contenido. De haberse incrementado el conjunto de medidas de seguridad, se habría incrementado el coste real de la inversión, pero al mismo tiempo habría aumentado el grado de seguridad asociado, o alternativamente, habría disminuido su grado de inseguridad, con lo cual se ahorraría mucho más dinero en los denominados costes hipotéticos. Estos costes ciertamente son de naturaleza hipotética, y solo aparecerían en la realidad de producirse accidentes, que en principio no se pueden predecir de manera determinista, sino todo lo contrario. Es probable que para una instalación determinada no ocurra ningún accidente a lo largo de toda su vida útil, y que para otra instalación similar, pero que se haya gastado más dinero en sistemas de seguridad, sin embargo sí ocurran accidentes, con la consiguiente contrapartida económica, al menos, cuando no de vidas humanas, las cuales también tienen su valoración económica.

Figura 7

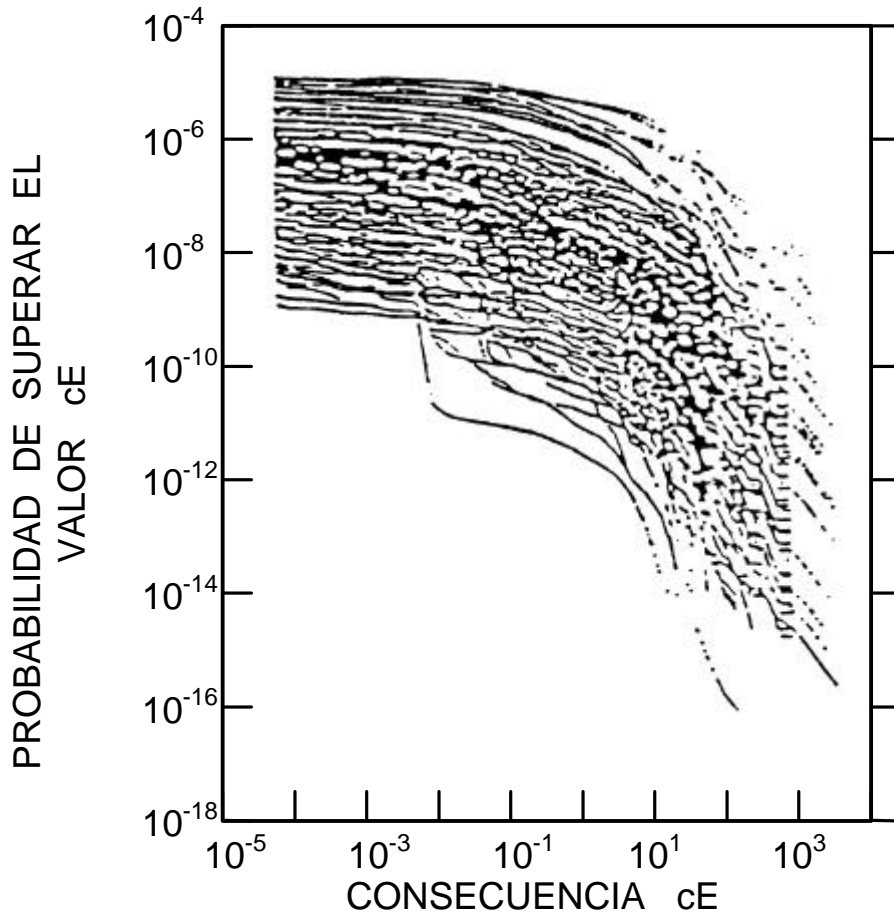
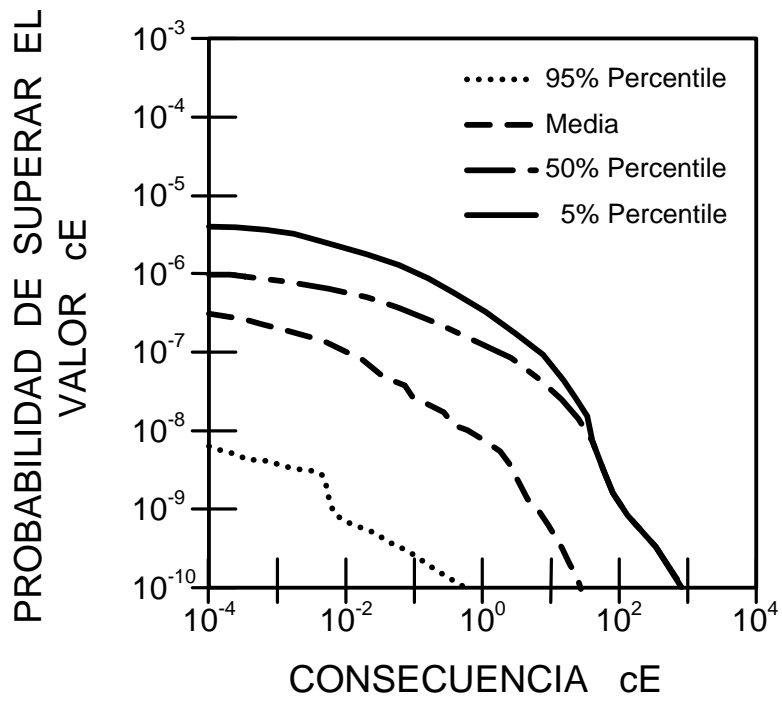


Figura 8



Independientemente de que la vida útil de una determinada instalación solo se pueda conocer a posteriori, y por tanto no en el momento del proyecto, sí es factible y aconsejable efectuar análisis fiabilísticos de seguridad, en los cuales, para un diseño dado y un nivel de inversiones en seguridad, se puede estudiar cuales son las consecuencias previsibles que pueden ocurrir en dicha instalación, debido a accidentes hipotéticos.

Esta valoración de la inseguridad y los costes que conlleva es un ejercicio consustancial al análisis coste-beneficio, puesto que el beneficio en este caso es hipotético pero se obtiene al reducir la inseguridad y por tanto las consecuencias catastróficas que pueden derivarse de averías, fallos humanos, etc.

Para determinar los costes de la inseguridad, se puede utilizar como herramienta fundamental el análisis fiabilístico, que consiste en emplear árboles de fallos para determinar las probabilidades de que ocurran diversos eventos en el funcionamiento de la instalación, y árboles de sucesos, para establecer las consecuencias que pueden derivarse de unos fallos determinados.

En ambos casos, en los árboles de fallo y en los árboles de sucesos, existe siempre una componente probabilística, y la precisión de estos cálculos está fundamentalmente ligada a la precisión con que se conozca la tipología estadística de los componentes y subsistemas involucrados, sobre lo cual ya se han efectuado antes algunos comentarios.

En la figura 4 se presentó lo que sería un análisis de consecuencias en una fuga de material incendiable, y a cada una de las ramificaciones se puede atribuir una determinada probabilidad, y a su vez un determinado nivel de inseguridad y un grado de daño o consecuencia.

En cada una de las ramificaciones, como por ejemplo ignición/no ignición se han de utilizar valores binomiales de distribución estadística para evaluar cual es la probabilidad de que ocurra una u otra situación.

Para que se produzca ignición, lógicamente deben concurrir las características fisicoquímicas que conducen a ella, bien sea de encendido provocado por chispa externa, bien por autoencendido. En todo caso hace falta la mezcla de combustible y comburente y la aparición de un foco de calor de suficiente entidad, bien provocado por una reacción exotérmica interior al sistema, o por una chispa o punto caliente exterior al mismo. Esto se ha de valorar en función de las circunstancias de la instalación, y también en función de la cantidad de fuga que se produce.

Este ejemplo da idea de la complejidad del tema, que lógicamente se ha de tratar de manera computacional, pues de dicha forma se puede hacer sistemáticamente y variando en todo el campo que sea menester el valor de las variables fundamentales, tales como el contenido y composición de la fuga. Lógicamente, cuanto mayor sea éste y más probable sea encontrar la concentración combustible-comburente dentro de los límites de inflamabilidad, que se conocen prácticamente para todos los componentes químicos, mayor será la probabilidad de ignición, que incluso puede resultar cierta, es decir con probabilidad igual a uno, si existe la certeza de chispas o puntos calientes de suficiente entidad, que puedan producir un encendido provocado en una premezcla combustible-comburente ocasionada por la fuga en cuestión.

Conociendo la distribución de las personas en la planta y la probabilidad de explosiones y la potencia de éstas, es posible también determinar el número de muertes esperadas

en un accidente de ese tipo, así como el daño producido a los componentes de la instalación o instalaciones vecinas.

En este campo del análisis de consecuencias es fundamental la problemática de la **propagación amplificada del accidente**, debido al fallo en cadena de diversos almacenamientos de sustancias tóxicas y explosivas o diversas líneas de proceso, como consecuencia de un suceso inicial. En general, la acumulación de combustibles o explosivos en una determinada zona puede dar lugar a dicha amplificación de las consecuencias a partir de un incidente relativamente banal.

Por ejemplo, la utilización de sopletes de soldadura en instalaciones con almacenamiento de combustible, o en proximidad a sustancias inflamables, en algunos casos no suficientemente valoradas en cuanto a su potencial de incendio, puede dar lugar a incendios espectaculares, del cual es un buen ejemplo el que destruyó el Liceo de Barcelona el 31 de enero de 1994.

En la figura 4 anteriormente mencionada el análisis de consecuencias comienza con una fuga que ha de tipificarse dentro de las que sean posibles en la instalación.

Lógicamente para que exista una fuga deben fallar una serie de sistemas, como pueden ser una válvula, la pared de un recipiente, etc. A estos fallos ha de asociarse una tasa de fallos, lo cual implica conocer con suficiente precisión las características de la instalación, y su propensión al fallo.

Una técnica que puede utilizarse tanto en el análisis posibilista como en el probabilista de la seguridad es la denominada FMECA (Found Modes, Effects and Criticality Análisis) técnica que se basa en la detección de los modos de fallo y del análisis de sus efectos, y su condición de criticidad, es decir si repercuten de manera directa en las funciones de seguridad de la planta. El método FMECA se ha de aplicar en:

- el proyecto
- construcción y montaje
- operación
- eventualmente, en el desmantelamiento y disposición final

Este método requiere también la utilización de árboles de fallos y sucesos buscando en estos su condición de criticidad, que se basa en la valoración que tienen los efectos de un accidente o avería en las funciones de seguridad de la planta, es decir si afectan a los equipos de extinción de incendios, vigilancia de las magnitudes físicas y químicas, a los sistemas de cierre y confinamiento de productos tóxicos, etc.

Adicionalmente, el método FMECA debe ser particularmente riguroso en el análisis de los fallos humanos, aun cuando estos lleven asociado un gran nivel de incertidumbre. En estos fallos humanos cabe distinguir también niveles diferentes de criticidad, en función de si al juicio o manipulación humana se le atribuyen funciones de seguridad, o por el contrario estas son ejecutadas automáticamente. En este campo existen diversidad de opiniones entre los especialistas y no es posible dar una receta de validez general, aunque por lo común se intenta reducir la carga de responsabilidad que conlleva la determinación o adopción de una determinada reacción de seguridad por parte de una persona, ante una situación imprevista o accidental.

Raramente los fallos se producen súbitamente y de manera catastrófica, como puede ser la rotura total de un tanque de almacenamiento de suficiente entidad, y por lo general los fallos se producen durante los procesos, y particularmente aquellos que

involucran transportes y trasiegos de material tóxico o inflamable. En estos casos se dispone de una serie de medidas de seguridad, para evitar que se produzca la indeseable fuga, y estos sistemas pueden a su vez fallar o no en el momento en que se requiere su actuación.

Para el estudio de estas secuencias de fallo se emplea el álgebra booleana que representa la distribución binomial en cada subsistema o componente de seguridad.

Como suceso inicial se tendrá un fallo tipificado, que se propagará en líneas de mayores o menores consecuencias en función de la reacción de los sistemas de seguridad.

Estos estudios se realizan de manera rigurosa mediante expresiones booleanas, siguiendo el álgebra de Boole, a la que se puede asociar un conjunto de diagramas lógicos que expresan el estado de funcionamiento o fallo de los diversos sistemas de la instalación.

Existen dos bloques booleanos básicos: el bloque "Y" y el bloque "O". En el "Y" el suceso que se produce es consecuencia conjuntiva de todos los sucesos que constituyen la entrada al bloque "Y". Si alguno de los sucesos de entrada no se produce, el de salida tampoco tiene lugar.

Por el contrario en el bloque disyuntivo "O" el suceso de salida es consecuencia de al menos uno de entrada.

Adicionalmente se utilizan los bloques "O exclusivo", en el que el suceso de salida es consecuencia de uno solo de entrada (cualquiera de ellos, pero sólo de uno). También se emplea el bloque lógico "Y secuencial" en el cual el suceso de salida se produce cuando los de entrada ocurren en una determinada secuencia.

En las figuras 9 y 11 se muestran diagramas lógicos y sus expresiones booleanas correspondientes mediante los cuales se puede deducir cual es la probabilidad de que ocurra el suceso final conociendo las probabilidades de los sucesos previos que representan las reacciones de los componentes o subsistemas de seguridad que intervienen.

En las figuras también se aprecia como puede utilizarse el bloque lógico "Y" y el "O" (disyuntivo) en función del tipo de relación que se da entre causas y efecto.

No es éste el lugar apropiado para desarrollar las propiedades del álgebra booleana y su uso para calcular las probabilidades de los diversos procesos, pero se entiende a partir de los casos elementales anteriores, que tanto por cálculo manual como por cálculo computacional pueden abordarse diagramas lógicos de complejidad creciente en los cuales se representen adecuadamente todas las variables del sistema que caracterizan los diversos equipos de seguridad.

La utilidad del análisis probabilístico de seguridad es múltiple, pues no sólo sirve para evaluar cual es el grado de inseguridad asociado a una planta concreta trabajando en unas condiciones dadas, sino que además permite determinar cuales son las vías de propagación o amplificación de los sucesos más frecuentes, y que conducen a las mayores consecuencias, por lo cual se puede modificar el proyecto y mejorar las funciones de seguridad involucradas en las líneas a las que se asocia el mayor nivel de riesgo (producto de la probabilidad por el daño causado).

Utilizando diversas hipótesis accidentales, se puede configurar el conjunto de relaciones daño/probabilidad, que determina las características de riesgo de la instalación, como puede verse en las figuras 7 y 8.

En función de la tolerancia que se permita a los accidentes, tanto por parte del público como por parte de la autoridad reguladora, los sistemas de seguridad se habrán de modificar para acotar en unos casos las consecuencias máximas posibles, y en otros las probabilidades máximas. Por ejemplo, catástrofes con una gran incidencia sobre la población, y lógicamente sobre la economía, que fueran auténticamente desastrosas, aunque tuvieran una probabilidad muy baja, deberían ser evitadas de raíz.

Igualmente, los accidentes y averías de muy escasas consecuencias económicas, y sobre todo humanas, tampoco deberían permitirse, si esa probabilidad es tan alta que, integrada en el tiempo, supone una enorme pérdida económica y en vidas humanas.

Otra de las utilidades fundamentales del análisis fiabilístico de seguridad es la formulación de los adecuados planes de emergencia exterior e interior. Para que éstos sean realmente representativos se deben tener en cuenta cuales son los sucesos accidentales con los que más probablemente hay que luchar y cuales son las cadenas a través de las cuales estos sucesos pueden amplificarse en gravedad, y por tanto exigir emergencias más severas.

La existencia en el pasado de accidentes catastróficos, tales como Seveso, Bhopal o Chernobyl hacen cada vez más aconsejable este tipo de análisis, los cuales sirven además para estudiar los sucesos ya ocurridos y estudiar a posteriori como debería haberse modificado la instalación accidentada para haber impedido accidentes tan catastróficos.

Figura 9

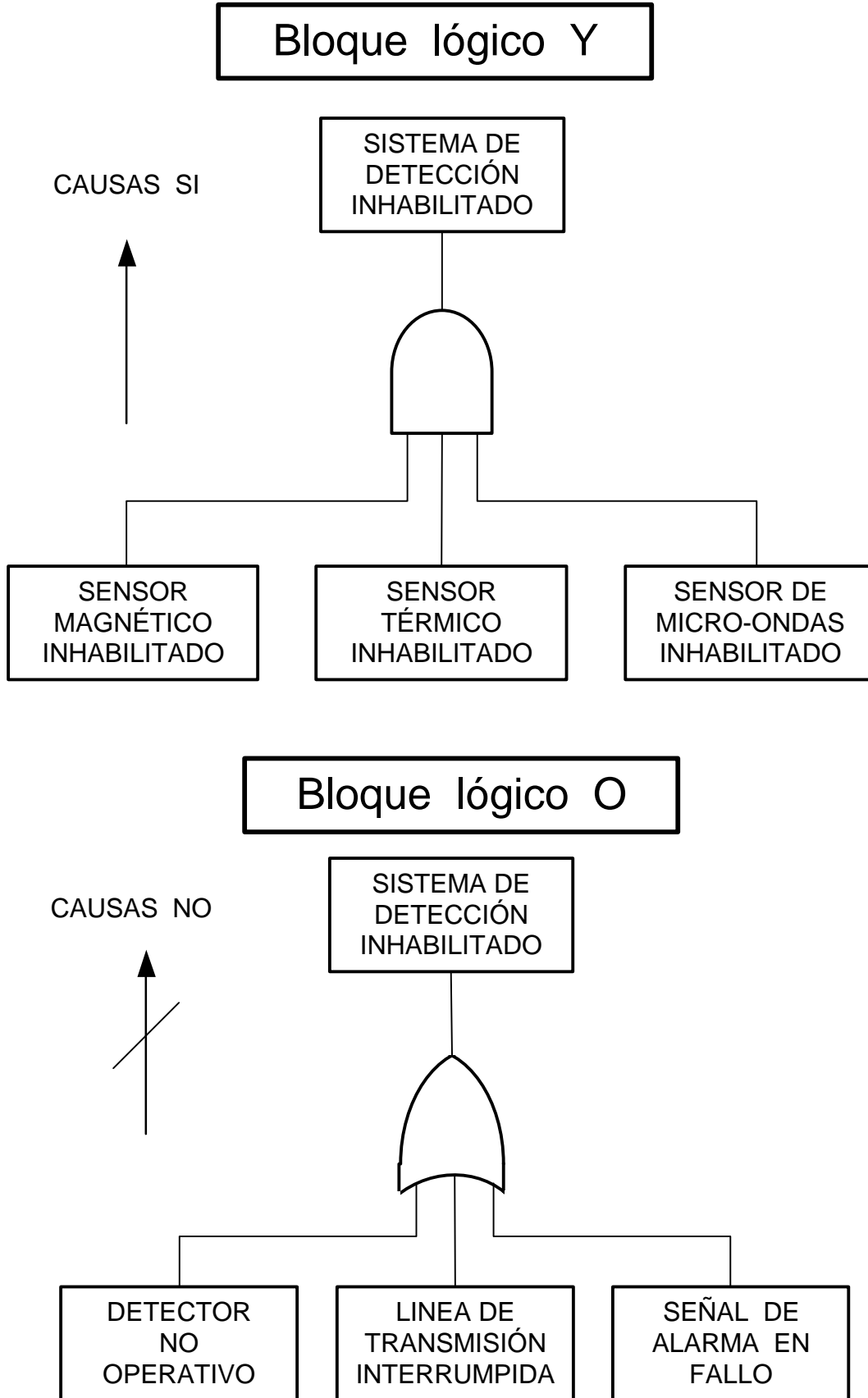


Figura 10

Relación entre expresiones de Boole y diagramas lógicos

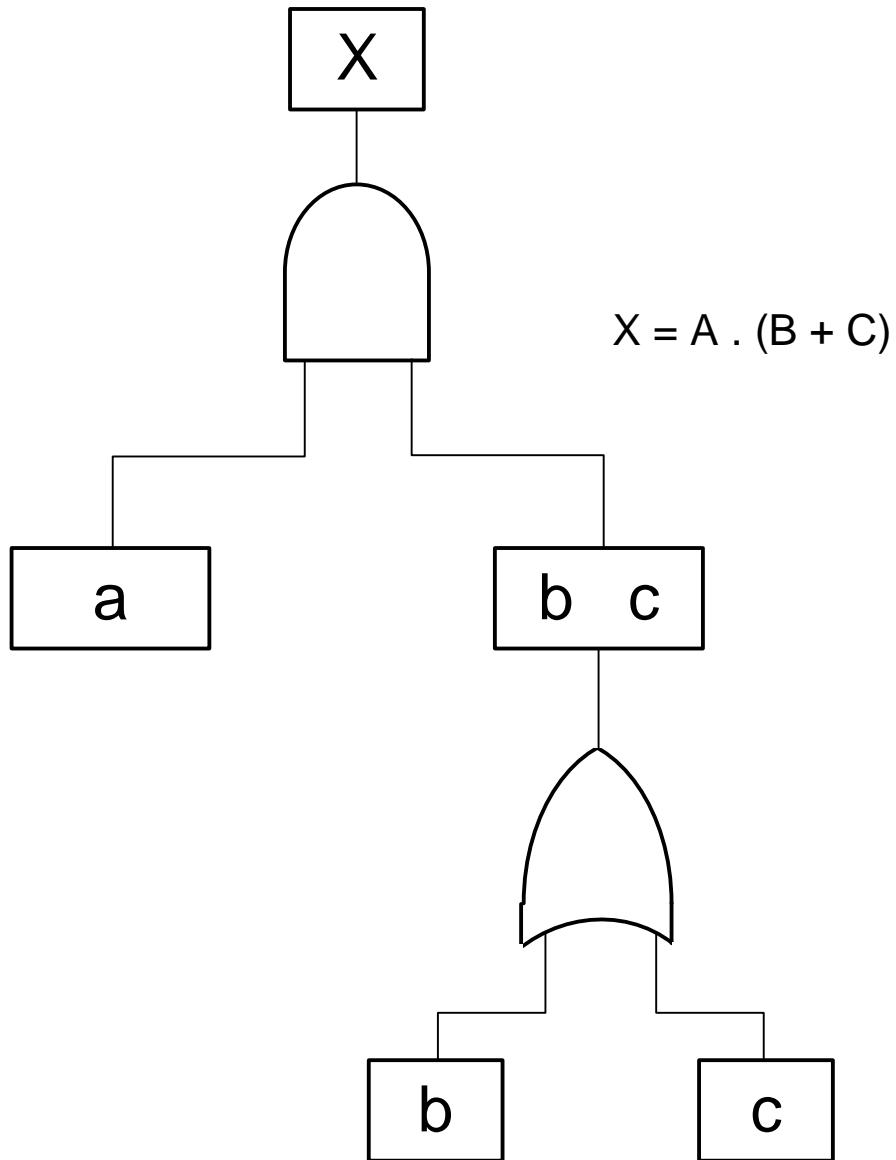
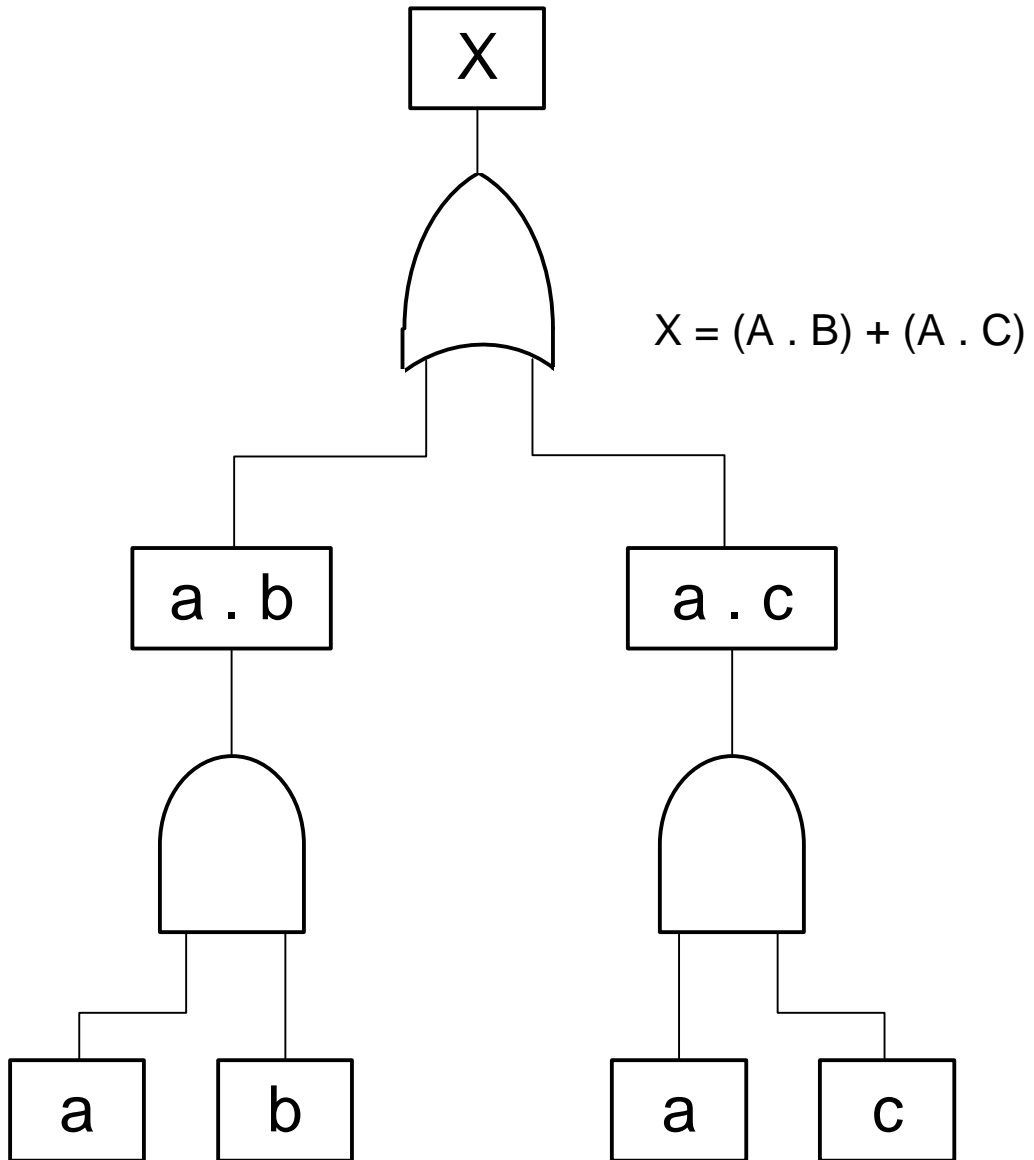


Figura 11

Relación entre expresiones de Boole y diagramas lógicos



6. Conclusiones, Gerencia de Riesgos

Una obligación elemental de cualquier empresa industrial es llevar a cabo una adecuada gerencia de riesgos, en la cual suelen distinguirse dos partes. La gerencia mediante *cobertura de siniestros*, lo cual se realiza a través de aseguradoras, pagando las correspondientes primas; y la *ingeniería de seguridad*, que consiste en llevar a cabo las acciones de análisis y corrección necesarias para obtener una buena seguridad industrial en todos sus ámbitos.

Aunque la cobertura de riesgos mediante seguros suscritos por terceros aparentemente no exige un conocimiento muy a fondo de la realidad de la empresa, lo cierto es que para tener un adecuado nivel de aseguramiento, y no estar ni sobreasegurado ni subasegurado respecto de la siniestralidad real de la actividad industrial, conviene conocer con precisión las características de la ingeniería de seguridad de la empresa. En este sentido, las dos actividades reseñadas no son diferentes o disjuntas entre sí, sino que pueden considerarse las caras de una misma moneda: la seguridad industrial de la empresa o servicio que se considera.

Precisamente por esta dualidad en la gerencia de riesgos, en principio se podría optar por ser más laxos en la ingeniería de seguridad, y dedicar mayor presupuesto a primas de seguros, para cubrir los perjuicios generados por los posibles accidentes. Alternativamente, cabe pensar en mejorar nuestra ingeniería de seguridad, y reducir los costos de las primas de los seguros. Es decir, cabe cargar la cobertura de seguridad en el aseguramiento externo, o cabe mejorar la seguridad mediante una mejor práctica de seguridad en el interior de la empresa.

Ni que decir tiene que es esta última opción de mejorar la calidad de la seguridad la que resulta recomendable, entre otras cosas por la carestía de las primas de los seguros cuando la situación de seguridad no es muy conocida, o arroja sospechas de que no goza de suficiente calidad. Lógicamente en esos casos las compañías aseguradoras tienden a subir las primas para cubrirse de las incertidumbres que el mal conocimiento de la seguridad de la empresa comporta.

Ya se ha mencionado que en las empresas industriales españolas aproximadamente el 0,75% del volumen de negocio se dedica a la ingeniería de la seguridad, ésto es, a gastos en inversiones, equipo, formación, pago de auditorías externas, etc.

Esto significa un gasto anual superior a los 200.000 millones de pesetas, pero a ello hay que añadir lo que se invierte en seguridad en las nuevas plantas. En este caso, el porcentaje de lo que representa la seguridad sobre el total es muy superior a lo anteriormente mencionado que puede considerarse constituye los gastos corrientes de la seguridad. Por lo que corresponde a los gastos de seguridad en las inversiones, éstos oscilan entre valores poco representativos en industria sin alta peligrosidad hasta valores superiores al 10% de la inversión en el caso de la industria química y aun más en el caso de la nuclear.

Obviamente es en estos sectores donde mayor importancia se da a la ingeniería de seguridad, y donde resulta muy difícil, por no decir imposible dados los requisitos de la legislación, descargar el tema de la seguridad en terceras partes merced a cobertura por seguros y pago de las correspondientes primas. En estos casos, tanto por la legislación nuclear como por las directivas Seveso y demás disposiciones que afectan a

la industria química, el mayor peso de la gerencia de riesgos se haya en la ingeniería interna de seguridad.

Una tercera pero fundamental misión de la gerencia de riesgos es atender al cumplimiento de la legislación, particularmente aquélla que pueda incorporar delitos penales, como son las derivadas de la legislación laboral y de la nueva legislación en materia de delitos medioambientales. En este caso, la cobertura de riesgos se debe realizar mediante auditorías externas e internas que aseguren y demuestren el cumplimiento estricto de la legislación. Por lo que corresponde a la legislación laboral, éste está relativamente bien tipificado y sistematizado y a menudo basta con asociarse a una mútua de trabajo de solvencia reconocida y seguir las pautas marcadas por dicha mútua.

En lo que corresponde a los delitos medioambientales, la cuestión es mucho más específica de la industria en cuestión, como por ejemplo se puso en evidencia en el accidente de la mina de Aznalcollar en Andalucía, en 1998, con vertidos de sustancias tóxicas en el sistema hidrológico cercano a las marismas del Guadalquivir.

También es misión de la gerencia de riesgos atender a las garantías de servicio y postventa, por reclamaciones debidas a productos defectuosos. Esto está relacionado con la seguridad industrial de productos, que tiene un cuerpo de doctrina muy consolidado, particularmente tras la instauración del Mercado Interior europeo. Tanto para los productos afectados por las directivas del Nuevo Enfoque, como para los productos que aún siguen el Antiguo Enfoque, la disposición de un fondo de garantía contra reclamaciones es una actividad considerablemente extinguida en la gerencia de riesgos, y sirve de indicador del nivel de calidad alcanzado por los productos comercializados.

Sobre las funciones de la gerencia de riesgos conviene comentar que a veces se considera erróneamente que los gastos en seguridad van directamente en contra de la rentabilidad económica, pues se consideran que las inversiones y costes de la seguridad encarecen los procesos y por tanto los productos fabricados, o los servicios prestados.

Esto no es así en absoluto, precisamente por las incertidumbres que afectan a los procesos y a los productos, y de las cuales se pueden derivar situaciones accidentales o perjuicios para terceros, o para la propia instalación. Por tanto, se debe tener siempre presente la existencia de unos costes ocultos, debidos a la inseguridad industrial en sus diversos ámbitos, y que pueden hacer aparición, de manera cuantiosa como tales costes, cuando se producen accidentes o averías de tamaño considerable. Un caso típico en esta consideración es el del accidente TMI-II (Harrisburg) de 1979, en el cual una cadena de sucesos desafortunados, más la mala interpretación hecha de ellos por parte del equipo de operación de la central nuclear, llevó a esta a una situación catastrófica de la que no podrá reponerse jamás. Como la central prácticamente no había funcionado más que un año, puede considerarse que la práctica totalidad de la inversión efectuada se perdió, lo que significa una cantidad cercana a los 500.000 millones de pesetas. Hay que señalar que no se imputó ninguna muerte al accidente, de modo directo, y de modo indirecto, por la radiación escapada de la central, su influencia se consideró absolutamente indetectable y no posible de evaluar en el contexto general de afecciones de tipo oncológico procedente de otras fuentes, tanto naturales como artificiales.

El accidente de Harrisburg es uno de los mejores ejemplos de *costes escondidos* por la *inseguridad*, y el estudio de dicho accidente, que ha promovido decenas de

publicaciones y provocó en su día cambios importantes en la normativa nuclear, puso de relieve que la legislación nuclear está fundamentalmente orientada a la protección de las personas, pero no a la autoprotección de la instalación por las inversiones económicas realizadas. Lógicamente, se entiende que de esto último quien ha de ocuparse con la pertinente ingeniería de seguridad es la propia empresa, y por tanto no cabe que el legislador o autoridad gubernativa imponga requisitos específicos sobre la protección de inversiones, aunque en gran medida al proteger a la población, sus bienes y el medioambiente, indirectamente también se está protegiendo a la propia inversión.

En definitiva, la gerencia de riesgos debe tener en mente la existencia de estos costes ocultos de la inseguridad, por la probabilidad de que se hagan realidad y supongan un grave quebranto económico.

La exigencia de una economía de seguridad se plasma en la confección de un Manual de Seguridad que incluya todos los aspectos de los diferentes ámbitos de la seguridad que tienen que tenerse en cuenta.

En concreto, parte esencial del Manual de Seguridad Industrial de una empresa tendría que contemplar los aspectos siguientes:

- misión de la empresa y compromiso de ésta con sus objetivos y con la seguridad
- descripción de la empresa y de su organigrama funcional, incluyendo los compromisos de los diversos elementos directivos con la seguridad.
- responsabilidades de los diferentes elementos componentes de la empresa, desde la dirección al trabajador en general, con énfasis especial en los servicios de prevención y en gerencia de riesgos.
- identificación de todas las exigencias legales y reglamentarias que quepa observar, formando con ellas un bloque de información que sirve de punto de referencia fundamental para las actuaciones en seguridad.
- establecimiento de un sistema de gestión de la seguridad, para conocer con precisión suficiente la situación de la seguridad en sus diversos ámbitos, laboral, de productos, y de la propia instalación; incluyendo la revisión sistemática de dicho sistema de gestión
- estructura organizativa de la seguridad, con énfasis especial en las funciones de la dirección y de los servicios de prevención.
- documentación y registros sobre la seguridad, imprescindibles para mantener una actualización de la ingeniería de seguridad de acuerdo con la situación real de los procesos de la empresa y personal involucrado; y así mismo para entender de los requisitos de las inspecciones oficiales, o eventualmente de la autoridad judicial
- seguridad en las diversas fases o procesos de la empresa, desde el aprovisionamiento hasta el servicio postventa, incluyendo la seguridad en las actividades que sean subcontratadas.
- seguridad en el diseño de nuevas instalaciones y en reforma de las existentes, todo lo cual debe quedar suficientemente documentado en los registros
- establecimiento de Manuales de Protección para la seguridad laboral
- establecimiento de un Plan de Emergencia interior para la reacción ante accidentes o incidentes sin repercusión al exterior
- Plan de Emergencia exterior que prevea la conexión con las autoridades públicas y en los servicios de protección civil.
- sistemas de control que afecten a las actividades de seguridad, incluyendo el control de la aplicación de los medios de protección
- programa de formación y entrenamiento de todo el personal con las correspondientes características de cada nivel de clase o productor

- elaboración de los informes de seguridad que de manera específica se requieran por la legislación aplicable.

En esto último habría que mencionar por ejemplo los Expedientes Técnicos que tendrían que acompañar a la comercialización de los productos que estuvieran aceptados por directivas de Nuevo Enfoque

En otro ámbito, si alguna de las instalaciones de la empresa estuviera afectada por las Directivas Seveso (que especifican materiales y productos cuyo almacenamiento, traslado o fabricación requiere atenciones especiales por su peligrosidad) se deberán efectuar los pertinentes Informes de Seguridad, y elaborar a partir de ellos los pertinentes Planes de Emergencia interior y Exterior (véase el documento de Améndola y Papadakis citado en la Bibliografía de este capítulo).

Existen dos cuestiones esenciales para conferir validez a un Plan de Emergencia:

- conocimiento de la situación
- idoneidad de la reacción

Lo primero requiere haber previsto de antemano un buen número de canales informativos para acopiar todos los datos relevantes de las magnitudes físicas y químicas a vigilar. Estos canales requieren detectores, transmisores y registradores con sus correspondientes alarmas. Todo ello ha de formar parte de un riguroso análisis de las posibles secuencias de sucesos que puedan ocurrir en la instalación. Sólo previendo en el diseño y la construcción este tipo de necesidades, se podrá implantar un Plan de Emergencia verdaderamente operativo.

El punto crítico definitivo en esta función será la idoneidad de la reacción. Ello implica que los responsables técnicos deben conocer muy bien las características de su instalación y, también de antemano, deben conocer la lógica de seguridad que hay que aplicar, y que conducirá a identificar la reacción idónea a adoptar.

En casi todos los grandes accidentes (Harrisburg, Seveso, Chernobyl...) estas dos condiciones –conocimiento e idoneidad- no se cumplieron. De raíz, esos accidentes fueron graves fallos en la Metodología de la Seguridad.

Bibliografía

1. Handbook OF Risk management. KLUWER, Londres (Gran Bretaña), 1974
2. A.E.Green, High Risk Safety Techonlogy, John Wiley and Sons, Chichester, (Gran Bretaña) 1982
3. Susan Cutter "Living with Risk". Edward Arnold, Londres (Gran Bretaña), 1993
4. Kletz, Trevor. Lessons from disasters. Institution of chemical Engineers, Rugby, Warwickshire (Gran Bretaña) 1993
5. Jesús Pérez MESERI: Evaluación de riesgo de incendio: método simplificado, Gerencia de Riesgos, nº 2 – 3º Trim. 1995
6. R.Mond. Guidelines for hazard evaluation procedures. American Institiute of Chemical Engineers. Nueva York, 1985
7. Kletz, Trevor HAZAN: Hazard Análisis. The institution of Chemical Engineereers, Warwickshire (United Kingdom), 1986
8. Ariestides Ramos, HAZOP: Procedimiento para el análisis de riesgos de operación. COASHIQ. Madrid, 1987
9. A.Améndola, G.A. Papadakis (Eds.) Guidance on the preparation of a safety report to meet the requirements of Council Directive 96/82/EC (Seveso II).Monografía EUR 17690 EN. Luxemburgo, 1997
10. Ignacio Serrano Butragueño. "Los delitos de daños" (Aranzadi, 1992)
11. Luis F. Reglero Campos, "Legislación sobre responsabilidad por daños" (Tecnos, 1993)

