



Escola Politècnica Superior  
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## GRADO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE LA EDIFICACIÓN TRABAJO FINAL DE GRADO

### AVANCES EN LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES A PARTIR DE LOS ACCIDENTES MAYORES

**Projectista:** Cabrera Rodríguez, Neus

**Projectista:** Chillón Pérez, Gisela

**Director:** Abad Puente, Jesús

**Convocatoria** Noviembre / Diciembre 2014



## RESUMEN

**Introducción y objetivo:** La Prevención de Riesgos Laborales ha ido conformándose a lo largo de los años, a partir de los estudios empíricos y de las investigaciones de los accidentes laborales ocurridos. Los diferentes conceptos y conocimientos sobre prevención han ido surgiendo en cada caso, modificando, mejorando y adaptándose a los nuevos tiempos en la industria. El presente proyecto, a través del análisis de una extensa bibliografía, pretende mostrar cuales han sido esos puntos de inflexión para la prevención, en qué momento ocurrieron y por qué, así como, aportar las consecuencias de los mayores accidentes estudiados y los conocimientos y técnicas de prevención que sobrevinieron de los mismos.

**Método:** A través de una selección bibliográfica de artículos científicos, libros, ponencias, conferencias y seminarios, seleccionados mediante la búsqueda en las bases de datos “*Web of Knowledge*” y “*Scopus*”, así como en la biblioteca especializada en Seguridad y Salud del INSHT, se ha procedido a la lectura de múltiples de estos documentos concernientes a los conocidos como “*Accidentes Mayores*”. Dichos accidentes, son los causantes de los cambios más importantes en la Prevención de Riesgos Laborales. Escogiendo aquellos más relevantes, se realizó una segunda búsqueda bibliográfica de artículos de interés en múltiples revistas científicas y entre los mejores autores internacionales. Para poder elegir los artículos más notables para el estudio, se emplearon *keywords* como “*Safety Culture*” o “*Major Accident*”. Una vez seleccionados los artículos adecuados, se procedió al análisis de éstos y al estudio de cómo cada uno de los accidentes estudiados afectaba a la PRL. Fueron cuatro los accidentes más destacables para los cambios y avances de los conocimientos y técnicas de prevención: Chernobyl, Seveso, Bhopal y Alfaques.

**Resultados y Conclusiones:** Queda patente que Chernobyl introdujo dos nuevos conceptos en la prevención: “*Safety Culture*” y “*Lessons Learned*”. Desde ese momento, se establecieron las bases de cómo se debía comprender la prevención y se derivaron nuevas ideas que se estudiaron, como la diferencia entre Cultura y Clima de Seguridad, siendo los cambios a nivel de factor organizativo. Otros accidentes, no por ello con cambios menos importantes, aportan las mayores mejoras a nivel legislativo y de factor técnico: se establecen procesos, mejoras en los diseños, formación, métodos de intercambio de información, etc.... No obstante, aunque la prevención a nivel global ha avanzado de forma notoria, queda patente que la construcción no se ha beneficiado directamente de ésta evolución.



<b>1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2. CAPÍTULO II: OBJETIVOS</b>	<b>7</b>
<b>3. CAPÍTULO III: ACCIDENTES MAYORES EN EL SECTOR NUCLEAR</b>	<b>9</b>
<b>3.1 CHERNOBYL</b>	<b>9</b>
<b>3.1.1 ANTECEDENTES</b>	<b>9</b>
<b>3.1.1.1 Descripción</b>	<b>9</b>
<i>Central Nuclear Vladímir Ilich Lenin, Chernobyl (URSS). 26 de Abril de 1986, 01:23h.</i>	<b>9</b>
<b>3.1.2 DESCRIPCIÓN DEL ACCIDENTE</b>	<b>10</b>
<b>3.1.2.1 Hipótesis y Causas</b>	<b>10</b>
<b>3.1.2.2 Reconstrucción del Accidente</b>	<b>12</b>
<b>3.1.3 CONSECUENCIAS</b>	<b>16</b>
<b>3.1.3.1 Daños materiales y humanos</b>	<b>16</b>
3.1.3.1.1 <i>Consecuencias para la salud física y psíquica de la población</i>	<b>17</b>
3.1.3.1.2 <i>Consecuencias para el medioambiente</i>	<b>18</b>
3.1.3.1.3 <i>Consecuencias para la economía</i>	<b>20</b>
3.1.3.1.4 <i>Consecuencias para la industria nuclear</i>	<b>21</b>
<b>3.2 IMPACTO EN LA PREVENCIÓN DE RIEGOS LABORALES</b>	<b>24</b>
<b>3.2.1 CULTURA Y CLIMA DE SEGURIDAD</b>	<b>24</b>
<b>3.2.1.1 Cultura de Seguridad</b>	<b>24</b>
<b>3.2.1.2 Clima de seguridad</b>	<b>25</b>
<b>3.2.1.3 Modelos</b>	<b>26</b>
3.2.1.3.1 <i>Variables cultura de seguridad</i>	<b>26</b>
3.2.1.3.2 <i>Variables clima de seguridad</i>	<b>27</b>
<b>3.2.1.4 Cultura y clima</b>	<b>28</b>
<b>3.2.2 SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN</b>	<b>28</b>
<b>4. CAPÍTULO IV: ACCIDENTES MAYORES EN EL SECTOR QUÍMICO</b>	<b>33</b>
<b>4.1 SEVESO</b>	<b>33</b>
<b>4.1.1 ANTECEDENTES</b>	<b>33</b>
<b>4.1.1.1 Descripción</b>	<b>33</b>
<i>Fábrica ICMESA, Meda - Seveso, Monza y Brianza (Italia). 10 de Julio de 1976, 12.37h</i>	<b>33</b>
<b>4.1.2 DESCRIPCIÓN DEL ACCIDENTE</b>	<b>34</b>
<b>4.1.2.1 Hipótesis y Causas</b>	<b>34</b>
<b>4.1.2.2 Reconstrucción del accidente</b>	<b>35</b>
<b>4.1.3 CONSECUENCIAS</b>	<b>37</b>
<b>4.1.3.1 Daños materiales y humanos</b>	<b>37</b>
4.1.3.1.1 <i>Consecuencias para la salud física y psíquica de la población</i>	<b>38</b>
4.1.3.1.2 <i>Consecuencias para el medioambiente</i>	<b>40</b>
4.1.3.1.3 <i>Consecuencias para la industria química</i>	<b>41</b>
<b>4.2 BHOPAL</b>	<b>42</b>
<b>4.2.1 ANTECEDENTES</b>	<b>42</b>
<b>4.2.1.1 Descripción</b>	<b>42</b>
<i>Fábrica de Pesticidas Union Carbide, Bhopal (India), 3 de Diciembre de 1984, 23.30h</i>	<b>42</b>
<b>4.2.2 DESCRIPCIÓN DEL ACCIDENTE</b>	<b>43</b>
<b>4.2.2.1 Hipótesis y Causas</b>	<b>43</b>
<b>4.2.2.2 Reconstrucción del accidente</b>	<b>47</b>

<b>4.2.3</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>	48
<b>4.2.3.1</b>	<b>Daños materiales y humanos</b>	48
4.2.3.1.1	Consecuencias para la salud física y psíquica de la población	49
4.2.3.1.2	Consecuencias para el medioambiente	50
<b>4.3</b>	<b>IMPACTO EN LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES</b>	<b>50</b>
<b>4.3.1</b>	<b>DIRECTIVAS SEVESO I, II &amp; III</b>	50
<b>4.3.1.1</b>	<b>Antecedentes históricos</b>	50
<b>4.3.1.2</b>	<b>Directiva 82/501/CEE o Seveso I</b>	54
4.3.1.2.1	Transposición al marco Español – R.D. 886/1988 & R.D. 952/1990	54
<b>4.3.1.3</b>	<b>Directiva 96/82/CE o Seveso II</b>	56
4.3.1.3.1	Transposición al marco español – R.D. 1254/1999	57
4.3.1.3.2	Comparativa entre transposiciones: RD 886/88 & RD 952/90 vs. RD 1254/99	58
<b>4.3.1.4</b>	<b>Modificación Directiva Seveso II mediante la Directiva 2003/105/CE</b>	59
<b>4.3.1.5</b>	<b>Directiva 2012/18/UE o Seveso III</b>	60
<b>4.3.1.6</b>	<b>Organismos e Instituciones de cooperación</b>	60
<b>4.3.1.7</b>	<b>Análisis de Riesgos: Método “HAZOP”</b>	62
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO V: ACCIDENTES MAYORES EN EL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS PELIGROSAS</b>	<b>67</b>
<b>5.1</b>	<b>ALFAQUES</b>	<b>67</b>
<b>5.1.1</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	67
5.1.1.1	Descripción	67
	Camping de Los Alfaques, Tarragona (España). 11 de Julio de 1978, 14:30h.	67
<b>5.1.2</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL ACCIDENTE</b>	68
5.1.2.1	Hipótesis y Causas	68
5.1.2.2	Reconstrucción del Accidente	69
<b>5.1.3</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>	71
5.1.3.1	Daños materiales y humanos	71
<b>5.2</b>	<b>IMPACTO EN LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES</b>	<b>72</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Legislación y Normativa</b>	72
5.2.1.1	Antecedentes al Real decreto 551/2006:	72
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>75</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>77</b>
<b>7.1</b>	<b>ARTÍCULOS</b>	<b>77</b>
<b>7.2</b>	<b>LEGISLACIÓN</b>	<b>79</b>
<b>7.3</b>	<b>FUENTES ELECTRÓNICAS</b>	<b>79</b>
<b>7.4</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO I:</b>	<b>TRADUCCIÓN AL INGLÉS</b>	<b>81</b>
	Nuclear Power Plant Vladímir Ilich Lenin, Chernobyl (URSS). 26 <sup>th</sup> April 1986, 01:23h.	81

## **1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

Cuando ocurre un accidente laboral en un lugar de trabajo concreto, se inicia una investigación para averiguar las causas que lo han provocado. La principal intención de dicha investigación es la de diseñar unas medidas correctoras que impidan que el accidente vuelva a ocurrir. Esas medidas correctoras generan un conocimiento al respecto de la prevención. No obstante, es un conocimiento local o concreto, único y puntual para el lugar de trabajo accidentado.

Pero, ¿qué ocurre cuando los accidentes que se investigan son los conocidos como los “Accidentes Mayores” o “*Major Accidents*”? Cabe esperar que si los pequeños accidentes aportan nuevos conocimientos adaptados a su entorno, los grandes accidentes aportarán conocimientos globales que permitirán avanzar en los conocimientos preventivos. Es en éste concepto en el que se enmarca el presente proyecto.

A partir de una profunda revisión bibliográfica, se explican cuáles son los Accidentes Mayores que han cambiado y han permitido avanzar en la prevención, y si estos grandes cambios aplicados han ayudado en la prevención dentro del sector de la construcción.

Desglosados a lo largo de los capítulos 3, 4 y 5, se estudian los Mayores Accidentes en los sectores más peligrosos de la industria, siguiendo un esquema de presentación del accidente, hipótesis y causas de éste, reconstrucción del mismo, consecuencias e impacto sobre la prevención de riesgos laborales a partir de él.

En el capítulo 3 se estudian los accidentes en el sector nuclear, donde encontramos los cambios más importantes en cuanto a los conocimientos de prevención. A través de una bibliografía exhaustiva se explican los constructos de cultura y clima de seguridad, fundamentales en los factores organizativos de las empresas.

En el capítulo 4 se analizan los accidentes en el sector químico, los cuales provocan el mayor cambio legislativo en la historia de la prevención, siendo aún a día de hoy un tema de debate.

El capítulo 5 abarca los accidentes en el sector del transporte de mercancías peligrosas, siendo el único que muestra un Accidente Mayor en nuestro país.

Por último, el capítulo 6 extrae las conclusiones generales del proyecto. Tras un profundo estudio bibliográfico, tanto en el marco de la investigación de accidentes, como en el teórico y legislativo de prevención, es posible concebir unas conclusiones que respondan a las preguntas que se plantean en los objetivos del presente proyecto.





## **2. CAPÍTULO II: OBJETIVOS**

El objetivo del presente proyecto es analizar los avances y mejoras que se han producido en el ámbito del conocimiento y la técnica de la Prevención de Riesgos Laborales a partir del estudio y seguimiento de los llamados “*Accidentes Mayores*” o “*Major Accidents*”.

En particular, se pretende analizar si esos nuevos conocimientos y técnicas adquiridos a lo largo de la historia e investigación de los Accidentes Mayores, se han transpuesto al ámbito de la construcción, y en caso de ser afirmativo, cómo se han transpuesto.



### **3. CAPÍTULO III: ACCIDENTES MAYORES EN EL SECTOR NUCLEAR**

#### **3.1 CHERNOBYL**

##### **3.1.1 ANTECEDENTES**

###### **3.1.1.1 Descripción**

*Central Nuclear Vladímir Ilich Lenin, Chernobyl (URSS). 26 de Abril de 1986, 01:23h.*

La madrugada del 26 de abril de 1986 a la 1.24h., (sólo 7 años después del accidente de Three Mile Island), en la Central Nuclear de Chernobyl, situada a 130 kilómetros al norte de Kiev (capital de Ucrania y en aquel entonces con 2,5 millones de habitantes), tuvo lugar el mayor accidente nuclear de la historia de la humanidad, clasificado como nivel 7 en la escala INES<sup>1</sup>, (el más alto en la escala, considerado como “accidente grave”).

El complejo nuclear de Chernobyl contenía cuatro de los 15 reactores tipo RBMK-1000<sup>2</sup> en servicio de la antigua Unión Soviética (URSS). Las Unidades 1 y 2 fueron construidas entre 1970 y 1977. Mientras las unidades 3 y 4, con el mismo diseño, fueron puestas en marcha en 1983. Otros dos reactores estaban en construcción en el momento del accidente. Por su potencia, los reactores RBMK representaban alrededor de la mitad de la potencia nuclear que la URSS poseía, siendo el 5% de su potencia eléctrica total. Las unidades RBMK generalmente se construían en parejas, situando ambos reactores de forma opuesta y ensamblados en un mismo edificio. Era el caso del reactor 4, que tenía como gemelo al reactor 3, compartiendo los equipamientos comunes de la instalación de producción eléctrica (Anónimo, 1986).

Las características principales de diseño del reactor de Chernobyl, comunes a las de los reactores RBMK, eran las siguientes:

- 1.609 canales verticales que contenían el combustible y el refrigerante.

---

<sup>1</sup> Según Spiegelberg-Planer (2009) la escala INES (International Nuclear Event Scale) es una herramienta a nivel mundial, creada en 1990 por expertos internacionales convocados conjuntamente por la IAEA y la OCDE/NEA para comunicar a la población, desde un criterio consensuado, la importancia de los sucesos nucleares y/o radiológicos. Responde a la necesidad de comunicar a la población la importancia en materia de seguridad de todos los sucesos relacionados con el uso de materiales radiactivos y con la radiación. En 2008 fue revisada e incluyó nuevas directrices para los Estados Miembros del OIEA.

La escala INES cuenta con 7 niveles. Los más bajos (1-3) se denominan “incidentes” y los más altos (4-7) “accidentes”. Los carentes de importancia en materia de seguridad se clasifican como “Nivel 0 o Debajo de Escala”.

Se asigna una frase para cada nivel de la escala para poder expresar la gravedad de los sucesos. De Nivel 1 a 7 son: Anomalía, Incidente, Incidente Importante, Accidente con consecuencias de alcance local, Accidente con consecuencias de mayor alcance, Accidente importante y Accidente grave.

<sup>2</sup> Calvo Diez (1997) explica brevemente que los reactores RBMK (Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalny) o Reactor de Tubos de Presión de Gran Potencia (conocidos en inglés por las siglas LWGR), tienen una potencia nominal de 3200 MW y una potencia eléctrica de 1000 MW. Son reactores de agua en ebullición, moderados por elementos de grafito. Contienen 1661 tubos presurizados y montados verticalmente en paralelo, los cuales albergan los elementos de combustible. El caudal de agua del reactor lo proporcionan por seis de las ocho bombas de circulación instaladas, donde las dos restantes actúan como unidades de reserva. La mezcla de agua-vapor que sale por la parte superior de los canales de combustible entra en cuatro colectores horizontales de vapor, provistos de separadores de humedad. El vapor seco acciona dos turbogeneradores de 500 MWe. Para controlar el nivel de agua, el agua de alimentación se dirige directamente a los colectores de vapor, de forma que se crea un baipás en el reactor.

- 190 toneladas de combustible en forma de haces de “elementos combustibles cilíndricos” compuestos por dióxido de uranio enriquecido (2%<sup>235</sup>U), en vainas tipo tubo de circonio y repartidas en 1.609 tubos de fuerza.
- 12 metros de diámetro y 7 metros de alto para el núcleo del reactor.
- 211 barras absorbentes y sólidas de carburo de boro conformaban el sistema de control y protección (CPS) del reactor. Mediante este sistema se aseguraba: el mantenimiento automático del nivel de potencia, la reducción de potencia mediante barras automáticas y controladores sobre la base de señales que indican fallos, interrupción de la reacción en cadena (SCRAM<sup>3</sup>), compensación de las fluctuaciones de reactividad y por último, control de la distribución de la densidad de potencia en todo el núcleo. El sistema CPS contaba además con dos subsistemas más de control que funcionan usando las señales de los detectores de fallos en el interior del núcleo. El sistema de control automático local y el sistema de protección local.
- 30 barras absorbentes de carburo de boro que eran las mínimas admisibles según el diseño de operación del reactor.
- 4 eran las bombas turbogeneradoras de inyección de agua principal, restando una de ellas siempre en stand-by.

Esta zona de la capital ucraniana se describía como un paisaje boscoso de Bielorrusia con una baja densidad de población. A unos 3 Km del reactor, en una nueva ciudad conocida como Pripyat, residían unas 49.000 personas. La antigua ciudad de Chernobyl, con una población de 12.500 personas, se encontraba a unos 15 Km al sudeste del complejo nuclear. Aproximadamente, en el momento del accidente, la población en un radio de 30 Km alrededor de la central era de entre 115.000 y 135.000 personas.

### **3.1.2 DESCRIPCIÓN DEL ACCIDENTE**

#### **3.1.2.1 Hipótesis y Causas**

Es muy probable que la situación económica, política y social de aquella época en la Unión Soviética fuera una de las causas en menor o mayor medida del accidente. Lo que es seguro, es que los factores anteriores intervinieron en la crisis posterior al accidente y en cómo se manejaron los tiempos de actuación y en la información ofrecida. Aunque el accidente tuvo lugar por un claro error humano, los factores sociales y políticos soviéticos fueron determinantes. La ausencia de una estructura democrática implicaba la falta de una exigencia social de “*cultura de seguridad*”. No obstante, lo que sí es difícil asegurar es si la URSS tuvo algo que ver directamente con el accidente. A día de hoy, sigue siendo una incógnita.

La IAEA<sup>4</sup> en su primer informe INSAG-1 (publicado en el año 86) señaló a los operadores de la central como la principal causa, restando importancia al emplazamiento de la central o las

---

<sup>3</sup> El SCRAM o parada automática, Calvo Diez (1997) nos explica que se produce cuando: las lecturas que indican la potencia, el nivel de agua en el separador o la presión exceden los máximos permitidos; cuando hay una pérdida total de energía eléctrica; cuando se paran al mismo tiempo dos turbogeneradores o dos bombas de circulación principales; cuando hay un descenso en más de un factor en el caudal de agua de alimentación; cuando se produce una rotura grave en las tuberías del circuito.

<sup>4</sup> La IAEA (International Atomic Energy Agency) u OIEA (Organismo Internacional Energía Atómica).

deficiencias en su diseño. No obstante, en el INSAG-7 (Beninson et al., 1992) sugirió que el accidente fue una combinación de ambas partes, dándole un poco más de énfasis a las carencias del diseño.

Asimismo, en 1986 no existían Órganos Reguladores de Seguridad Nuclear que llevasen a cabo las pertinentes inspecciones y evaluaciones de la seguridad de las instalaciones nucleares. En cuanto a los aspectos técnicos de las centrales, como aseguraba De la Fuente Arias (2004), en los reactores RBMK no existía ningún sistema de confinamiento que contuviese el núcleo y su circuito primario, a diferencia de los reactores occidentales, los cuales sí contaban con ellos, (como en el caso de Three Mile Island).

Sea como fuere, un experimento realizado en el reactor número 4 y cómo se llevó a cabo, fue la causa del accidente. El 25 de abril de 1986, el reactor número 4 tenía prevista una parada de mantenimiento<sup>5</sup>. Los ingenieros pretendían emplear la parada para realizar un ensayo sin precedentes en el turbogenerador número 8<sup>6</sup> del reactor. Se quería utilizar la energía mecánica del rotor de un turbogenerador desconectado del suministro de vapor, para mantener el suministro eléctrico en el reactor durante un supuesto corte de la electricidad.

Al parecer, Calvo Diez (1997) en su análisis descubrió que ya se habían realizado experimentos similares, en los que se pudo determinar que la pérdida de tensión era muy elevada. Igualmente, las mismas autoridades soviéticas confirmaron en su informe al IAEA que dicho experimento no se preparó adecuadamente y no fue objeto de aprobación previa. Sin embargo, las mismas autoridades también afirmaron que un ensayo de tales características “*no estaría prohibido en una central en funcionamiento*”. Además, desatendiendo a todas las normas de seguridad, el experimento requería que el sistema de refrigeración de emergencia del núcleo estuviese en paro. Esto implicaba que durante las horas previstas del programa de ensayo, la seguridad del reactor se iba a reducir considerablemente. Aún así, no se dispuso ninguna medida adicional que constase en actas. En cualquier caso, la falta de éste sistema de seguridad no fue una de las causas directas del accidente, pero sí hubiese sido útil en los segundos posteriores a la cadena de explosiones que ocurrieron en el accidente. Por lo tanto, el autor concluye que fue decisivo para las consecuencias y daños posteriores.

Cabe remarcar, además, que el personal ingeniero encargado del experimento no estaba formado para ello y desconocía o ignoraba los posibles peligros derivados de éste. Las peligrosas desviaciones respecto al programa inicial presentado para el ensayo fueron otra importante causa. Posiblemente, el miedo de los operadores a no cumplir con las exigencias e instrucciones recibidas desde Moscú, les condujo a desactivar los sistemas de protección básicos para el control del reactor 4.

En definitiva, como ya se ha citado anteriormente por De la Fuente Arias (2004) aunque las causas indirectas vinieron dadas por los factores político-social-económicos — los cuales

---

<sup>5</sup> Las paradas de mantenimiento son necesarias en cualquier central para permitir una recarga del combustible. No obstante, como aclara De la Fuente Arias (2004), no es el caso de los reactores RBMK, pues su diseño ya permite la recarga de elementos combustibles con el reactor en marcha.

<sup>6</sup> Calvo Diez (1997) aclara en su estudio: “Cada unidad de reactor está conectada a dos turbinas diferentes, de manera que la número 4 contaba el turbogenerador 7 y 8”

fueron decisivos —, en el reporte del análisis que realiza Calvo Diez (1997) — en su estudio, donde trata a fondo los aspectos técnicos —, éste cita seis causas directas para el accidente:

CAUSA	CONSECUENCIA
1. Reducción del margen de reactividad por debajo de valores mínimos permisibles	<i>Sistema de protección de emergencia ineficaz</i>
2. Reducción de la potencia por debajo del nivel mínimo admisible	<i>Dificultad de controlar el reactor</i>
	<i>Coeficiente global de potencia positivo que conlleva rápidas evoluciones de la potencia del reactor frente a cambios en la temperatura del refrigerante.</i>
	<i>Gran coeficiente de huecos positivos, favoreciendo la inestabilidad del reactor frente a cambios en la temperatura del refrigerante</i>
3. Conexión de todas las bombas principales de inyección de agua	<i>Exceso de caudal de agua no admitido</i>
	<i>Reducción de la formación de huecos en el núcleo</i>
	<i>Temperatura del refrigerante cercana a la saturación</i>
4. Bloqueo de los sistemas de protección del reactor basados en la parada de los turbogeneradores	<i>Pérdida de la protección del disparo de parada automática del reactor al comenzar la prueba</i>
5. Bloqueo de los sistemas de protección del reactor basados en el nivel del agua y la presión del vapor en las vainas	<i>Pérdida del sistema de protección del reactor basado en el cambio drástico de los parámetros térmicos</i>
6. Desconexión del sistema de refrigeración de emergencia del núcleo	<i>Pérdida de la posibilidad de reducir la severidad del accidente, según informes del INSAG</i>

Tabla 3.1 Causas del accidente de Chernobyl. Fuente Extracción de las causas Calvo Diez (1997), y de las consecuencias Anónimo (2009) y De la Fuente (2004)

### 3.1.2.2 Reconstrucción del Accidente

Hubo una serie de acciones programadas previas al accidente, que fueron determinantes para la tragedia que acaeció horas después. El día anterior al accidente, el 25 de abril, durante la madrugada, los operadores de la planta de Chernobyl, bajo la dirección de las oficinas centrales de Moscú, redujeron la potencia térmica del reactor de 3.200 MW a 1.600 MW, para llevar a cabo una prueba planeada con anterioridad.

La secuencia de eventos según el informe presentado por los científicos de la URSS sobre el accidente de la central nuclear de Chernobyl y sus consecuencias, fue recogida en el primer informe INSAG-1 durante su encuentro con la IAEA (*International Atomic Energy Agency*) en agosto de 1986 y más tarde, revisado en la conferencia internacional celebrada en Viena en 1992, que dio lugar al INSAG-7 por la IAEA (Beninson et al., 1992). Los sucesos recogidos en una tabla y acompañados de un texto que describía lo ocurrido, estaban basados en una combinación de los datos que reportaba la planta y los modelos informáticos recreados. Presentamos un extracto de los sucesos más destacados:

**25 de Abril de 1986**

- 01.00h.** Comenzó la reducción de potencia del reactor número 4 de 3.200 MW a 1.600 MW, con el fin de llevar a cabo una prueba en el turbogenerador número 8 antes de realizar la parada de mantenimiento. Dicha reducción se hizo lentamente para evitar los efectos de la contaminación por xenón del núcleo, pues sus consecuencias en caso de aparecer pueden ser devastadoras.
- 13.05h.** Se paró el turbogenerador número 7 con el reactor al 50% de su potencia (1.600 MW). De esta forma la potencia eléctrica necesaria para que funcione la unidad se transfiere desde el turbogenerador número 8, que incluye el suministro para cuatro bombas, dos principales de circulación y dos bombas principales de alimentación. Así la unidad número 8 estaba preparada para realizar el experimento, existiendo una dependencia del suministro eléctrico únicamente desde ésta.
- 14.00h.** Se desconectó el sistema de refrigeración de emergencia, haciendo un baipás, con la intención de evitar el accionamiento indeseado del SCRAM cuando una puesta en marcha durante el experimento llevase al reactor a algún estado de alerta que requiriese de su activación y parada inmediata de la reacción nuclear. Al mismo tiempo se detuvo la reducción de potencia para reducir la posible formación de xenón. Esta transgresión de la seguridad se hizo de acuerdo con el programa previsto. A continuación la prueba se vio interrumpida, respondiendo a una petición desde la oficina del despacho de carga, para continuar con la generación de potencia, con lo que la central siguió operando a potencia reducida y utilizando únicamente el turbo-grupo número 8 hasta las 23.10h del 25 de Abril.
- 23.10h.** Se inició la reducción de potencia hasta los 700 MW – 1.000 MW deseados para el ensayo. En consonancia con el programa, la parada con frenada por inercia del generador, se tenía que realizar con la potencia entre estos parámetros.

**26 de Abril de 1986**

- 00.28h.** Sin embargo, un error de un operador provocó una disminución de potencia no deseada. Durante el cambio del sistema del control automático de control de potencia espacial a control del nivel de potencia, no se estableció el nivel de potencia de tara deseada correctamente. Por consiguiente, la potencia disminuyó por debajo de los 30 MW.
- 01.00h.** Se consiguió estabilizar la potencia alrededor de los 200 MW, pero para entonces el envenenamiento por xenón del núcleo era demasiado elevado. Los operadores, en una decisión fuera del programa previsto, con la intención de compensar la situación del reactor, retiraron más barras de control de las permitidas por los procedimientos. Esto provocó que el aumento de la potencia hasta 700 MW se viese mermado por la escasa reactividad del sistema. En ese mismo momento se violaban dos normas fundamentales del funcionamiento del reactor: éste estaba trabajando por debajo del nivel

mínimo de potencia admisible y existía una falta del margen de reserva de reactividad exigido. No obstante, se continuó con el experimento.

- 01.03h.** Durante los siguientes cuatro minutos se conectó la cuarta bomba principal de refrigeración activada desde la red. Dada la baja potencia y el aumento repentino del caudal de refrigerante, la temperatura del reactor se aproximó a un nivel por debajo del cual dejaba de producir vapor, aumentando así la reactividad negativa del sistema. Esto obligó a retirar más barras de control del núcleo para compensar esta inserción de reactividad negativa. En ese mismo momento, el caudal de las otras bombas superó el límite permitido, con el consiguiente peligro de rotura de las bombas y/o fisura de sus tubos principales, debido a las vibraciones de estos por la formación de burbujas.
- 01.19h.** Un operador aumentó el nivel de agua de alimentación, al tiempo que intentaba mantener estables los demás parámetros, sin mucho éxito. En ese momento el operador bloqueó las señales de parada del sistema de protección de emergencia asociadas al nivel y presión de agua en el calderín de vapor. De no haberlo detenido, en ese instante, la baja presión del vapor hubiese producido una parada de emergencia.
- 01.19h. 30”** El caudal de agua de alimentación triplicaba el valor de equilibrio. Las barras de control automáticas subieron hasta la placa de unión superior. Mientras, los operadores retiraban las barras de control manuales para compensar la suma de reactividad.
- 01.19h. 58”** Para aumentar la presión de vapor, cerraron el sistema de carga de éste.
- 01.21h. 50”** Un operador disminuyó bruscamente el caudal del agua de alimentación, ya que éste cuadruplicaba el valor de equilibrio.
- 01.22h. 10”** Mejoró la calidad del vapor considerablemente, lo que permitió que las barras de control automático comenzasen a bajar y se estabilizase el nivel de vapor en el calderín.
- 01.22h. 30”** El operador se vio imposibilitado para detener la caída del nivel de agua de alimentación, por culpa del toscos sistema de control, y ésta cayó dos tercios por debajo del equilibrio. La reactividad cambió a positiva, se generaron huecos nuevos debido al aumento de temperatura por aumento de la potencia y las barras de control cayeron para compensar el aumento de ésta. Fue en ese instante cuando un operador observó en un impreso de evaluación que la reactividad estaba al 50% por debajo de lo permitido. Sin embargo, no realizó una parada inmediata del ensayo.
- 01.22h. 45”** El caudal de agua de alimentación se estabilizó y continuó mejorando la calidad del vapor, que permitía que la presión aumentase.
- 01.23h. 4”** En ese momento, la situación actual del reactor distaba de ser la misma que se preveía en el programa del ensayo. No obstante, los operadores, siendo conscientes de que había diversos parámetros que les indicaban que debían inducir el reactor a parada inmediata, decidieron iniciar su experimento. Bloquearon la señal de detención del reactor por parada de dos



turboalternadores, desactivando completamente la última salvaguardia: el SCRAM, el único capaz de haber salvado el reactor. En esos instantes, la potencia continuaba siendo de 200 MW.

- 01.23h. 10”** Un grupo de barras de control automático se retiraron debido a la disminución de los huecos por el aumento de la presión del sistema.
- 01.23h. 21”** Apenas 10 segundos más tarde, otros dos grupos de barras de control automático iniciaron su re inserción debido a una reducción drástica del caudal de refrigeración. Se añadió más reactividad positiva al núcleo y las barras de control intentaron compensar el exceso.
- 01.23h. 31”** La reactividad total seguía creciendo, aumentando la potencia del reactor, sin que las barras de control lograsen equilibrar la reactividad. Como consecuencia, el coeficiente positivo de potencia aceleró más y más el desequilibrio.
- 01.23h. 40”** Transcurridos apenas 20 segundos del inicio del catastrófico experimento, los operadores fueron conscientes del error cometido. Fue el momento en el que pulsaron el interruptor “AZ – 5”, para detener el reactor, el cual debía dejar caer todas las barras de control y parar la reacción nuclear. Sin embargo, ya no había efecto aparente. Unos temblores se sintieron, seguidos por un sonido ensordecedor procedente del reactor. Los operadores observaron que las barras de control no habían caído completamente. Interrumpieron con celeridad la corriente de las mangas de los servomecanismos a fin de que las barras pudiesen caer por su propio peso. Se oyó un segundo estallido.
- 01.23h. 43”** Las alarmas de alta potencia saltaron. La protección de emergencia no fue suficiente para detener el repentino “embalado” del reactor, lo que hizo que la temperatura del combustible creciese exponencialmente provocando una crisis de transferencia de calor. La reactividad en el núcleo excedió su nivel de criticidad con neutrones rápidos y según los cálculos soviéticos, el pico de potencia superó el nivel de plena potencia nominal cien veces.
- 01.24h.** Fue el momento en el que se estima que sucedieron las dos explosiones. La energía creada en el combustible por el aumento de potencia hizo que éste se desintegrara en diminutos fragmentos interrumpiendo la reacción en cadena. El combustible, a muy elevada temperatura y desintegrándose, entró en contacto con el agua aumentando considerablemente la presión y liberando toda su energía. La losa superior, de unas 1.000 toneladas, salió despedida, seccionando todos los canales de combustible y derribando las paredes de hormigón del edificio. La máquina de recarga de combustible cayó al interior del reactor. Toda la parte superior del reactor quedó destruida. Fragmentos calientes del núcleo del reactor número 4 salieron propulsados al exterior, provocando nuevos incendios, y el grafito en el interior comenzó a arder. Se iniciaron más de treinta focos de incendio diferentes a lo largo de todo lo que restaba del edificio del reactor y del exterior, afectando a los materiales del techo y otros materiales combustibles de la central.

El accidente liberó alrededor de unos 50 millones de curios de radiactividad de partículas y de yodo. Es decir, entre un 3 y un 4% del material total del inventario del núcleo. Provocó también la evacuación, aunque no inmediata, de 135.000 personas dentro de un radio de 30 kilómetros de la central, así como la contaminación radiactiva global del entorno de la central, de la zona evacuada y la dispersión a lo largo de otros países de dicha radiación. No obstante, éstas sólo fueron algunas de las consecuencias inmediatas. Para Calvo Diez (1997) *“Ironías del destino: Chernobyl aceptó realizar el experimento porque era una central moderna con los sistemas de seguridad apropiados, quizá los mismos que en buena parte fueron desconectados.”*

### **3.1.3 CONSECUENCIAS**

#### **3.1.3.1 Daños materiales y humanos**

Las dos explosiones que se produjeron en el reactor número 4 liberaron al medio ambiente combustible nuclear, componentes fragmentados del núcleo y partes de la estructura, así como una lluvia ardiente de desechos altamente radiactivos. Una enorme columna de humo conformada por grafito, productos radiactivos de la fisión y otros tipos de escombros del núcleo, avanzó más allá de 1 Km en el aire. Los productos radiactivos más pesados se fueron depositando en los alrededores de la central, mientras que los más ligeros, como los gases nobles o productos de la fisión en forma de aerosoles se dispersaron en el aire, prevaleciendo en el viento en dirección noroeste. El fuego que comenzó en la Unidad número 4, aumentó su intensidad generando grandes nubes de vapor y polvo, provocando una fuga hacia el techo de la unidad gemela número 3. La intensidad del fuego, debido al calor acumulado por el grafito, era la responsable de la inmensa dispersión de radionucleidos y productos de fisión en la atmosfera. No fue hasta el décimo día después de la explosión, el 9 de Mayo de 1986, que se consiguió extinguir los incendios por grafito. No obstante, la emisión de otros productos contaminantes perduró durante veinte días más.

Gran parte de la población del hemisferio norte se vio expuesta a la radiación que se dispersó durante el accidente de Chernobyl. En la actualidad, gracias a los estudios realizados a lo largo de los últimos casi treinta años (OECD & NEA, 2002), se puede hablar de un cálculo estimado de las dosis recibidas por parte de la población. Las mayores dosis fueron provocadas por la ingestión de isótopos de yodo ( $^{131}\text{I}$ ) derivando en cáncer de tiroides, principalmente en niños. Otras dosis, no menos letales, a nivel externo, fueron debidas a los isótopos de cesio ( $^{134}\text{Cs}$  y  $^{137}\text{Cs}$ ).

En el que es considerado el mayor accidente de la historia nuclear de nuestro tiempo, — teniendo en cuenta el accidente de Fukushima en 2011 y considerando las diferencias en cuanto a las bajas mortales de población —, se pueden enumerar las siguientes consecuencias:

- Consecuencias referidas a la Salud de la población
- Consecuencias referidas al Medioambiente.
- Consecuencias referidas a la Economía
- Consecuencias referidas a la Industria Nuclear.

3.1.3.1.1 Consecuencias para la salud física y psíquica de la población

Las consecuencias para la salud física y psíquica de la población fueron y siguen siendo considerables. Se estima, según la conferencia internacional celebrada en Viena entre el 6 y 7 de septiembre de 2005 (Hoffman & Fleming, 2005) que la cifra de fallecidos ascenderá a 4000 personas. Este dato extraído del estudio, comprende los aproximadamente 50 fallecidos por SIA<sup>7</sup>, los 10 fallecidos por cáncer de tiroides, así como los 3940 casos estimados de defunciones por cáncer y leucemia entre los 200.000 trabajadores que intervinieron en la limpieza, los 116.000 evacuados y los 270.000 residentes en zonas contaminadas. Un rango de 4000 muertes por un total de 600.000 personas expuestas a altas radiaciones. No obstante, para la población el impacto real de las muertes de Chernobyl es mucho mayor. Esto es debido al elevado número de fallecidos en las zonas afectadas por causas naturales desde que el accidente sucediese, así como la creencia de que todos los problemas de salud vienen derivados de Chernobyl.

CONSECUENCIAS PARA LA SALUD				
AFECTADOS	OBSERVACIONES	DOSIS RECIBIDA	FALLECIDOS	DESGLOSE FALLECIDOS
237 personas con SIA (Síndrome de Irradiación Aguda)	134 diagnósticos confirmados	10.000 mSv <sup>8</sup>	31 fallecidos durante el accidente	28 bomberos y operarios víctimas por elevadas dosis de radiactividad
				3 fallecidos por otras causas
			14 fallecidos más en los 10 años posteriores al accidente	
600.000 a 800.000 personas	Los liquidadores: Trabajadores especiales, voluntarios, bomberos, militares y otros, encargados de las tareas de control y limpieza.	Alrededor de 400 personas recibieron dosis de 10.000 mSv Unos 200.000 liquidadores recibieron dosis entre 15 ~ 170 mSv.	Han fallecido a lo largo de distintos periodos	
116.000 personas	Habitantes evacuados varios días después del accidente como medida de protección, estableciendo la zona de exclusión en 30Km alrededor de la central nuclear.	El 10% recibió 50 mSv y el 5% 100 mSv, con una media de 15 mSv.		
	565 personas con cáncer de tiroides, fundamentalmente niños entre 0 y 14 años y algunos adultos que vivían en las zonas más contaminadas. 208 casos en Ucrania 333 casos en Bielorrusia 24 casos en la Federación Rusa	70 mSv ~ 1000 mSv	10 fallecidos	
270.000 personas en áreas contaminadas de la unión Soviética	Población civil que vivió en zonas de contaminación e ingirieron leche con yodo-131 durante las primeras semanas. Los primeros 3 años recibieron altas dosis de cesio-137, con una media de 40 mSv/año.	5 ~ 250 mSv/año		

<sup>7</sup> Síndrome de Irradiación Aguda

<sup>8</sup> mSv (miliSievert). Un Sievert (Sv) es la unidad que mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva, corregida según los posibles efectos biológicos que ésta pueda producir. Para la UE, la Directiva 96/29/EURATOM limita la dosis anual que puede recibir un trabajador expuesto a radiaciones ionizantes entre 50 mSv, y 100 mSv consecutivos durante cinco años como máximo.

Continúa Tabla 3.2 "Dosis de radiación y fallecidos"				
AFECTADOS	OBSERVACIONES	DOSIS RECIBIDA	FALLECIDOS	DESGLOSE FALLECIDOS
Personas fuera de la Unión Soviética	Población civil de países del hemisferio norte que recibieron dosis de isótopos de iodo y cesio.	Europa 0.005 ~ 0.5 mSv Asia 0.005 ~ 0.1 mSv América ~ 0.001 mSv		

Tabla 3.2 Dosis de radiación y fallecidos. Fuente: OECD & NEA (2002) y De la Fuente, (2004)

Estos datos difieren radicalmente con la cifra de 200.000 muertes entre 1990 y 2004 sólo en Rusia, Ucrania y Bielorrusia, citada por Greenpeace (2006) en su informe realizado sobre la catástrofe. En él se estima que en los próximos 70 años la población global se verá afectada por todo tipos de cáncer con una tasa de mortalidad de hasta 6.000.000 de personas.

Las principales enfermedades producidas fueron consecuencia de la ingestión de alimentos contaminados. Los días siguientes al accidente, la población dentro de la zona de exclusión estuvo consumiendo alimentos que habían sido expuestos al isótopo de yodo. En particular, afectó gravemente a los niños, provocándoles cáncer de tiroides como consecuencia de la ingesta de leche fresca de vacas las cuales pastaron alimentos contaminados. Asimismo, se puede descartar que puedan existir efectos hereditarios. No se han encontrado pruebas en las familias que indiquen un fatal descenso de la natalidad o un incremento de las mutaciones. No obstante, sí es cierto que en el caso de Bielorrusia se han detectado más casos de deformaciones congénitas, pero parece estar relacionado directamente con que en la actualidad se notifican los casos por miedo a las enfermedades derivadas del cáncer y no por un efecto directo de la radiación de Chernobyl.

Por otro lado, la consecuencia para la salud más difícil de determinar es la relativa a la psicología. Existen traumas por reasentamiento que derivaron en problemas graves psicológicos y/o de salud mental. Enfermedades como el estrés, la depresión, síntomas físicos sin explicaciones médicas o la ansiedad son algunos de los casos notificados a lo largo de los años. Los expertos reunidos en Viena en 2005 (Hoffman & Fleming, 2005), creen que haber hablado siempre de "víctimas" y no de "supervivientes" ha provocado a la población entrar en un sistema carente de defensa y lleno de debilidad. Las personas excesivamente cautelosas y acomplexadas respecto a su salud y su futuro, tienden a vivir atemorizadas psicológicamente. Es sabido por los expertos que gran parte de la población afectada cree verdaderamente que su vida está amedrentada por la radiación recibida, que a largo plazo contraerán un cáncer y que por lo tanto su esperanza de vida es muy inferior a cualquier otro ciudadano no afectado por el accidente de la central.

### 3.1.3.1.2 Consecuencias para el medioambiente

Durante los diez primeros días tras el accidente, mientras el fuego de grafito hubo provocado la gran columna de humo de más de un kilómetro de altura, las emisiones de radionucleidos al medio ambiente estuvieron descontroladas y se dispersaron por el hemisferio norte a través de los vientos que las arrastraban. Se contaminaron más de 200.000 Km<sup>2</sup> de Europa. La deposición de la contaminación en las tierras de los diferentes países europeos se debió a las lluvias en el momento del paso de la nube radiactiva.

CONSECUENCIAS PARA EL MEDIO AMBIENTE I				
NOMBRE	SIMBOLO	ÁREA*	PERIODO <sup>9</sup>	OBSERVACIONES
Isótopo Estroncio	<sup>90</sup> Sr	100Km <sup>2</sup>	45 -90 años	La mayor parte quedaron depositados en un radio de 100Km de la central.
Isótopo Plutonio	<sup>238</sup> Pu; <sup>239</sup> Pu; <sup>240</sup> Pu; <sup>241</sup> Pu		+1000 años	Se estima que la semidesintegración del <sup>241</sup> Pu, aproximadamente 70 años después del accidente, generará Am <sup>241</sup> .
Isótopo Iodo	<sup>131</sup> I	200.000Km <sup>2</sup>	8.04 días	Ya se ha desintegrado completamente.
Isótopo Cesio	<sup>134</sup> Cs; <sup>137</sup> Cs	200.000Km <sup>2</sup>	30 años	Aún sigue siendo un motivo de preocupación
Isótopo Americio	<sup>241</sup> Am	--	+1000 años	Contribución a la exposición humana baja.

\* Área afectada por los Isótopos

Tabla 3.3 Isótopos radiactivos depositados durante el accidente (Elaboración propia)

CONSECUENCIAS PARA EL MEDIO AMBIENTE II	
PAISES	RADIATIVIDAD LIBERADA DEPOSITADA EN EUROPA %
Bielorrusia	33.5
Rusia	23.9
Ucrania	20
Suecia	4.4
Finlandia	4.3
Bulgaria	2.8
Austria	2.7
Noruega	2.3
Rumania	2
Alemania	1.1
Otros	3

Tabla 3.4 Porcentaje de radiactividad liberada durante el accidente, depositada en Europa. Extracción De la Fuente, (2004)

Las zonas urbanas de ciudades como Pripyat, (situada a apenas 2 Km de la central siniestrada), fueron las más contaminadas. No obstante, las inclemencias del tiempo, así como las actividades humanas han reducido considerablemente la contaminación a nivel superficial, desplazándola a niveles inferiores en alcantarillados, fangos o tierras subterráneas. Cabe destacar que las tierras que no han sido tratadas por el ser humano y que se mantienen intactas desde el accidente, muestran valores de contaminación aún muy elevados.

Respecto a la contaminación de zonas agrícolas, los primeros días, el yodo radiactivo (<sup>131</sup>I) pasó directamente de los pastos y piensos a la leche, convirtiéndose en la mayor amenaza para la salud ciudadana. Se observaron niveles elevados en algunas partes de la URSS y de Europa meridional. No obstante, gracias a su rápido periodo de semidesintegración (8.02

<sup>9</sup> Periodo de semidesintegración del isótopo (ISO). Tiempo estimado que se cree que tardará en desaparecer o diluirse.

días), desapareció prácticamente en 3 semanas. Es importante decir que el isótopo de yodo fue el causante directo del cáncer de tiroides en niños; sin embargo, en la actualidad el verdadero problema es el cesio radiactivo ( $^{137}\text{Cs}$ ), aún presente en los alimentos de origen animal y vegetal. Éste último es y seguirá siendo por mucho tiempo la principal fuente de exposición humana interna (por ingesta de alimentos).

En cuanto a la contaminación de zonas forestales, los animales y la vegetación absorbieron grandes cantidades de cesio radiactivo y en la actualidad, los niveles siguen siendo elevados tanto en setas y bayas, como en la caza. Se espera que a medida que los materiales radiactivos migren hacia zonas más profundas del suelo y éstos se desintegren, la contaminación de las zonas forestales disminuya — del mismo modo que lo ha hecho en las zonas agrícolas—. Los gobiernos de algunos países impusieron restricciones en la caza, fijando la temporada de caza en los periodos en los que la carne de los animales está menos contaminada, según cita el comunicado de prensa de la OMS, (Hoffman & Fleming, 2005).

Respecto a las zonas acuíferas, la contaminación se vio considerablemente reducida gracias a la dilución en el agua, a la desintegración física y la absorción de los agentes contaminantes por parte de los sedimentos y suelos de las cuencas. No obstante, se encontraron elevadas dosis de cesio en peces de zonas alejadas como Alemania o Escandinavia. Es gracias a que este radionucleido se concentra en la espina del pez y no en su carne, que no hubo ni ha habido grandes consecuencias para la salud pública. Sin embargo, en aguas estancadas y lagos sin curso ni desagües, los niveles de cesio radiactivo son y seguirán siendo muy elevados por decenios, afectando así a la pesca.

Los tratamientos más eficaces en el aspecto medioambiental fueron la explotación y el propio uso de las zonas agrícolas contaminadas. La eliminación de pastos contaminados, tratando la tierra con productos “ligantes” para el Cesio, (productos químicos que impiden la transmisión de éste a los alimentos) se tradujo en grandes reducciones de la contaminación. No obstante, la crisis de los años 90 provocó un descenso de las ayudas para el uso de estos tratamientos. Se aplicaron medidas paliativas de restricciones de uso de tierras y caza. Sin embargo, los bajos ingresos de un sector de la población hacen que, en la actualidad, muchos de los residentes no respeten estas normas, exponiéndose peligrosamente a la contaminación.

Paradójicamente, cita el estudio del Forum de Chernobyl realizado durante el periodo de 2003 a 2005 (Hoffman & Fleming, 2005), la prohibición de estas actividades agrícolas en la zona de exclusión permitió la creación y proliferación de las especies animales y vegetales, creando así un “santuario excepcional de la diversidad biológica”.

### 3.1.3.1.3 Consecuencias para la economía

Dado que en el momento del accidente las políticas vigentes de la Unión Soviética eran diferentes a las actuales, para los expertos es muy difícil calcular los costes reales y precisos que se derivaron de Chernobyl. La posterior inflación y el desmembramiento de la URSS también fueron factores determinantes. Diversas estimaciones hechas a posteriori en los años noventa, sitúan la cifra en cientos de miles de millones de dólares. Dichas estimaciones comprenden los daños directos, los gastos relacionados con la recuperación, el asentamiento de los civiles y la protección social y de la salud, la producción de alimentos

y la vigilancia de la radiación sobre estos, así como las pérdidas indirectas derivadas del retiro de producciones agrícolas, las restricciones de producción y los costes adicionales del programa de anulación de energía nuclear de Bielorrusia, así como el aumento del coste de la energía por la pérdida de capacidad de suministro.

Este mismo estudio realizado por la IAEA (Hoffman & Fleming, 2005), asimismo, contempla las consecuencias de la economía local, siendo el sector agrícola el más afectado, con más de 1.200.000 hectáreas de producción perdidas y restringidas al uso humano. Las medidas de reparación han hecho posible que se siga produciendo alimentos, pero éstos tienen problemas de comercialización, dando lugar a una merma en los ingresos locales. Estos datos, junto con el ya citado desmembramiento de la URSS y sus consecuencias socio-económicas, se traducen en un deterioro de la economía, situando la zona con los niveles de vida más bajos, mayores tasas de desempleo y aumento de la pobreza.

#### 3.1.3.1.4 Consecuencias para la industria nuclear

Son muchas las consecuencias y lecciones aprendidas de Chernobyl, y de las que se derivan grandes decisiones que han cambiado la forma de tratar los mayores accidentes y de comunicarlos a la población; la visión de los ciudadanos de la energía nuclear se vio mermada tras el accidente de Chernobyl y a día de hoy aún colea. Sin embargo, son muchas las medidas que se tomaron para paliar esta crisis.

Cabe destacar que la central nuclear de Chernobyl no servía como referencia para el resto de centrales europeas, por lo que los planes de emergencia derivados de ella no serían de aplicación para otro tipo de reactores. Sin embargo, se pueden hablar de cuatro grandes aspectos que han sido determinantes a lo largo de los años, más conocidos como las "**Lessons Learned**":

- Aspectos Operacionales: basado en la mejora de los procedimientos del factor humano, factor técnico y factor organizativo de las centrales.
- Aspectos Técnicos y Científicos: basados en modelos de mejora del entorno.
- Programa INEX: basado en las recomendaciones de los países miembros para la preparación y gestión de emergencias nucleares.
- Programas psicosociales: Ayudas europeas para la rehabilitación de la población.

Además, el accidente originó que organismos ya existentes se involucrasen de lleno en las ayudas y recomendaciones, pero también sirvió para crear organizaciones nuevas, fondos económicos, estudios y recomendaciones, especializados por científicos de todos los ámbitos que aportaban su conocimiento.

Se cita a continuación las más destacadas, entre otras:

#### SIP

Creación del SIP (The Chernobyl Shelter Implementation Plan) en 1986 para proveer paso a paso una estrategia de recuperación del lugar del accidente.

<http://www.ebrd.com/pages/sector/nuclearsafety/chernobyl-sip.shtml>

### CSF

Formación del CSF (Chernobyl Shelter Foundation) en 1997 fue promovido por el EBRD para ayudar a Ucrania a construir un sarcófago nuevo y seguro sobre el reactor 4 destruido en el accidente de Chernobyl.

<http://www.ebrd.com/pages/sector/nuclearsafety/chernobyl-shelter-fund.shtml>

### EBRD

El EBRD (European Bank for Reconstruction and Development) ha estado ayudando a Ucrania desde que fue invitado en 1995 por ésta misma y por el G7 a participar en la administración de los fondos para la reconstrucción.

<http://www.ebrd.com/pages/sector/nuclearsafety/chernobyl.shtml>

### TACIS & PHARE

El programa de ayuda TACIS (1989) y el PHARE (1990) fueron dos fuentes de ingresos de fondos para la reconstrucción que gestionó el EBRD.

### ICRP

El ICRP (International Commission Radiological Protection) fundada en 1928, hizo recomendaciones para la intervención en los accidentes a raíz del ocurrido en Chernobyl.

<http://www.journals.elsevierhealth.com/periodicals/chernobyl/home>

### ECURIE

ECURIE (Europea Community Urgent Radiological Information Exchange) fue creado justo después del accidente de Chernobyl, en 1986, para una rápida notificación de catástrofes nucleares en los estados miembros de la Unión Europea

<http://www.ensreg.eu/nuclear-safety/prevention-accidents/emergency-arrangements-at-eu-level>

### IAEA (ó OIEA)

La IAEA (International Atomic Energy Agency) fue fundada en 1957 y participó activamente en la recuperación tras el accidente. Entre otras cosas, creó la escala INES (International Nuclear and Radiological Event Scale) en 1990 para poder explicar a la población los grados de peligrosidad de los accidentes nucleares.

<http://www.iaea.org/>



<https://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/ines.pdf>

### CSN

El CSN (Consejo de Seguridad Nuclear) de España o el NRC (Nuclear Regulatory Commission) de EE.UU., obligaron a revisar todas sus nucleares a raíz del accidente.

<http://www.csn.es/index.php/es/>

<http://www.nrc.gov/>

### OCDE/NEA

La OCDE/NEA (Organisation for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency) participó junto la IAEA en la creación de la INES, así como el desarrollo de conferencias donde se debatieron las directrices y recomendaciones para la recuperación de Chernobyl.

<http://www.oecd-nea.org/>

### WHO

WHO (World Health Organization) y FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) participaron también del desarrollo de medidas para la salud, creando el IPHECA (International Project on Health Effects of Chernobyl Accident), para el seguimiento y el estudio de las consecuencias para la salud del desastre, así como para apoyar los programas nacionales de desarrollo y recuperación; La WHO también compró equipos médicos para los países afectados (Bielorrusia, Federación Rusia y Ucrania) por un valor de 16 millones de dólares.

[http://www.who.int/ionizing\\_radiation/research/chernobyl/en/](http://www.who.int/ionizing_radiation/research/chernobyl/en/)

### INSAG

El INSAG (International Nuclear Safety Group) en la conferencia de Viena de 1986 creó su primer reporte proporcionando recomendaciones y comentarios en tema de seguridad tanto para la comunidad nuclear como para el público, creando el primer INSAG-1, basado en chernobyl y más tarde revisado en el INSAG-7.

<http://www-ns.iaea.org/committees/insag.asp>

### WANO

WANO (World Association of Nuclear Operators) fue otra de las organizaciones fundadas en 1986 tras el accidente del Reactor 4, con la pretensión de promover la cooperación en la industria nuclear.

## 3.2 IMPACTO EN LA PREVENCIÓN DE RIEGOS LABORALES

### 3.2.1 CULTURA Y CLIMA DE SEGURIDAD

#### 3.2.1.1 Cultura de Seguridad

El accidente de Chernobyl dio a conocer de manera oficial el concepto de “*Cultura de Seguridad*” o “*Safety Culture*” en el informe de la IAEA (publicado por primera vez en 1986 y, revisado y reeditado más tarde por Beninson et al., en 1992) cuando expuso que una de las causas del accidente fue la carencia de dicha cultura en la organización de la planta nuclear.

Este accidente abrió el debate sobre este concepto y se comenzó a hablar de él y de su gran importancia para la seguridad en la empresa.

No obstante, entre los años 70 y 80 ya existía un concepto que involucraba la organización de las empresas, llamado “*Cultura y Clima Organizativos*”. Zohar (1980) redactó unos cuestionarios dirigidos a los trabajadores de las empresas para poder descubrir qué percepción sentían éstos de una organización al estar en su lugar de trabajo y qué expectativas tenían sobre el mismo. El fin de este cuestionario era el de describir el tipo particular de clima organizativo de la empresa y el de examinar sus implicaciones en los trabajadores.

Para este nuevo concepto de cultura de seguridad, varios autores han intentado definirlo a lo largo de los años, algunos de ellos mezclando el concepto cultura y clima de seguridad. La diferencia entre ambos conceptos, a día de hoy sigue sin estar clara. De la misma manera aún no se ha conseguido dar con una definición precisa de lo que son la cultura y el clima de seguridad. Cada autor enfatiza unas cosas u otras dependiendo de quien define, según se muestra a continuación:

CULTURA DE SEGURIDAD	
AUTORES	DEFINICIÓN
Cox and Cox (1991)	<i>“Las culturas de seguridad reflejan las actitudes, creencias, percepciones y valores, que los empleados comparten en relación a la seguridad.”</i>
Pidgeon (1991)	<i>“El conjunto de creencias, normas, actitudes, roles, y prácticas sociales y técnicas que se centran en minimizar la exposición de los empleados, directores, clientes y miembros del público a las condiciones consideradas peligrosas o dañinas.”</i>
INSAG (1992)	<i>“La cultura de seguridad es ese conjunto de características y actitudes en las organizaciones e individuales que establecen que, como primera y máxima prioridad, las cuestiones relativas a la seguridad de las plantas nucleares reciben una atención garantizada por su importancia.”</i>
Ostrom et al. (1993)	<i>“El concepto que las creencias y actitudes de las organizaciones, manifestadas en acciones, normas y procedimientos, afectan en el cumplimiento de la seguridad.”</i>
Lee (1996)	<i>“La cultura de seguridad es el resultado de valores individuales y grupales, actitudes, percepciones, competencias y modelos de comportamiento que determinan el compromiso, el estilo y la capacidad de la gestión de salud y la seguridad de una organización. Las organizaciones con una cultura de seguridad positiva se caracterizan por las comunicaciones basadas en la confianza mutua, por la percepción compartida de la importancia de la seguridad y por la confianza en la eficacia de las medidas preventivas.”</i>

Continúa Tabla 3.5 "Definiciones de Cultura de Seguridad"	
AUTORES	DEFINICIÓN
Guldenmund (2000)	"Aquellos aspectos de la cultura organizativa que impactan en las actitudes o comportamientos relacionados al aumento o decrecimiento del riesgo."
Hale (2000)	"Las actitudes, creencias y percepciones compartidas por grupos naturales como la de la definición de normas y valores que determinan como actuar y reaccionar en relación a los riesgos y al control de riesgos"
O'Brien (2000)	"Un conjunto de actitudes, valores, metas y prácticas compartidas que caracteriza el esfuerzo que le pone una empresa a la seguridad"

Tabla 3.5. Definiciones de cultura de seguridad. Fuente ampliación Guldenmund, (2000)

La definición de Lee es la más completa de todas y es, según Prevención Express (Anónimo, 2003), la más utilizada, probablemente por ese grado de concreción.

Estudiando mejor esa misma definición podemos decir que la cultura de seguridad es el producto de múltiples interacciones con un fin entre las personas (psicología), trabajo (comportamiento) y la organización (situacional) (Cooper, 1998).

Cooper (2002) escribió que la cultura de seguridad debe comenzar en el compromiso de los distintos directivos de una organización, ya que su actitud influye directamente en las conductas del resto de la organización. Asimismo recopiló distintos objetivos de la cultura de seguridad que salieron en varias publicaciones:

- El de una reducción de accidentes y daños.
- Asegurarse que el tema seguridad en una empresa recibe la atención apropiada (IAEA)
- Asegurar que los miembros de una organización comparten las mismas ideas y creencias sobre los riesgos, accidentes y enfermedades.
- Aumentar la tasa de las personas que actúan con seguridad.
- Determinar el estilo y competencia de un programa de seguridad.

Además, hay autores como Andrew Hopkins (2002) y Anónimo (2003) que señalan que varios estudios indican que la cultura no es sólo un valor de los grupos y que pueden existir distintas subculturas, puesto que cada individuo o pequeño grupo de individuos, poseen la suya propia. Aunque sí que comparten algunas de las creencias y valores.

### 3.2.1.2 Clima de seguridad

CLIMA DE SEGURIDAD	
AUTORES	DEFINICIÓN
Zohar (1980)	"Un resumen de las percepciones molares que los empleados comparten sobre su ambiente laboral"
Brown y Holmes (1986)	"Un conjunto de percepciones o creencias que poseen los individuos y/o los grupos sobre una entidad particular"
DeDobbeleer y Béland (1991)	"Percepciones molares que la gente tiene del ambiente de trabajo"

Continúa Tabla 3.6. "Definiciones de Clima de Seguridad"	
AUTORES	DEFINICIÓN
Cooper and Philips (1994)	<i>"El clima de seguridad se asocia con las percepciones y creencias compartidas que los trabajadores tienen en referencia a la seguridad en su lugar de trabajo."</i>
Niskanen (1994)	<i>"El clima de seguridad se refiere a un conjunto de atributos que pueden percibirse en las empresas en particular y que deben ser inducidas por las normas y prácticas que esas empresas imponen a sus trabajadores y supervisores."</i>
Coyle et al. (1995)	<i>"La medida objetiva de actitudes y percepciones sobre la seguridad y salud laborales."</i>
Cabrera et al. (1997)	<i>"Las percepciones compartidas de los miembros de una organización sobre el ambiente de su trabajo y, para ser más preciso, sobre las políticas de seguridad de la organización para la que trabajan."</i>
Williamson et al. (1997)	<i>"El clima de seguridad es un concepto de resumen que describe la ética referente a la seguridad de una empresa o un lugar de trabajo que se refleja en las creencias de los empleados sobre la seguridad y está pensado para predecir la manera en la que los empleados se comportan con respecto a su seguridad."</i>
Flin et al. (2000)	<i>"El clima de seguridad puede ser considerado como una característica superficial de la cultura de seguridad que discierne las actitudes y percepciones de la mano de obra en un momento dado."</i>

Tabla 3.6. Definiciones de clima de seguridad. Fuente ampliación Guldenmund (2000)

Cooper (2000) en el análisis que hizo de la definición de cultura de seguridad dada por el ACSNI, concluyó que el clima de seguridad era un factor que dependía más de las personas, es decir, en un ámbito psicológico. Por tanto consideraba que el clima de seguridad ya estaba contemplado en la definición de cultura de seguridad.

### 3.2.1.3 Modelos

Todas las acepciones encontradas presentaban distintas variables en sus definiciones. Algunas de éstas se repetían en las distintas acepciones.

#### 3.2.1.3.1 Variables cultura de seguridad

Las variables más repetidas era las que hablaban de "creencias", "percepciones" y "actitudes" [Cox and Cox (1991), Pidgeon (1991), Ostrom et al. (1993), Lee (1996), Hale (2000), O'Brien (2000)]. Seis de ocho definiciones anotadas hablaban de ello. "Actitudes de las organizaciones o individuales" [INSAG (1991), Ostrom et al. (1993), Lee (1996), Hale (2000)]. Algunas mencionaban variables más concretas como "normas" o "procedimientos" [Ostrom et al. (1993), Pidgeon (1991), Hale (2000)]. Conceptos que debían ser "compartidos" entre los trabajadores de una organización [O'Brien (2000), Cox and Cox (1991), Hale (2000)].

Sin embargo conceptos como "riesgo" sólo lo mencionaban dos autores [Pidgeon (1991), Hale (2000)]. Y sólo un autor hacía referencia a "medidas preventivas" [Lee (1996)].

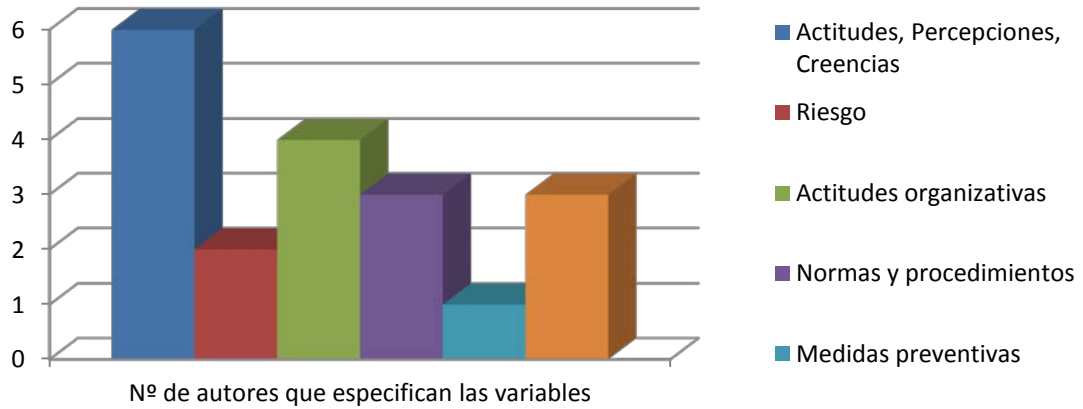


Figura 3.1

3.2.1.3.2 Variables clima de seguridad

La variable más repetida respecto a las definiciones de clima de seguridad era la de “percepción”, la cual ocho de cada nueve autores citados la usaban para definir el concepto [Zohar (1980), Brown y Holmes (1986), DeDobbeleer y Béland (1991), Cooper and Philips (1994), Niskanen (1994), Coyle et al. (1995), Cabrera et al. (1997), Flin et al. (2000)]. Algunos mencionaban la variable “molar” [Zohar (1980), DeDobbeleer y Béland (1991)]. Únicamente un autor se refería a las “normas” en su definición [Niskanen (1994)]. Varios hacían referencia al “ambiente en el lugar de trabajo” [DeDobbeleer y Béland (1991), Zohar (1980), Cabrera et al. (1997)]. Algunos autores, además de las percepciones sumaban la variable de las “creencias” [Williamson et al. (1997), Brown y Holmes (1986), Cooper and Philips (1994)]. Por último, una de las definiciones hacía referencia a que el clima de seguridad era una “característica de la cultura de seguridad” [Flin et al. (2000)].

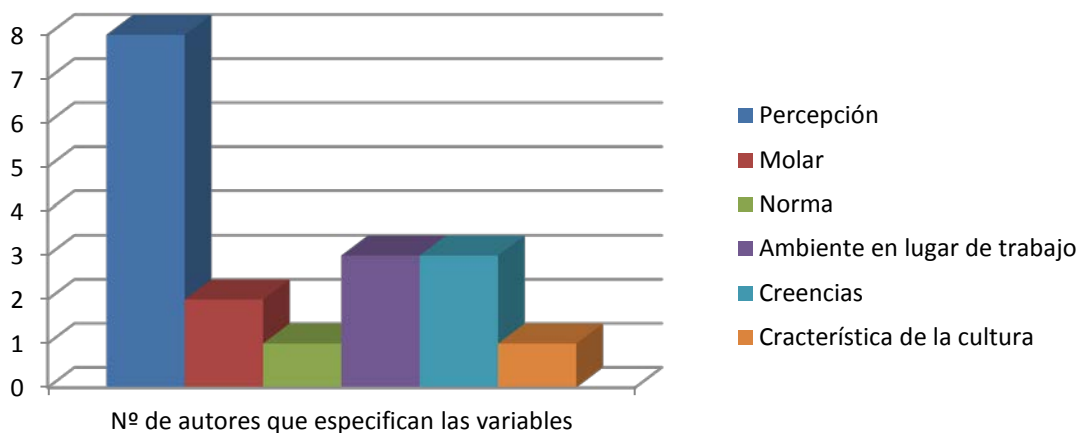


Figura 3.2

#### **3.2.1.4 Cultura y clima**

Hubiese o no una diferencia entre ambos conceptos, la lectura de los textos sugería que su implementación con éxito está en manos de la dirección de la organización a través de los modelos propios de gestión de seguridad.

Pero no sólo se debía depender de esos modelos. La misma dirección de la organización debía involucrarse personalmente en implementar dichos modelos y responsabilizarse para concienciar activamente a sus trabajadores sobre los riesgos que conllevaba estar en su lugar de trabajo. Además debía comunicarse con sus trabajadores y mostrar interés por su lugar de trabajo. Como resultado se transmitiría a los trabajadores una sensación de importancia de la seguridad para la empresa, corroborando que cumplían la normativa establecida en cuanto a medidas de seguridad.

Asimismo, para conseguir que la implementación fuese exitosa, debía haber una participación activa de los propios trabajadores de la empresa. Este factor era determinante, ya que el propio empleado tenía el poder de evitar situaciones que comprometiesen su seguridad.

### **3.2.2 SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN**

Para poder determinar qué influencia ha tenido el concepto “**safety culture**” en el sector de la construcción en general, se ha realizado la lectura de algunos artículos que tratan el tema, ya sea a través de entrevistas o con pequeños estudios estadísticos.

Abdulah y Wern (2012) escribieron un artículo en el que se pretendía investigar los factores que afectaban a la cultura de seguridad en el sector de la construcción en Malasia. La intención era la de averiguar, mediante una muestra de varias empresas, si se practicaba una cultura de seguridad por parte de la mayoría de las compañías de construcción de Malasia. Para ello realizaron una entrevista a 6 profesionales del sector de diferentes edades y rangos de titulaciones. La primera pregunta requería su opinión general en relación a la cultura de seguridad. Algunos de los entrevistados respondieron que la seguridad había pasado de estar en un segundo plano, a tener una gran importancia a través de los años. Otro de los entrevistados reveló que los contratistas preferían ofrecer precios bajos dejando de lado la seguridad, obligando que los subcontratistas se hiciesen cargo de ésta. Además destacaron que la imposición de una normativa al respecto por parte del gobierno ayudaba en gran medida, pero que el cumplimiento de la legislación estaba en manos de las empresas, siendo éstas las responsables de que todos los trabajadores cumpliesen las normas exigidas.

Los autores concluyeron que “...es crucial entender que la cultura de seguridad en una empresa de construcción no es sólo responsabilidad de una parte sino de todas, y la influencia de cada una de las partes afectará a la buena implantación de una cultura de seguridad en la empresa. Una buena práctica en la empresa y que los trabajadores lo muestren, reflejarán el liderazgo y estabilidad de una organización.”

Bigg et al. (2013) realizaron un estudio sobre las percepciones de algunos expertos en seguridad de una de las organizaciones más importantes de Australia. Mientras que las

causas de accidentes en el lugar de trabajo en la construcción variaban, el contexto en el que se desempeñaba dicho trabajo era un factor muy importante para la prevención de accidentes (Misnan y Mohammed, 2007). Usaron el método Delphi para las entrevistas, el cual constaba de dos partes: una primera entrevista hablada en persona o telefónica, y una segunda parte donde se debía responder una serie de preguntas online.

Los autores concluyeron en su estudio que: *“...El punto fuerte del estudio es que entre los entrevistados había personas especializadas en la seguridad de la organización, y pudieron proveer una opinión experta sobre su entendimiento relativo a la cultura de seguridad. Las percepciones dadas por este estudio son críticas para esos investigadores y profesionales que intentan integrar la teoría y práctica de la cultura de seguridad para mejorar los resultados de seguridad.”*

Choudhry et al., (2009) realizaron un estudio para determinar el clima de seguridad en las empresas del sector de la construcción y cómo se conseguiría mejorar la cultura de seguridad en sus organizaciones e impactar positivamente en la puesta en obra de los proyectos de construcción. Para ello realizaron una serie de cuestionarios que enviaron a una de las organizaciones de construcción más grande de Hong Kong. Gran parte de dichos cuestionarios fueron respondidos por parte de personas responsables de 22 obras distintas realizadas por dicha empresa. Generalmente esta clase de cuestionarios eran para reflejar los pensamientos de los empleados en cuanto al compromiso de la dirección, o para averiguar en qué lugares la seguridad necesitaba mejorar. Escogieron el modelo de cuestionario realizado por Tsinghua-Gammon Construction Safety Research Center que estaba basado en el de Fang et al. (2006). Los resultados revelaron dos dimensiones que se situarían en valores muy bajos: *“...el compromiso de la dirección y cuanto se involucran los trabajadores...”* y *“...procedimientos de seguridad y prácticas de trabajo inapropiados...”*. Esta segunda dimensión se identificó como un error grave, puesto que se había demostrado en diversas ocasiones que unas prácticas de seguridad inapropiadas necesitaban ser revisadas periódicamente.

Los autores concluyeron que: *“...estas dos dimensiones se identificaron como significativas a la hora de explicar como los trabajadores perciben el desempeño de la seguridad en Hong Kong... El estudio concluyó en que la dirección puede ser avisada de los errores potenciales en los sistemas de seguridad midiendo el clima de seguridad y puede ser asesorada sobre como debería funcionar la seguridad en los ambientes de construcción.”*

Dulaimi y Chin (2009) escribieron un artículo en referencia a la seguridad en la construcción por la elevada accidentalidad que había en el sector de la construcción en Singapur, pese a la entrada en vigor en el año 1994 de una estricta legislación que afectaba a dicho sector. El estudio, a través de un cuestionario remitido a los profesionales del sector, con la finalidad de obtener sus puntos de vista sobre las metas que deben proponerse la dirección y que deben conseguirse para mejorar la cultura de seguridad en la obra. Recibieron 31 respuestas de constructoras locales, concluyendo que estas constructoras eran más conscientes de la seguridad y/o más abiertas a expresar sus opiniones. La mayoría de los accidentes que sufrieron las empresas que contestaron fueron menores y bastó con la aplicación de los primeros auxilios. Todas las empresas declararon que tenían una política de prevención de riesgos y que el fin era el de proteger a los empleados. Excepto una

empresa, todas proveían enseñanzas de seguridad a sus trabajadores, con una duración que variaba según la empresa.

Ambos autores concluyeron: *“...el estudio identificó 4 metas que la dirección debe tener en relación a la seguridad: tener una dirección que se implique, reducir costes relacionados a los accidentes, formar un equipo de trabajo altamente competente y seleccionar subcontratas más concienciadas de los riesgos...”*

Fang y Wu (2013) explicaron que la seguridad en la obra era distinta a la seguridad que se debía seguir en otro tipo de organizaciones, y constataron que no había un modelo básico que fuese específico para la construcción. Con su artículo se pretendía exponer una definición válida de cultura de seguridad para el sector de la construcción y diferenciarla del resto de cultura de seguridad de las organizaciones, así como proponer un modelo de interacción de cultura de seguridad que demostrara la específica interacción dinámica entre propietario, contratista y subcontratista. Centaron su consulta en Singapur, la cual constó de un cuestionario relacionado con el clima de seguridad y de la implementación del “Behavior-Based Safety” (BBS) en dos proyectos de construcción para examinar el modelo teórico y elaborar las características del modelo específico que querían crear. Los cuestionarios se remitieron a un total de más de 400 personas, y fueron preguntas realizadas por otros autores. Los cuestionarios dieron como resultado para los propietarios de las empresas que el grado de cultura de seguridad era conocido por un 93 de cada 100 encuestados, mientras que el de los trabajadores a pie de obra dieron un resultado de 71 cada 100 encuestados. Se concluyó entonces que esa gran diferencia entre propietarios y trabajadores de la obra era a causa de los contratistas que trabajan en la organización.

En cuanto al BBS, dio como resultado 11 comportamientos inseguros críticos. Cada vez que ocurrían actos inseguros, los autores tenían entrevistas con esas personas y a medida que iba pasando el tiempo, el nivel de de los actos inseguros iba disminuyendo. Se concluyó que sus actos inseguros eran causados por comportamientos relacionados con la dirección, donde la información, la incomprensión de los problemas y la poca equipación de los trabajadores fueron las causas específicas.

Los autores (Fang y Wu, 2013) concluyeron: *“...un equipo de trabajo en la obra es una organización temporal reunida específicamente para una obra, en la cual hay diversas empresas externas que trabajan en ella. (...) Debido a esta gran diversidad de empresas que se juntan para trabajar en la obra, existen subculturas de seguridad, y eso hace que sea muy difícil saber el nivel de cultura de seguridad en una obra. Sin embargo, las subculturas de seguridad de las partes específicas deben interactuar con la cultura de seguridad de la organización. Como resultado se daría una cultura de seguridad específica en cada proyecto...”*

Gilkey et al. (2012) expusieron en su artículo que las obras de construcción eran los puestos de trabajo más peligrosos existentes, según un estudio realizado por “Center for Costruction Research and Training” en el año 2007. Por esa razón, el artículo intentaba realizar un estudio comparativo entre las medidas de cultura y clima de seguridad de diferentes empresas. Para ello escogieron un grupo de trabajadores en cuya organización existiese un programa de seguridad, donde hubiesen recibido clases de seguridad por parte de la misma y dichas organizaciones hubiesen sido auditadas con éxito; por otro lado, estudiaron un



grupo de trabajadores que no estuviesen expuestos a los riesgos de la obra y nunca hubiesen sido auditados. Usaron un cuestionario de 20 preguntas para 200 personas, englobando entre ellas a directores y trabajadores de la empresa. Los autores distinguieron que el grupo de la dirección evaluó más altamente el clima y cultura de seguridad que los trabajadores de a pie y los subcontratistas. También notaron como las calificaciones del grupo de directores que no había sido auditado eran más heterogeneas, pero aún y así eran mayores que las del resto de trabajadores. Se encontró que el 65% de los directores estuvieron como mínimo de acuerdo en que las medidas de seguridad son mucho más importantes que cumplir los plazos.

Los autores, al concluir su estudio, dictaminaron que *“...las empresas de construcción de edificios residenciales necesitan ponerle más esfuerzo a la implantación de una cultura de seguridad, prácticas de trabajo más seguras y mejorar las condiciones de salud. (...) Representantes de la industria y constructores de edificios residenciales, deberían usar este estudio y los otros existentes para desarrollar métodos de intervención para manipular y mejorar la cultura de seguridad y las prácticas seguras en el trabajo...”*

Molenaar et al (2009) realizaron un estudio para cuantificar la relación entre la cultura de la organización y el programa de seguridad, usando las respuestas de 196 cuestionarios realizados a 3 diferentes organizaciones de construcción, usando varias variables que describían la cultura de seguridad en la empresa. El Structural Equation Model (SEM) que emplearon sugería que la cultura de seguridad de una organización era un aspecto importante para tener un programa de seguridad.

Los autores concluyeron dando una serie de recomendaciones: *“...la dirección se debe involucrar mucho más, los subcontratistas deberían integrarse en el modelo de seguridad de la empresa que los contrata, ofrecer incentivos a la conducta segura que sigue los protocolos, asignar un pequeño gabinete de representantes en la empresa que se especialice en seguridad, y emplear sanciones quitando incentivos a los que actúan de manera insegura repetidamente...”*

Walker y Maune (2000) escribieron un artículo partiendo con el ejemplo de la construcción de una planta petroquímica, el cual titularon “creando una extraordinaria cultura de seguridad”. En su artículo hacían hincapié en la baja accidentalidad que hubo en la obra, comparándolo con los datos oficiales de accidentes y heridos en las obras en general. La directiva reconoció que en los proyectos internacionales sólo se enfatiza la seguridad una vez que un accidente ocurría. En el momento de contratar la mano de obra, o los subcontratistas, la directiva de la petroquímica Saudi Chevron realizaba entrevistas de trabajo y les comunicaba a los que iban a trabajar con ellos que debían adoptar una “filosofía de no lesiones”. Asimismo revisaron los accidentes laborales que habían sufrido los contratistas para verificar la validez de su plan de prevención de riesgos. Hicieron un plan con distintas fases:

- La fase uno era a nivel de dirección. El propietario y contratistas debían formar un equipo unido e involucrarse para lograr que todos sus trabajadores fuesen tratados con dignidad y respeto y que estuviesen provistos de equipos de seguridad y de un lugar de trabajo seguro.

- La fase dos era la implementación del mejor programa de seguridad y de unos procesos de seguridad de primera clase.
- La fase tres consistió en conseguir que los trabajadores obtuvieran una cultura de seguridad.

Como resultado, la obra culminó a tiempo, se gastó menos de lo presupuestado y con un récord ejemplar en cuanto a seguridad. Esta obra ha sido reconocida como ejemplo en el Medio Este por todos estos logros citados. Por ejemplo: en cuanto a incidentes que necesitaron primeros auxilios, la obra promedió a nivel internacional (según el estudio) oscilaba en una cifra de 1.325 heridos. En este proyecto sólo hubo 141 heridos.

Los autores (Walker y Maune, 2000) concluyeron: “...aunque la mentalidad “sin incidentes ni heridas” no estuvo presente desde el principio (en la fase de viabilidad) del proyecto, a través de la diligencia y el compromiso de la dirección de adoptar la seguridad como un valor, un importante cambio cultural ocurrió. (...) Como resultado de ese compromiso hacia la seguridad, no sólo se lograron los objetivos empresariales sino que además muchos trabajadores pudieron llegar a casa sanos y salvos cada día...”

## 4. CAPÍTULO IV: ACCIDENTES MAYORES EN EL SECTOR QUÍMICO

### 4.1 SEVESO

#### 4.1.1 ANTECEDENTES

##### 4.1.1.1 Descripción

*Fábrica ICMESA, Meda - Seveso, Monza y Brianza (Italia). 10 de Julio de 1976, 12.37h*

El sábado 10 de Julio de 1976, aproximadamente a las 12.37h del medio día, el tanque de reacción del triclorofenol (TCP) de la fábrica ICMESA, productora de hexaclorofeno (una sustancia desinfectante usada en jabones medicinales y cosméticos), estalló tras una sobrepresión en el tanque de combustible que pasó de estado líquido a gaseoso con desprendimiento de calor. Una mezcla química compuesta por sustancias altamente tóxicas, (Tetraclorodibenzodioxina o TCDD<sup>10</sup>, hidróxido de sodio o sosa cáustica y glicol o disolvente) fue proyectada a la atmosfera en forma de aerosol, generando una nube tóxica que se dispersó a través de 1.810 hectáreas de los municipios colindantes. Fue conocido como el mayor accidente químico europeo con graves consecuencias para la humanidad y el medio ambiente, y que estableció un marco legislativo único para toda la Unión Europea en materia de prevención y control de accidentes graves.

Este suceso tan solo tuvo lugar dos años después del accidente de Flixborough, (Reino Unido, 1974), cuando el escape de 40 Tn de ciclohexano en una planta industrial dedicada a la producción de caprolactama (empleada para la fabricación de fibras textiles) y su posterior explosión, produjo la muerte de 29 trabajadores y cientos de heridos. Sin embargo, después de la legislación generada (Seveso I) a raíz de los accidentes, se sucedieron otros como el de Alfaques (España, 1978), Ixhuatpec (México, 1984) o Bhopal (India, 1984), todos en el mismo ámbito de aplicación de sustancias químicas peligrosas.

La empresa ICMESA (Industria Química Meda S.A.) estaba situada en el municipio de Meda, limítrofe con Seveso, a 18 Km al norte de Milán. Dichos municipios ocupaban una superficie de 16 Km<sup>2</sup>, de perfil llano e ideal para la explotación agropecuaria y agrícola. En el momento del accidente, se estimó que la población se había incrementado un 39%, alcanzando los 41.000 habitantes.

El día del escape de la nube tóxica el viento soplaba a 18 Km/h, lo que permitió que ésta se extendiese rápidamente por los municipios de Monza, afectando 1.810 hectáreas de terreno. Fueron tres las zonas establecidas por las autoridades:

- Zona A: Seveso y la zona de la fábrica en Meda, siendo la más contaminada.
- Zona B: Seveso, Cesano y Desio, siendo las segundas zonas más afectadas.
- Zona R: Gran parte de Seveso, Cesano y Desio, y parte del este de Bovisio y Barlassina y el sur de Meda, siendo la zona de menor contaminación.

---

<sup>10</sup> El TCDD es la misma dioxina que se empleó para envenenar al ex presidente de Ucrania, Viktor Yuschenko en 2004, así como uno de los componentes del "Agente Naranja" que los Estados Unidos empleó durante la guerra del Vietnam entre 1961 y 1971.

## 4.1.2 DESCRIPCIÓN DEL ACCIDENTE

### 4.1.2.1 Hipótesis y Causas

En la mayoría de accidentes la teoría de la multicausalidad es la principal hipótesis que se baraja para entender las causas de estos, y es como los autores los reconstruyen. No obstante, según Aparicio Florido (2001), para los directivos de ICMESA sólo hubo una causa que produjo la catástrofe de Seveso, la cual era imprevisible en aquel momento: “*el recalentamiento del combustible en el interior del reactor de triclorofeno*”. El autor asegura que otros especialistas sostienen que sí se podría haber evitado el accidente, argumentando que existían descripciones de otros accidentes entre 1971 y 1974 con la misma sustancia. Sin embargo, considera que las escasas medidas de seguridad de la planta química fueron las principales causas del accidente:

- No existía un plan de seguridad por parte de la directiva de ICMESA con las autoridades locales.
- No se realizaban análisis de riegos de los distintos procesos de producción.
- Los controles de dichos procesos se realizaban manualmente, incluidos los sistemas de refrigeración de las reacciones.
- No había un sistema de alarma que advirtiese del aumento de la temperatura del reactor.
- Los operarios desconocían los riegos asociados a su trabajo, las medidas preventivas y los pasos operacionales en caso de accidente.

Santamaría Ramiro (1998) cita otras tres causas principales, ligadas al diseño y al factor organizativo:

- Se asumió un riesgo innecesario al dejar una mezcla reactiva y peligrosa durante un fin de semana sin vigilancia ni medidas de seguridad. Esto fue debido al sistema de trabajo impuesto por la empresa, consistente en turnos de trabajo. Casi todos los fines de semana interrumpía la reacción, aunque normalmente se terminaba la destilación añadiendo agua y ácido clorhídrico.
- El sistema de alivio de emergencia estaba mal diseñado. Se permitió que la nube tóxica fuese directamente a la atmosfera. Homberger et al. (1979) explican que, debido a una posible obstrucción de la tubería que conectaba el reactor con el exterior, permitió que se formase una mayor cantidad de gas y que éste, a su vez, aumentase la presión dentro del tanque más allá de los valores permitidos por el disco de ruptura, lo que condujo al escape al exterior de los gases tóxicos.
- La carencia de una organización en caso de accidente y la ausencia de un plan de emergencia externo. Esto derivó en un gran retraso en el conocimiento de la gravedad del accidente.

Las instalaciones de ICMESA no contaban ni con el equipo de análisis ni con el personal cualificado para identificar el compuesto liberado, por lo que se tuvo que esperar a la llegada de personal especializado desde Suiza seis días más tarde, momento en el cual se determinó que se debía evacuar a la población.

Tanto Santamaría Ramiro (1998) como Aparicio Florido (2001) en sus respectivos estudios estaban de acuerdo en que existía una experiencia previa en otras plantas de producción similar que podían advertir del alcance del accidente para haber actuado de una forma más eficaz. “...sin lugar a dudas, el accidente se podía haber evitado o al menos haber mitigado sus consecuencias mediante un análisis de riesgos y un diseño y operación más cuidadosos del reactor” (Santamaría Ramiro, 1998)

#### **4.1.2.2 Reconstrucción del accidente**

La imposibilidad de comunicación durante el fin de semana por parte de los operarios con los directivos de la empresa fue decisiva para la organización y toma de decisiones posterior al accidente. Los sucesos se produjeron escalonados, mostrando notoriamente las carencias operacionales de la fábrica y empeorando las consecuencias para la salud pública y medioambiental.

El accidente se gestó durante el paso de la noche del día 9 a la madrugada del día 10, encontrándose los operarios del turno de mañana con una situación irreversible. A continuación se muestra una extracción de la reconstrucción de los hechos acaecidos (Aparicio Florido, 2001):

#### **9 de Julio de 1976**

**Tarde.** Se inició la reacción para la elaboración del TCP. El reactor se llenó con diversos materiales iniciadores.

**Noche.** Iniciaron la destilación del disolvente.

#### **10 de Julio de 1976**

**Madrugada.** Uno de los técnicos dio la orden de interrumpir la destilación, interrumpiendo la operación. Se cerró el vapor y se paró el agitador. La temperatura en ese momento en el reactor era de 158°, (siendo la temperatura de trabajo normal del triclorofenol entre 150 y 160°). Los trabajadores del turno de noche finalizaron su jornada, quedando sólo en la fábrica los operarios de mantenimiento y limpieza.

**12.37h.** La brida de una válvula de seguridad del tanque de reacción del TCP estalló como resultado de una sobrepresión del combustible. Repentinamente, una reacción exotérmica tipo “runaway” produjo un aumento de la presión en el reactor, causando la apertura del disco de ruptura. Una reacción química fuera de control provocó el venteo del reactor liberando unas dos toneladas de productos químicos a la atmosfera. Se expulsaron entre 0,5 y 2 Kg de TCDD, cuya dosis letal para una persona con una exposición de sensibilidad promedio es inferior a 0,1 mg. La nube tóxica avanzaba arrastrada por el viento de 18km/h dirección sureste.

**Minutos posteriores.** Tras la emisión de la nube, los operarios de la planta intentaron avisar a las autoridades de la peligrosidad del escape, pero no fue posible contactar con ellos. Durante el fin de semana, los altos mandos estaban ilocalizables. Más tarde, uno de los operarios que detectó la fuga consiguió contactar con uno de los técnicos, el Dr. Clemente Barni.

**Hora más tarde.** El técnico Clemente Barni llegó a la fábrica y consiguió detener la fuga mediante el encendido del sistema de refrigeración. No obstante, unas tres toneladas de productos tóxicos ya se habían esparcido por la atmósfera.

**Minutos posteriores.** Consciente de ello, el Dr. Clemente Barni inspeccionó las áreas circundantes a las instalaciones, advirtiendo a tantos habitantes como se encontraba a su paso del no consumo de productos frescos ni agua, a pesar de no encontrar indicios de contaminación; en ese mismo instante se avisó a las autoridades y a la policía de la situación, sin embargo, al haberse producido el accidente durante el fin de semana se dificultó el contacto con éstas, por lo que no se alertó a la población, ni se emprendieron medidas de emergencia adecuadas.

#### **11 de Julio de 1976**

**Mañana.** El Dr. Paolo Paoletti, Director de Producción de ICMESA no logró contactar con Herwig Von Zwehl, Director técnico de la misma empresa. Con la ayuda del Dr. Clemente Barni, inició un protocolo consistente en concertar entrevistas con los directores locales de salud de Meda y Seveso, así como con los alcaldes de ambos municipios. Recogieron muestras del reactor y del área circundante y las enviaron a los laboratorios de la empresa Roche en Suiza para ser analizadas.

#### **14 de Julio de 1976**

**Mañana.** Los resultados de los análisis del laboratorio suizo informaron que las muestras contenían trazas de la dioxina de TCDD. No obstante, no se pudo determinar la cantidad fugada. Actualmente la cifra varía para los expertos entre 300 gr y 130 Kg.

#### **15 de Julio de 1976**

**Mañana.** Con los resultados en la mano, las autoridades publicaron dos decretos en los respectivos municipios (Seveso N°43/76, Meda N°2/76) en los cuales citaban las áreas contaminadas y prohibían el consumo de frutas y hortalizas procedentes de éstas áreas. Paradójicamente, se descartó la evacuación de la población, desatendiendo todos los consejos de los técnicos y expertos; comenzaron a aparecer los primeros síntomas de inflamación cutánea aguda entre los habitantes más próximos a las instalaciones. Alrededor de 16 niños tuvieron que ser hospitalizados.

**Entre los días 17 y 20 de Julio de 1976**

**Horas.** Se reunió la información sobre la toxicidad del TCDD, los métodos de detección de dicha toxina y los mapas detallados de las zonas contaminadas. Se estableció contacto con otras empresas que habían sufrido accidentes similares con TCP y solicitaron información sobre la dioxina y sus efectos. La información fue transmitida a las autoridades sanitarias, junto con la recomendación de evacuar a la población, las cuales fueron aceptadas, así como el cierre oficial de la fábrica, el sellado del edificio accidentado, la prohibición del consumo de productos hortofrutícolas y el arresto de los directores técnicos y de producción de ICMESA, Herwig Von Zwehl y Paolo Paoletti, para evitar cualquier posible fuga del país.

**24 de Julio de 1976.**

**Horas.** El gobierno italiano ordenó la evacuación de la población afectada y su realojo en hoteles.

**25 de Julio de 1976.**

**Horas.** Comenzó el éxodo entre las más estrictas medida de control con el fin de evitar una mayor dispersión de la dioxina. Ya habían muerto más de 3.300 animales pequeños.

A mediados de agosto las medidas sanitarias recomendadas por los expertos entraron en funcionamiento. Toda la población afectada fue sometida a análisis clínicos y tratamientos específicos que continuaron durante los veinte años posteriores al accidente. Se creó la comisión “Cimmino” con el objetivo de restaurar la zona empleando costosas medidas de descontaminación.

**4.1.3 CONSECUENCIAS****4.1.3.1 Daños materiales y humanos**

Se conoce al accidente de Seveso como uno de los accidentes industriales de mayor repercusión a nivel europeo, quizá motivo por el cual da nombre coloquialmente a la legislación conocida como Seveso I, (que posteriormente fue modificada por Seveso II y Seveso III), situada en el marco legislativo de la UE para la prevención y control de accidentes graves asociados a sustancias peligrosas.

Más de 200.000 mil personas fueron evacuadas, aproximadamente unas 500 sufrieron quemaduras cáusticas y más de 80.000 animales fallecieron o tuvieron que ser sacrificados para evitar que las dioxinas se propagaran por la cadena trófica. Varias mujeres embarazadas abortaron a consecuencia de la toxina TCDD, — potente teratógeno conocido por causar malformaciones en los fetos —, (Ferrer Márquez, 2006).

#### 4.1.3.1.1 Consecuencias para la salud física y psíquica de la población

El primer paso y el más urgente inmediatamente después del accidente, (Homberger et al., 1979) debía haber sido la atención médica de las personas involucradas en el mismo, las cuales estuvieron expuestas al contacto físico con la toxina de TCDD. Sin embargo, fue el 16 de Julio cuando se ingresaron los primeros pacientes con síntomas agudos de inflamación cutánea causada por la nube tóxica. Once niños tuvieron que ser hospitalizados de gravedad.

Las autoridades carecían de información técnica sobre la toxina que estaba afectando a la población y necesitaron varios días para reunir información, tiempo durante el cual, siguieron expuestos a la contaminación, (Aparicio Florido, 2001). A finales de Julio el gobierno decidió evacuar a la población afectada y elaboró una zonificación de áreas contaminadas a raíz de los estudios realizados por los expertos.

Homberger et al. (1979) citaron algunos de los datos obtenidos tras los análisis de los científicos: las muestras de hierba en un área al sureste de la fábrica, a unos 900 metros, contenían una cantidad de TCDD superior a 15 mg/Kg, lo que representaba un alto riesgo para la población. Experimentos en animales mostraron que la toxina TCDD era uno de los agentes tóxicos conocidos más peligrosos en dosis pequeñas (menos de 1 µg/Kg). Gracias a estos experimentos en animales se pudieron hacer observaciones clínicas sobre los efectos de la exposición a dicha toxina. Trece días después del accidente, los científicos remitieron un informe a las autoridades y el gobierno con un mapa de las zonas de exclusión, donde la población debía ser inmediatamente evacuada. El gobierno aceptó e implementó dicha petición.

La evacuación de 212 familias (736 personas) fue realizada con rapidez en dos plazos y se emitieron las directivas para reducir al mínimo el riesgo de exposición de otras 5.000 personas. También realizaron analíticas del grado de contaminación por TCDD, utilizando muestras de tierra, dividiendo el territorio en zonas caracterizadas por la gravedad de la contaminación por la toxina TCDD, (Homberger et al., 1979; datos que contrastan con la tabla 4.2):

- ZONA A: (0,73 Km<sup>2</sup>) con un nivel medio de 230 µg/m<sup>2</sup> y 736 personas evacuadas.
- ZONA B: (2,26 Km<sup>2</sup>) con una media de 3 µg/m<sup>2</sup> y 4.699 personas.
- ZONA R: (12 Km<sup>2</sup>) y una media esporádica de contaminación de 0,5 µg/m<sup>2</sup> y 31.800 habitantes.

<b>CONSECUENCIAS PARA LA SALUD FÍSICA Y PSÍQUICA I</b>				
<b>ZONAS</b>	<b>Niveles de TCDD (µg/m<sup>2</sup>)</b>			
	<b>Alto</b>	<b>Bajo</b>	<b>Media Parcial</b>	<b>Media Global</b>
<b>A1</b>	5477	--	235.5	580.4
<b>A2</b>	1700	6.1		521.1
<b>A3 Norte</b>	2015	1.7		453.0
<b>A3 Sur</b>	441	--		93.0
<b>A4</b>	902	--		139.9
<b>A5</b>	427	--		62.8
<b>A6</b>	270	--		29.9
<b>A7</b>	91.7	--		15.5



Continúa Tabla 4.1 "Niveles de TCDD en las Zonas contaminadas"

ZONAS	Niveles de TCDD ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ )			
	Alto	Bajo	Media Parcial	Media Global
B	43.8	--	--	3.0
R	$\leq 5.0$	--	--	0 – 0.5

Tabla 4.1 Niveles de TCDD en las Zonas A, B y R a 1976 (Hombberger et al., 1979)

CONSECUENCIAS PARA LA SALUD FISICA Y PSÍQUICA II				
ZONA	ÁREA (Ha)	POBLACIÓN	NIVELES DE TCDD ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ )	
			Mín.	Máx.
A	87.3	735	15.5	580.4
B	269.4	4.699	1.7	4.3
R	1430.0	31.800	0.9	1.4

Tabla 4.2 Características de las Zonas A, B y R a 1976 (Bertazzi, 1991)

Una comisión médica se encargó de supervisar la salud de 220.000 personas en 11 municipios alrededor de la fábrica de ICMESA, (Seveso, Meda, Cesano, Desio, Barlassina, Bovisio, Lentate, Muggio, Nova, Seregno y Varedo). A los ya citados habitantes de las zonas A, B y R (736, 4.699 y 31.800 pacientes respectivamente) se sumaron 181.893 de las zonas exteriores a las de exclusión, (un total de 219.128 exactamente, según el estudio de Hombberger et al., 1979).

Se estima (Aparicio Florido, 2001) que la toxina TCDD causó 447 casos de quemaduras químicas agudas graves y 193 casos de cloracné<sup>11</sup>.

Hubo también secuelas posteriores a la exposición, que aparecieron más tarde, con consecuencias mucho peores que los efectos inmediatos en la piel. Aparicio Florido (2001) asegura que las víctimas de Seveso han padecido trastornos, alteraciones y desórdenes del sistema inmunológico, cardiovascular y nervioso. Síntomas como la angustia, la ansiedad o el estrés provocaron un ligero aumento en las enfermedades coronarias de la población, así como se pudieron contabilizar un aumento en los casos de fallo cardiaco en los 15 años posteriores al accidente. Otras secuelas son las asociadas a la ginecología: el gobierno italiano permitió el aborto voluntario a todas aquellas mujeres que lo solicitaron, ateniéndose a que la toxina TCDD podía afectar a los embriones, causando malformaciones congénitas en los fetos.

En cuanto a los casos de cáncer, se demostró con datos epidemiológicos que algunos tipos de linfomas y tumores raros de ésta enfermedad se vieron incrementados en un 40% en las personas que estuvieron expuestas a elevadas dosis. No obstante, el autor (Aparicio Florido, 2001) remarcó que hubo una disminución en los tumores más comunes, lo que sugería una existencia de un vínculo directo entre cáncer y la dioxina de TCDD.

Tras el estudio de los análisis realizados entre los 15 y 20 años posteriores al accidente, Aparicio Florido (2001) concluyó que los afectados eran más propensos a contraer nuevas

<sup>11</sup> También conocido como acné clórico. Trastorno cutáneo caracterizado por espinillas, pústulas y pequeños quistes de color cuero. Otros síntomas asociados son la sudoración, la porphyria, la fatiga, la neuropatía o encefalopatía, la hiperlipidemia o la impotencia.

enfermedades ya que su sistema inmunológico se vio amedrentado reduciendo sus defensas a causa de la exposición a la dioxina TCDD.

#### 4.1.3.1.2 Consecuencias para el medioambiente

Fueron 1.810 hectáreas las afectadas por la nube tóxica de ICMESA, que se dispersó por unas tierras casi deshabitadas. El viento de 18 Km/h favoreció su dispersión y evitó que la concentración de la dioxina TCDD fuese mayor en un espacio más reducido (Aparicio Florido, 2001). No obstante, las consecuencias para la fauna y la flora fueron devastadoras. Aunque en las horas inmediatas al accidente no se observaron síntomas de contaminación, los días posteriores comenzaron a aparecer las primeras plantas quemadas y se observó que algunos animales pequeños (como aves o conejos) habían muerto. A finales de Julio, la cifra de animales pericidos, tanto silvestres como de granja, aumentó hasta 3.300, todos envenenados por la ingesta de la dioxina TCDD, (Santamaría Ramiro, 1998). Las autoridades decretaron una cacería de emergencia en el entorno rural, así como el sacrificio de los animales de granja y domésticos, para evitar una propagación por la cadena trófica. En 1978 la cifra de animales muertos y sacrificados oscilaba entre los 77.000 y 80.000, (Homberger et Al., 1979).

<b>CONSECUENCIAS PARA EL MEDIOAMBIENTE</b>	
<b>Observaciones médicas experimentales</b>	<b>Dosis TCDD (µg/Kg) (Valores Indicativos)</b>
<i>LD<sub>50</sub><sup>12</sup> para los animales de laboratorio</i>	1(0.6 – 115)
<i>Lesiones sistémicas (Hígado, sangre, piel, etc) y hallazgos anormales químicos en la administración crónica.</i>	0.1
<i>Embriotoxicidad, fetotoxicidad, retraso del crecimiento postnatal</i>	0.25
<i>Reproducción, fertilidad</i>	0.01
<i>Inmunodeficiencia (atrofia del tejido linfoide)</i>	0.1
<i>Inducción enzimática</i>	1
<i>Carcinogenicidad</i>	0.1
<i>Mutagenicidad</i>	2

Tabla 4.3 Dosis de Toxicidad Experimental con animales y sus respectivas consecuencias para la salud (Homberger et al., 1979)

Como se cita en el apartado de consecuencias para la salud física y psíquica, se realizaron experimentos con animales para determinar las dosis necesarias de TCDD para causar daños irreversibles en los humanos (Homberger et al., 1979). Estos estudios determinaron que 0.6 µg/Kg eran suficientes para matar una rata de laboratorio, (en la tabla 4.1 se pueden observar las dosis que recibió la población por m<sup>2</sup>). Los expertos no se ponen de acuerdo en cuantas toneladas de la toxina TCDD se escaparon a la atmosfera y estiman que entre 300 gr. y 130 Kg., frente a los 100 gr. y 20 Kg. que calculaba el Dr. Paolo Mocarelli del hospital de Desio, (Aparicio Florido, 2001).

Los municipios más afectados fueron Seveso, Desio, Cesano Maderno y Meda. Los análisis del suelo detectaron en dichas zonas entre 0.9 µg/m<sup>2</sup> y 580.4 µg/m<sup>2</sup> (véase tabla 4.1) en el área más afectada. A lo largo del año posterior al accidente se efectuaron más de 7000 análisis de muestras de suelo para controlar la evolución del proceso no-natural de eliminación de la dioxina TCDD. Dicho proceso consistía en la extracción mecánica de 25 a

<sup>12</sup> LD<sub>50</sub> en toxicología se conoce la dosis de una sustancia o radiación, (en este caso la dioxina TCDD) que resulta mortal para la mitad de un conjunto de animales de prueba.

40 cm de superficie de terreno. En la zona más afectada, la zona A se llegó a excavar hasta los 40 cm, almacenando los residuos en depósitos subterráneos diseñados y construidos especialmente para ello. Una excavación de más de 225.000 m<sup>3</sup> de capacidad ocupados por tierras contaminadas, edificios derrumbados en 110 hectáreas de la zona A, escombros de la fábrica y los más de 77.000 cadáveres de los animales sacrificados.

#### 4.1.3.1.3 Consecuencias para la industria química

La creciente presión de la opinión pública inducida por la consecución de una serie de accidentes graves en la industria química, que se produjeron en la década de los años setenta, unida a los elevados costes medioambientales y económicos que dichos accidentes provocaron, así como la progresiva preocupación social a cerca de la seguridad en la industria, propició el inicio de una actuación legislativa en la Unión Europea para abordar las materias de prevención y control de los accidentes relacionados con las sustancias químicas peligrosas.

Son varios los autores que coinciden en el hecho de que el accidente de Seveso fue el punto de inflexión y partida (Bravo de la Iglesia, 2000), (Azcoaga Bengoechea, 2000), (Ferrer Marquez, 2006) de una legislación propulsada por los mandatarios de los países miembros de la antigua Comunidad Económica Europea. Sensibilizados con la idea de una posible repetición de un accidente catastrófico con graves consecuencias para las personas, así como para el medioambiente, su compromiso con la ciudadanía les llevó a crear una legislación de marco común europeo que obligase a las empresas, en las que por sus actividades industriales pudiesen causar algún tipo de accidente de consecuencias similares a los ya acaecidos, a adoptar medidas que garantizaran un control de los riesgos asociados, medidas de autoprotección, así como la puesta en marcha de procesos que pudiesen mitigar posibles daños en caso de accidentes futuribles.

No obstante, la Directiva 82/501/CEE, más conocida como Seveso I, relativa a riesgos de accidentes graves en determinadas actividades industriales, sufrió modificaciones a lo largo de los años en respuesta a los cambios en las tecnologías y realidades técnicas, así como a los accidentes que se sucedieron en los años posteriores. Seveso II, Directiva 96/82/CE, apareció 14 años después (derogando Seveso I), tras los accidentes de Bhopal en la India y San Juanico de Ixhuatapac en México en el año 1984. Once años más tarde, la Directiva 2003/105/CE, modificó la anterior a raíz de los accidentes de Baia Mare en Rumanía y Enschede en Holanda en el año 2000, así como el accidente en la fábrica de fertilizantes de Toulouse en Francia en 2001. No fue hasta el año 2012, que la Directiva 2012/18/UE conocida también como Seveso III, derogase la directiva 96/82/CE.

Estos cambios progresivos de la legislación derivada del accidente ocurrido en Seveso los estudiamos en profundidad en el capítulo 4.3 junto con el impacto que ésta causó en la Prevención de Riesgos Laborales. Antes, presentamos otro de los accidentes implicados en este caso en la directiva de Seveso II.

## 4.2 BHOPAL

### 4.2.1 ANTECEDENTES

#### 4.2.1.1 Descripción

*Fábrica de Pesticidas Union Carbide, Bhopal (India), 3 de Diciembre de 1984, 23.30h*

En la madrugada del 2 al 3 de diciembre de 1984 (apenas dos semanas después del gravísimo accidente químico ocurrido en Ixhuatpec, México), en la fábrica de pesticidas propiedad de la compañía estadounidense Union Carbide, un escape de 42 toneladas de Isocianato de metilo (MIC), dio lugar al mayor accidente químico de la década de los ochenta en el continente asiático.

El autor de varios artículos relacionados con el accidente, Bowonder (1987), lo describe como la prueba del que fue el peor accidente industrial hasta la fecha en términos de vidas perdidas. Se cifran en 2.500 personas, aunque datos no oficiales basados en un recuento puerta a puerta estiman entre 5.000 y 8.000 fallecidos (Aro et al., 1995).

La empresa, propiedad en un 51% de la multinacional norteamericana Union Carbide y un 49% de su subsidiaria en la India (Aparicio Florido, 2002), estaba situada en el centro de Bhopal, capital del estado de Madhya Pradesh, siendo éste uno de los más grandes y pobres de toda la India. En la década de los años setenta, la India era un mercado potencial para las empresas extranjeras, pues como país, contaban con una mano de obra barata con más de 400 millones de campesinos; la fábrica fue construida muy cercana a estados (Punjab o Uttar Pradesh) donde su principal activo económico era la agricultura. Entre los años 1971 y 1981, Bhopal había incrementado su población en más del 79%. Como consecuencia de ello hubo un aumento considerable de asentamientos ilegales.

El gobierno hindú quería propulsar el crecimiento económico del país potenciando la agricultura. No obstante, las sequías y las plagas constantes en las cosechas eran un fuerte rival contra el que competir. Hasta mediados de los años 50 el único mecanismo eficaz contra dichas plagas era el DDT, un pesticida altamente tóxico, potente contra el pulgón y otros parásitos, pero nocivo para el hombre. En numerosos países se prohibió su comercialización, por ello las empresas químicas se vieron en la necesidad de buscar un producto con los mismos resultados, pero más barato y respetuoso con la salud y el medioambiente. Fue Union Carbide quien encontró la fórmula conocida como SEVIN.

Este nuevo pesticida era más económico, ofrecía mejores resultados contra las plagas y era inofensivo para el ser humano y el medioambiente. Sin embargo, su fabricación era más peligrosa: requería el uso de sustancias altamente tóxicas en su proceso como la monometilamina o el gas fosgeno, los cuales en reacción formaban el isocianato de metilo (MIC), conocido como una de las sustancias más peligrosas e inestables de la industria química.

La producción del SEVIN fue acogida por la planta de Bhopal, ampliando sus instalaciones hasta 7 hectáreas. Se estimó que 2.000 toneladas de producto serían suficientes para la producción, sin embargo el Ministerio de Agricultura de la India concedió un permiso para la

fabricación de 5.000 Tn. La fábrica contaba entonces con tres cisternas de almacenamiento con capacidad para 120 toneladas de MIC.

La noche del accidente era festividad en Bhopal, se celebraba un concurso poético que atraía a ciudadanos de toda la región. Se estimó que más de un millón de personas pudieron haberse reunido en el momento del accidente; Asimismo, pegadas a las instalaciones de la fábrica, junto a los muros, dormían miles de familias en chabolas organizadas en barrios sobrepoblados, que según Aparicio Florido (2002), las propias autoridades civiles habían consentido y concedido mediante escrituras de propiedad de los terrenos.

## **4.2.2 DESCRIPCIÓN DEL ACCIDENTE**

### **4.2.2.1 Hipótesis y Causas**

El accidente de Bhopal fue a consecuencia de una baja alta probabilidad, siendo este concepto una paradoja. El autor Bowonder (1987) explica en su artículo este concepto, hablando de siete eventos particulares que deben suceder para tener una alta probabilidad de que el accidente ocurra, aunque se considera improbable que todos sucedan en conjunto. Sin embargo, todas estas premisas ocurrieron en la fábrica la noche del accidente. El autor las explica como:

- Que haya una liberación no planificada de una sustancia química en la planta.
- Que dicha sustancia química sea altamente tóxica o explosiva.
- Que el escape de la sustancia química se desplace por zonas masificadas de población.
- Que las condiciones meteorológicas desplacen la sustancia química al suelo.
- Que la hora del accidente coincida con la hora de sueño y toda la población duerma en sus casas.
- Que las alarmas fallen o avisen demasiado tarde, y
- Que el personal de la planta y la población no sean conscientes de a qué sustancia tóxica se enfrenta, ni qué deben hacer en caso de dicho accidente.

Edward A. Muñoz, experto comercial, fue el encargado de expandir la compañía Union Carbide y propulsó la construcción de la fábrica de Bhopal, entre otras. Cabe decir, (Aparicio Florido, 2002) que en incontables ocasiones Muñoz expuso los riesgos que suponía almacenar MIC en grandes cantidades, como el hecho de construir una fábrica de grandes dimensiones; aunque ésta, finalmente, no contaba con las medidas de seguridad previstas en el proyecto inicial, su primer director Warren Woome se encargó de cumplir las normas de seguridad existentes. A pesar de ello, no fue suficiente para paliar la consecución de varios accidentes entre 1976 y 1982.

<b>SUCESOS PREVIOS AL 3 DICIEMBRE 1984</b>	
<b>AÑO</b>	<b>DESCRIPCIÓN ANTECEDENTES</b>
<b>1976</b>	Aguas residuales de Union Carbide contaminaron pozos cercanos provocando la muerte de varios animales

Continúa Tabla 4.4 "Sucesos previos al 3 de Diciembre 1984"	
AÑO	DESCRIPCIÓN ANTECEDENTES
1978	Un incendio calcinó la unidad de alfa-naftol provocando la alarma de la población. Varias columnas de humo negro se alzaron sobre la fábrica
1979	Julio. Un auditor de seguridad de Union Carbide Corporation (UCC) indicó que la seguridad de la División de Productos Agrícolas de Union Carbide India Ltd. (UCIL) se había descuidado.
1980	9 de Diciembre. UCC exigió a UCIL la gestión de un plan de evacuación-cum-desastre.
1981	24 de Diciembre. Falleció un obrero por inhalación de fosgeno tras desatender las órdenes de seguridad desprendiéndose de su máscara de protección antes de dispersarse todo el gas contaminante. El obrero se contaminó durante una fuga en una válvula
1982	Febrero. 25 obreros se intoxicaron al inhalar gas fosgeno al averiarse una bomba. Los obreros trabajaban por la zona sin ningún tipo de protección.
	La abrazadera de una de las canalizaciones de MIC se rompió y provocó una pequeña fuga que generó una nube tóxica. No hubo víctimas.
	<p>Mayo. Un equipo auditor de seguridad de UCC informó que las prácticas de gestión de seguridad de UCIL eran escasas y pobres. Se citan algunas deficiencias:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Control manual de llenado de los tanques de MIC en ausencia de instrumentos para prevenir la sobrecarga accidental.</li> <li>- Válvula de presión en el tanque de fosgeno, descompuesta y sin mostrar valores reales de carga.</li> <li>- Ausencia de sistemas de prevención contra incendios o dispersión de vapores en las áreas operacionales de MIC.</li> <li>- Varias operaciones con riesgo potencial de fugas tóxicas.</li> <li>- Operación de limpieza de filtros de cañerías de MIC sin aislantes en las líneas de procesos. Válvulas con pérdidas</li> <li>- Líneas de entrada de alta presión, sin venteo, pudiendo resultar en fugas de MIC al remplazar las válvulas. Sin sistema de evacuación con seguridad.</li> </ul> <p>Se desconocía si UCIL tomó medidas para corregir los errores.</p>
	Septiembre y Octubre. Informes periódicos afirmaban que la fábrica de UCIL no era segura y era propensa a tener accidentes.
1983	5 de Octubre. Se produjo un accidente grave, afortunadamente sin víctimas. Miles de personas huyeron de los alrededores.
1984	16 de Junio. Un informe destacaba los problemas graves de seguridad de la planta de Bhopal.

Tabla 4.4 Sucesos de la Fábrica Union Carbide Bhopal previos al 3 de diciembre de 1984. Elaboración propia (Aparicio Florido, 2002; Bowonder, 1987; Castro, 2000).

Cabe destacar que la planta de Bhopal fue proyectada y diseñada con varios sistemas de seguridad para prevenir o neutralizar cualquier reacción incontrolada de MIC. Algunas de las precauciones necesarias que aparecían en el manual de seguridad de la empresa UCIL (Bowonder, 1987), decían:

- El MIC debía almacenarse exclusivamente en depósitos de acero inoxidable.
- Dichos depósitos sólo podían ser llenados hasta su media capacidad o debían estar acompañados de un segundo depósito para un posible vaciado de emergencia.
- El refrigerante debían ser un fluido no reactivo con el MIC.
- Se debía proporcionar una atmosfera de nitrógeno para el MIC.

- Los depósitos de MIC debía ser almacenados y refrigerados a 0° (en cualquier caso por debajo de 15°)
- Se debía contar con un depurador (fumigador alcalino) para neutralizar el MIC en caso de fuga, el depurador de venteo de gases debería estar operativo cada vez que el sistema estuviese en funcionamiento.

A estas medidas propuestas por el manual de seguridad de la empresa UCIL, se añadieron cuatro más según el informe de la Trade Union, (Aro et al., 1985) y Bowonder (1987), quien en su informe del accidente explica que el diseño original tenía previstas medidas de seguridad para evitar un vertido accidental, a pesar de que estas mismas medidas se encontraron insuficientes o deficientes.

MEDIDAS SEGURIDAD EXTRAS PLANTA DE PESTICIDAS BHOPAL (UCIL)					
Nº	Autores		Medidas Propuestas	[3]	Motivos
	[1]	[2]			
1	X		Refrigeración para 30Tn de MIC almacenado, con el fin de evitar cualquier tipo de vaporización o reacción.	X	Fuera de servicio desde Junio de 1984. Se desactivó para ahorrar costes. Era una violación de los procedimientos operacionales establecidos.
2	X	X	Depurador de venteo de gases (VGS) para neutralizar los gases tóxicos en caso de escape.	X	Fuera de servicio desde Octubre de 1984. Los supervisores consideraron que no era necesario mientras el MIC sólo estuviese almacenado y no en producción.
3	X	X	Torre antorcha para quemar los gases ventilados desde los tanques de almacenamiento de MIC.	X	Fuera de servicio desde mediados de Octubre de 1984. Una sección de la tubería estaba corroída y fue retirada para ser sustituida. Nunca se hizo y eso impidió que el día del accidente el MIC fuese dirigido por la torre antorcha.
4	X	X	Sistema de pulverización de agua para paliar los escapes de vapor.		
5		X	Sirena pública para los residentes próximos en caso de liberación accidental.		

[1] Aro et al. (1985) citan las medidas en su informe  
 [2] Bowonder (1987) cita las medidas en su artículo  
 [3] Medidas desactivadas el día 3 de Diciembre de 1984, durante el accidente

Tabla 4.5 Recopilación de las medidas de seguridad propuestas por la UCIL y que no estuvieron en funcionamiento el día del accidente. Elaboración propia (Aro et al., 1985; Bowonder, 1987)

En el momento del accidente, según las declaraciones de los trabajadores, tres de esas medidas no estaban en funcionamiento, principalmente por motivos económicos. Para Castro (2000), además de las medidas fuera de servicio que se exponen en la tabla 4.5, hubo dos causas más que contribuyeron a la catástrofe:

- Uno de los tanques de almacenamiento (nº 619) se mantenía vacío para albergar MIC en caso de escape. Ante el pánico de los operarios no se implementó un plan de emergencia que trasvasara el gas de un taque a otro.
- En cuanto a las sirenas de emergencia, no se activaron hasta la 01.00h, aunque consta que el accidente comenzó a las 23.30.

No podemos olvidar que al igual que ocurría en el accidente de Chernobyl, (envuelto en una época social-político-económica preocupante), la situación de la fábrica de Union Carbide en mitad de la India era un factor determinante para las decisiones tomadas antes y después del accidente. La burbuja comercial en la que UCIL se vio envuelta (Aparicio Florido, 2002), a finales de los años setenta se desinfló. Las sequías se prolongaron a lo largo de los años, arruinando las cosechas de los campesinos y mermando la compra de productos pesticidas.

En ese momento, año 1982, la producción de SEVIN se redujo a la mitad y la fábrica se vio obligada a diseñar un plan de viabilidad. Ello conllevó una regulación de empleo masiva y progresiva de los puestos de trabajo: más de la mitad de los trabajadores fueron despedidos, con un alto porcentaje de técnicos y especialistas entre ellos. Se reasignaron los cargos a obreros sin cualificación ni conocimientos de química o seguridad. Asimismo, se redujeron los costes de mantenimiento de las instalaciones, recortando en los presupuestos de compra de materiales y disminuyendo la calidad de los repuestos comprados. Sin embargo, su periodo de producción se vio aumentado a su máximo aprovechamiento en detrimento de la seguridad de las instalaciones, los trabajadores y la población circundante.

<b>PERSONAL UNIDAD MIC DE UNION CARBIDE INDIA LTD. (UCIL)</b>		
<b>PUESTO</b>	<b>Nº PLANIFICADO POR TURNO</b>	<b>Nº EN EL MOMENTO DEL ACCIDENTE</b>
<b>Superintendente (comisario)</b>	Uno exclusivamente para la planta de MIC	<i>Uno para toda la planta</i>
<b>Supervisores</b>	3	1
<b>Supervisores de mantenimiento</b>	2	<i>Ninguno en el turno de noche</i>
<b>Operarios</b>	12	6

Tabla 4.6 Personal previsto por cargos para UCIL (Bowonder & Miyake, 1988)

Por último, con todas las hipótesis expuestas anteriormente, Unión Carbide tomó la decisión de dejar la planta en parada en 1983, poniéndola en funcionamiento sólo ante la demanda de productos en el mercado. Esto llevó a tres factores desencadenantes del accidente (véase las tablas 4.4 y 4.5 dónde se muestran los sucesos acontecidos):

- Carencia de personal técnico especializado
- Materiales y equipo deteriorados y sin reparación
- Desactivación e inutilización de los sistemas de seguridad.

Chouhan T.R. (2005) fue un operario de la planta MIC en Bhopal y en su artículo relataba: *“Para empezar, me gustaría decir que el desastre ¡no fue un simple accidente!... Los puntos que me gustaría destacar posteriormente demostrarán como una gran empresa multinacional no mostró ningún tipo de conciencia ante el bienestar de las personas en un país en desarrollo como el nuestro. No sólo eso, incluso la tecnología que ellos usaron no fue probada y era defectuosa. Por ejemplo: Un procedimiento de emergencia para los tanques de almacenamiento de MIC para la planta de Bhopal según el Manual de Operaciones de MIC decía: <<Si se produce una fuga en un tanque que no se puede detener ni aislar, el producto que contiene el tanque puede ser bombeado a otro tanque – encontraremos excepciones a estas directrices – aprenderemos más y más a medida que ganemos experiencia real>> Esto implica que ellos no conocían lo suficiente respecto al proceso como para aconsejarnos sobre un procedimiento de emergencia en diversas situaciones.”*



#### **4.2.2.2 Reconstrucción del accidente**

Union Carbide y el Departamento de Investigación Central de la India, realizaron su propio informe sobre el accidente, y no permitieron que otros expertos, científicos y periodistas ajenos a la corporación accediesen a la planta para realizar sus propias investigaciones sobre la catástrofe (Aro et al., 1985). No obstante, sí les facilitaron el Manual Operacional de la Unidad MIC de la UCIL (Union Carbide India Ltd.).

Con dicho Manual y a través de las diversas entrevistas que se realizaron a algunos de los trabajadores de la planta de Bhopal, se pudieron identificar varias modificaciones críticas en los procedimientos y operaciones que los trabajadores describieron, y que permiten conocer y comprender las bases del fatídico accidente.

El informe que remitieron los investigadores de la UCC afirma que la reacción en el tanque nº610, (el cual liberó el gas), fue provocada por la inyección de 480 y 960 litros de agua. Union Carbide afirma desconocer cómo entró el agua en el tanque y especula con el hecho de que pudiera haber sido inyectada premeditadamente. Durante la conferencia de prensa, Ronald Van Mynen (director de seguridad y salud de la UCC) lanzó al aire una hipótesis: *“...si alguien hubiese conectado una tubería en la línea de agua, en lugar de en la línea de nitrógeno, ya fuese deliberadamente o con la intención de inyectar nitrógeno en el tanque, esto podría explicar la presencia de agua en el tanque...”*. Los trabajadores sostuvieron que esa hipótesis era falsa, y finalmente Van Mynen admitió que el equipo de investigación no encontró ninguna evidencia que probase dicha teoría; Bowonder (1987) y los doce autores del Informe de la Trade Union de Bhopal (1985) coinciden en la reconstrucción del accidente, basada en las entrevistas de algunos de los trabajadores de la UCIL. A continuación se muestra un resumen de los hechos acontecidos en las horas previas y posteriores al suceso:

#### **2 de Diciembre de 1984**

**21.30h.** El superintendente de producción ordenó al supervisor de la planta de producción de MIC que cerrase varias de las líneas principales del depurador de venteo de gas fosgeno. La operación consistía en cerrar las válvulas superiores de aislamiento e inyectar una línea de agua. Normalmente, estas líneas se debían aislar con una válvula tipo persiana, no obstante, la persona encargada de realizar esa operación había sido despedida por recortes (véase tabla 4.6) y los operarios no disponían de la información necesaria para saber si dichas persianas estaban o no activadas; las líneas de purga estaban obstruidas por las constantes paradas de la planta de producción, (véase tabla 4.4) lo que provocó que el agua se acumulase en las tuberías. Varias válvulas de cierre superior comenzaron a gotear y un operario procedió a cortar el flujo de inyección de agua, pero el supervisor de la planta de producción MIC ordenó que se continuase con la inyección. La válvula superior se situaba a 7 metros de altura, lugar desde donde el agua comenzó a resbalar por el tanque nº610. Algunas partes de la zona de venteo estaban siendo reparadas, por lo que muchas válvulas estaban abiertas y permitieron que el flujo de agua circulase, aumentando cada vez más su cantidad.

Finalmente el agua se topó con la válvula de la línea de nitrógeno. Éste y otros productos residuales arrastrados, reaccionaron lentamente con el MIC. El segundo turno finalizó su jornada.

**22.45h.** La reacción con el MIC se hizo más tóxica y los operarios del tercer turno comenzaron a sufrir ahogos y picor en la garganta e irritación en los ojos.

**23.00h.** Un operador de la sala de control señaló que la presión en el tanque nº610 había aumentado de 2psig a 10psig.

**00.15h.** El operador comprobó la presión y esta vez se sitúa en 30psig. En cuestión de segundos la lectura se disparó y el sistema de disco de ruptura (diseñado para soportar un máximo de 40psig.) falló, permitiendo que el contenido del tanque se precipitase a través de las líneas. En el momento de la reacción se estimó que la presión debía rondar los 200psig y la temperatura se situaba por encima de los 200°C; el gas debería haber discurrido hacia la torre antorcha, pero ésta había sido inutilizada (véase tabla 4.5) meses antes, por lo que el gas se dispersó directamente a la atmosfera. Varios trabajadores intentaron parar la reacción arriesgando sus vidas proyectando agua sobre las columnas de gas, pero fue inútil.

**01.00h.** Un supervisor trató de alcanzar la estructura de la planta MIC para tapan la fuga de gas. En ese momento una nube de gas letal de 40 Tn (aproximadamente 27Tn de MIC y 13Tn de otras sustancias como cianuro o fosgeno) se dispersó por los barrios circundantes, afectando a más de 200.000 personas. Durante un minuto, la sirena que alerta a la población de un accidente químico sonó, pero después se detuvo.

**01.15h.** La policía era consciente del escape e intentó contactar con la planta de la UCIL, pero no consiguieron ninguna noticia.

**01.45h.** La válvula de seguridad se asentó y la sirena volvió a sonar, pero ya era demasiado tarde.

A las 7 de la mañana del día 3 de diciembre de 1984 la policía recontó más de 1000 fallecidos en las calles. El hospital de Hamidia estaba desbordado por las urgencias de 12.000 personas afectadas por la nube tóxica. En menos de 24 horas las cifras hablaban de más de 90.000 heridos, (Bowonder, 1987).

### **4.2.3 CONSECUENCIAS**

#### **4.2.3.1 Daños materiales y humanos**

En la mayoría de los accidentes graves de la historia, las cifras de afectados y las sensaciones de la opinión pública respecto a las consecuencias que dichos accidentes tienen para la población y el medioambiente, difieren considerablemente de las presentadas por los medios de comunicación o de las oficiales del estado. El caso de Bhopal no fue distinto, teniendo en cuenta el país que era y la situación política-económica que

atravesaba. El reciente asesinato de la primera ministra, Indira Gandhi, y la aplastante victoria de su hijo, Rajiv Ghandi, (en las elecciones generales para ser presidente), fueron hechos que marcaron una época. Es por ello que los diferentes autores estudiados hablan de cifras que oscilan más allá del millar arriba o abajo de fallecidos.

#### 4.2.3.1.1 Consecuencias para la salud física y psíquica de la población

El director de la fábrica UCIL en Bhopal aseguró que el escape no duró más de una hora (Aparicio Florido, 2002), cifra que no concuerda con el informe que realizó la Trade Union Bhopal (Aro et al., 1985) que estimaban que la fuga duró entre las 23.00h y las 01.45h, lo que suman las casi tres horas que afirman los afectados de la catástrofe.

La nube tóxica fue tan extensa que se propagó a más de 10km. Muchas personas de poblaciones lejanas se despertaron a altas horas de la madrugada con asfixia, violentos ataques de tos, vómitos y con los ojos hinchados. Eran algunos de los efectos que el isocianato de metilo (MIC) causaba en los tejidos de los seres vivos, en su sistema respiratorio y circulatorio. La inhalación prolongada de MIC provocaba la muerte por quemaduras químicas de los pulmones, (Aparicio Florido, 2002).

El pánico se apoderó de la población que durante las primeras horas intentó huir de la ciudad. 20.000 personas abandonaron sus casas a la desesperada y muchos murieron en accidentes de tráfico.

Los residentes que se quedaron, atestaron los hospitales. El centro receptor de víctimas fue el hospital de Hamidia que consiguió reunir entre médicos, estudiantes de medicina y voluntarios, a más de 3.700 personas dispuestas a ayudar, (Aro et al., 1985).

En las primeras atenciones a los afectados y autopsias a los fallecidos (realizadas por el Dr. Chandra Heeresh del Departamento de Medicina Forense), descubrieron que uno de los agentes que estaba matando a los afectados era el cianuro y otro el MIC, que se puede descomponer en otras sustancias. Los daños, tanto inmediatos como posteriores fueron muy severos. Union Carbide, (Aro et al., 1985) no proporcionó información sobre el vertido y a la mañana del 3 de diciembre, aún sostenía que el isocianato de metilo no era un gas letal.

Los datos oficiales de ciudadanos afectados según Castro (2000) fueron:

- 521.262 inhalaron o estuvieron en contacto con la nube tóxica
- 3.598 personas murieron en los primeros 5 años.
- Entre 150~200 personas murieron en exceso por año (cifra hasta 1990). No se consideró oportuno contar los abortos y los nacidos muertos.

No obstante, en el informe oficial de la Trade Union (Aro et al., 1985), donde cuentan con la palabra del Dr. Nagu, (Director de los Servicios de Salud del estado de Madhya Pradesh) explican que las cifras exactas nunca se podrán contabilizar, pues los primeros días el caos se apoderó de la población y muchos cadáveres se quemaron o se enterraron sin ser recontados para limpiar las calles de otras epidemias, así como las personas que huyeron de la ciudad, habiendo sido afectados por la nube tóxica y que fallecieron en otros lugares sin ser contabilizados. Asimismo ocurre con los afectados aún vivos, pero incapacitados de

por vida por los efectos de MIC sobre sus cuerpos (según explican Aro et al, 1985, en una encuesta realizada puerta por puerta a los trabajadores de la fábrica y alrededores, el 75% de éstos estaban incapacitados de por vida para desarrollarse profesionalmente). Y por último, los incontables casos de desaparecidos que aún siguen sin resolver, probablemente, fallecidos durante el accidente de Bhopal.

Los efectos sobre la salud se manifestaron de diversas formas y a día de hoy, sigue siendo un problema para los ciudadanos. Desde enfermedades pulmonares crónicas, fibrosis, enfisema o bronquitis, así como tracto respiratorio hipersensible, alergias agudas a las pequeñas exposiciones (incluidos los productos de limpieza del hogar, pudiendo resultar fatal para los enfermo) o asma. Muchos afectados quedaron ciegos o con deficiencia en su visión, pérdida del olfato, incluso pérdida del oído o del tacto. Los efectos neurológicos y cancerígenos también están presentes. En el caso concreto de las mujeres, los abortos espontáneos se vieron seguidos generaciones después de alteraciones en los períodos menstruales. A día de hoy, hay mujeres que siguen dando a luz niños con malformaciones y otras muchas que han perdido su capacidad fértil.

Según Aparicio Florido (2002), el accidente se cobrará en los próximos años entre 16.000 y 30.000 vidas más, y afectará a más de medio millón de personas.

#### 4.2.3.1.2 Consecuencias para el medioambiente

Los daños para el medioambiente fueron severos. Miles de animales murieron en el acto en el momento del accidente. En los días posteriores los efectos de la nube tóxica se hicieron notables en los animales de granja, los domésticos y los salvajes. Los animales que convivían entre la población restaron muertos en las calles, descomponiéndose y suponiendo otro riesgo para los supervivientes. Asimismo ocurría con los animales vivos, pero contaminados por la ingesta de vegetales afectados por el gas. El consumo de su carne era peligroso y perjudicial para la salud de las personas. El 19 de diciembre, las autoridades competentes prohibieron la venta de pescado y carne en toda la ciudad de Bhopal (Aparicio Florido, 2002).

En el caso de los vegetales, Aro et al. (1985) explican que el gas, concretamente en las verduras y frutas, hizo estragos. Los árboles circundantes a la fábrica fueron los primeros en sufrir cambios visibles en sus hojas, las cuales se ennegrecieron. En el caso de las hortalizas, por ejemplo el repollo sus hojas mostraron manchas blanquecinas. Aparicio Florido (2002) cita datos de 1999 de Greenpeace donde hablaban de que las aguas y las tierras de la zona seguían contaminadas. Explicaban que más de 5.000 familias bebían agua sin ningún tipo de protección o prohibición, y valoraban los daños de las sustancias tóxicas en 682 veces superior a las dosis permitidas. El autor dice: “...el gobierno de la India periódicamente reparte agua a la población, aunque no en cantidades suficientes e incluso los fondos que se destinaron a la rehabilitación del medioambiente, fueron desviados a la reconstrucción de calles, alumbrado y otras infraestructuras”.

### **4.3 IMPACTO EN LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES**

#### **4.3.1 DIRECTIVAS SEVESO I, II & III**

##### **4.3.1.1 Antecedentes históricos**

La evolución de la industria química tuvo su auge en la revolución industrial, en Inglaterra, durante el siglo XIX, extendiéndose poco a poco por los demás países. Tanto Gran Bretaña como Alemania eran líderes en la investigación de procesos industriales. Pero fue poco a poco ésta última quien ganó la batalla, apoderándose — antes de las guerras mundiales —, del 75% del mercado internacional químico. Posteriormente, la guerra abrió la veda de grandes cambios, acelerando los procesos de producción y centrándose en la fabricación de explosivos. Fue la guerra la que alertó a los gobiernos de la importancia que suponía la industria química en sus países. Cada estado sentía la necesidad de crear su propia industria. Fue así como paulatinamente la industria química creció y se expandió a lo largo y ancho de los continentes europeo y americano, creando dos grandes ramas: la síntesis de polímeros y la preciada (por sus ganancias económicas) industria petroquímica.

El autor Xavier Gabarrell (2008) explicaba en su estudio que a lo largo de la Segunda Guerra Mundial, el desarrollo y crecimiento de la industria química y petroquímica fue vertiginoso. Los cambios más notables se dieron a partir de 1945, cuando la industria petroquímica inició los procesos de sustitución de materias primas por submaterias. La gran demanda hizo que las industrias se instalasen en diferentes países. Esta nueva capacidad de la industria en el uso de submaterias hizo que el mercado se ampliase y se derivaran mejoras tecnológicas y de diseño que ofrecieron importantes ventajas para las empresas: un mejor aprovechamiento de la energía y los productos, aumento de los beneficios económicos, gestión de los residuos, etc....

Sin embargo, al mismo tiempo que las ventajas positivas crecían, también lo hacían las negativas. Dicho de otra forma, aumentaba la posibilidad de ocurrir grandes accidentes con severos impactos sobre la población y el medioambiente (Gabarrell, 2008).

Se realizó un análisis histórico desde principio de siglo hasta 1992 sobre 5.325 accidentes ocurridos en la industria química y en el transporte de mercancías peligrosas, donde los resultados ponían de manifiesto el progresivo aumento exponencial de dichos accidentes a lo largo del tiempo. Según Gabarrell (2008) el 95% de los accidentes ocurrieron en los últimos 30 años estudiados:

<b>ESTUDIO DE LOS ACCIDENTES OCURRIDOS ENTRE 1963 Y 1992</b>					
<b>PERIODO</b>	<b>Nº ACCIDENTES</b>	<b>% ACCIDENTES**</b>	<b>TIPO ACCIDENTE</b>	<b>% ACCIDENTE**</b>	<b>Nº FALLECIDOS</b>
1963 – 1972	674	50	Fuga	58.6	0
1973 – 1982	1746	44	Incendio	34.7	1 – 10
1983 – 1992	3335	36	Explosión	5.9	11 – 100
		12	Nube de gas	0.6	101 – 1000
				0.2	>1000
<b>*TOTAL ACCIDENTES</b>			5755		
* <b>Suma de todos los accidente ocurridos entre 1963 y 1992</b>					
** <b>Porcentaje de accidentes referidos a la suma total de accidente entre 1963 y 1992 (*)</b>					

Tabla 4.7 Número de accidentes ocurridos entre 1963 y 1992, y porcentaje del tipo de accidente y fallecidos en dichos accidentes. Fuente extracción (Gabarrell, 2008)

El autor afirma que sólo en 5 de los accidentes ocurridos en 1984 los costes económicos derivados se estimaban en más de 268 millones de dólares. Un valor calculable que no era equiparable a los daños y pérdidas producidos a la sociedad y el medioambiente (Gabarrell, 2008).

Los antecedentes más cercanos a la creación, promulgación y posterior transposición (en cada uno de los países de la UE) de las directivas Seveso I y Seveso II los hemos estudiado en el apartado 4.1 y 4.2 de este texto, pero no fueron los únicos.

<b>PRINCIPALES ACCIDENTE INDUSTRIALES ENTRE 1974 Y 2014</b>		
<b>LUGAR</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>
<b>Fixborough</b> (Reino Unido, 1 de Junio de 1974)	Planta Nypro se rompió una tubería y provocó la emisión de 80Tn de ciclohexano líquido. Se produjo una explosión.	28 muertos y cientos de heridos Destrucción completa de la instalación
<b>Seveso</b> (Italia, 9 de Junio de 1976)	Una reacción fuera de control provocó el venteo del reactor, liberando a la atmosfera 2Tn de TCDD	500 heridos y evacuación de más de 1.000 personas. Graves enfermedades derivadas. Muerte y sacrificio de miles de animales
<b>*Camping de los Alfaques</b> (España, 11 de Julio de 1978)	Un camión con 39Tn de Propileno originó una explosión tipo BLEVE	215 muertos. Destrucción total del camping y alrededores
<b>Creación de la DIRECTIVA 82/501/CEE o Seveso I</b>		
<b>Cubatao</b> (Brasil, 25 de Febrero de 1984)	Se produjo una gran bola de fuego a causa de la evaporación de la gasolina fugada en un oleoducto	500 muertos Severos daños en el medioambiente
<b>San Juan Ixhuatpec</b> (México, 19 de Noviembre de 1984)	Explosionaron varios contenedores de G.L.P	452 fallecidos y más de 4.000 heridos. Alrededor de 1.000 personas desaparecidas.
<b>Bhopal</b> (India, 3 de Diciembre de 1984)	Se escapó a la atmosfera una nube tóxica de Isocianato de metilo que abarcó más de 40Km <sup>2</sup>	2500 muertes directas y 150.000 heridos. Graves consecuencias médicas a largo plazo.
<b>Guadalajara</b> (México, 22 de Abril de 1992)	Varias explosiones en la red de alcantarillado público causadas por los vertidos incontrolados de una planta petrolífera	190 muertos y 470 heridos. Destrucción de 1.600 viviendas y 100 colegios. Más de 14Km <sup>2</sup> destruidos
<b>Creación de la DIRECTIVA 96/82/CE o Seveso II*</b>		
<b>Aznalcóllar</b> (España, 25 de Abril de 1998)	Se rompió la presa que contenía residuos tóxico de la minera Boliden	Riada tóxica en el río Guadiamar. 4.700 Ha afectadas y 60Km de río. Muerte de toda la fauna y flora del lugar.
<b>Baia Mare</b> (Rumania, 30 de Enero de 2000)	Hubo un vertido tóxico de cianuro por la compañía minera Aurul	Río Someş contaminado. 100.000m <sup>3</sup> de agua tóxica. Ola tóxica que aniquiló la fauna y la flora en el curso central del río Tisza. El vertido alcanzó más de 2.000km.

<i>Continúa tabla 4.8 "Principales accidentes industriales entre 1974 y 2014"</i>		
<b>LUGAR</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>
<b>Enschede</b> (Países bajos, 14 de Mayo de 2000)	Se produjeron varias explosiones en una empresa que almacenaba material pirotécnico	22 fallecidos y 562 heridos graves. 2.000 personas sin hogar. Destrucción completa del barrio
<b>Toulouse</b> (Francia, 21 de Septiembre de 2001)	Hubo una explosión en una fábrica de fertilizantes, con almacenamiento de nitrato de amonio.	30 fallecidos, más de 2.500 heridos graves y 8.000 leves. Explosión del amonitrato provocó un cráter de 30m ancho y 10m alto
<b>Modificación de la Seveso II con la creación de la DIRECTIVA 2003/105/CE</b>		
<b>Guizhou</b> (China, 7 de Septiembre de 2005)	Se produjo una explosión en una fábrica de encendedores tras una fuga de G.L.P.	23 fallecidos y 60 heridos
<b>Linhai</b> (China, 28 de Julio de 2006)	Explosión de un reactor en la planta química Fuyuan Chemical durante un ensayo. Una nube tóxica de Clorina se fugó a la atmosfera.	22 fallecidos, 28 heridos y más de 7.000 evacuados
<b>Guangxi</b> (China, 26 de Agosto de 2008)	Explosión de la planta química de Guangwei Chemical.	20 fallecidos, 60 heridos y más de 11.000 evacuados.
<b>Dacca</b> (Bangladesh, 4 de Junio de 2010)	Se incendió en una fábrica de productos químicos que se propagó a los edificios de viviendas y tiendas colindantes.	113 muertos y un centenar de heridos.
<b>Hebei</b> (China, 28 de Febrero de 2012)	Explosión en una fábrica de pesticidas.	25 fallecidos y 46 heridos.
<b>Paraguaná</b> (Venezuela, 25 de agosto de 2012)	Explosión de la refinería de Amuay	41 fallecidos y 31 heridos.
<b>Sivakasi</b> (India, 5 de Septiembre de 2012)	Incendio en la fábrica pirotécnica de Om Siva Sakhti.	32 fallecidos y 75 heridos. El complejo industrial quedó completamente arrasado.
<b>Tamaulipas</b> (México, 18 de Septiembre de 2012)	Explosión con posterior incendio en la planta de Gas Pemex.	36 muertos, 100 heridos y 1 desaparecido.
<b>Creación de la DIRECTIVA 2012/18/UE o Seveso III</b>		
<b>México D.F.</b> (México, 31 de Enero de 2013)	Una explosión en la sede central de Petróleos Mexicanos.	37 fallecidos, 120 heridos y 1 desaparecido.
<b>West</b> (Texas, 18 de Abril de 2013)	Explosión en una fábrica de fertilizantes	Más de 70 fallecidos y 160 heridos. Edificios colindantes totalmente destruidos o afectados por la onda expansiva. Se registro un terremoto de 2.1 en la escala Richter
<b>Tarragona</b> (España, 1 de Enero de 2014)	Un incendio quemó el tanque de residuos líquidos inflamables, con el posterior derrame de 60m <sup>3</sup> de producto, en la planta Grecat	2 heridos graves

<i>Continúa tabla 4.8 "Principales accidentes industriales entre 1974 y 2014"</i>		
<b>LUGAR</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>
<b>Pezinku</b> (Eslovaquia, 26 de Julio de 2014)	Hubo una fuga de una sustancia tóxica durante la limpieza de la planta de residuos químicos.	1 muerto y 7 heridos.
<b>Yinchuan</b> (China, 8 de Septiembre de 2014)	Fuga y posterior incendio de la planta química de Jiemeifengyou, con fuga de amoníaco	33 heridos
<b>* Tras los accidentes más remarcables se producían los cambios en la directiva de Seveso I</b>		

*Tabla 4.8 Accidentes ocurridos desde 1974 hasta 2014 que influenciaron en las directivas de Seveso I, II y III. Fuente extracción (Ferrer Márquez, 2006; Gabarrell, 2008; COMAH, 2010)*

#### **4.3.1.2 Directiva 82/501/CEE o Seveso I**

Se ha hablado en el apartado 4.1.3.1.3 sobre las consecuencias que tuvo para la industria química el accidente de Seveso, pero también como afectó a la creación de la posterior legislación que regularía todas las actividades químicas industriales. No obstante, no hemos profundizado en los detalles y líneas básicas que proponían las directivas que se derivaron.

Tras los accidentes ocurridos entre los años 1974 y 1982 (véase tabla 4.8), donde se incluye el accidente de la fábrica ICMESA italiana de Seveso en 1976 y que le da nombre a la directiva, los reglamentos sobre accidentes mayores existentes en los diferentes países de la UE fueron recogidos, recopilados y sintetizados en la Directiva del Consejo 82/501/CEE, relativa a la prevención de accidentes mayores en algunas actividades industriales en las que se encuentran presentes determinadas sustancias.

Esta nueva directiva común para los países miembros de la Comunidad Europea, exigía a las empresas presentar la información referente a sus actividades y riesgos, así como adoptar medidas de autoprotección para la prevención y limitación de sus consecuencias en caso de accidente. Dichas empresas, con posibles riesgos de Accidentes Mayores debidos al almacenamiento y uso de sustancias peligrosas, debían presentar los informes ante las autoridades competentes de sus respectivos países. Esto suponía que en cada uno de los estados miembros existía una transposición de la directiva.

##### **4.3.1.2.1 Transposición al marco Español – R.D. 886/1988 & R.D. 952/1990**

Según explica Azcoaga Bengoechea (2000) la transposición de la directiva Seveso I, (82/501/CEE y sus modificaciones 87/216/CEE y 88/610/CEE) al ordenamiento jurídico español, se conoció bajo el nombre de Real Decreto 886/1988 de 15 de Julio, sobre la prevención de accidentes mayores en determinadas actividades industriales. Más tarde, éste mismo, fue modificado por el Real Decreto 952/1990 de 29 de Junio.



Tanto la Directiva como su transposición, cuentan con una serie de conceptos los cuales son necesarios esclarecer. El autor (Azcoaga, 2000) los engloba en tres: Actividad Industrial, Accidente Mayor y Sustancia peligrosa.

- Se entiende por **actividad industrial** “...toda operación efectuada en las instalaciones industriales citadas en el Anexo I del RD...en el que intervengan...una o varias sustancias peligrosas contempladas en esta disposición. También se incluirá el transporte...en el interior de las instalaciones y el almacenamiento...efectuado en las condiciones indicadas en el Anexo II del RD.”
- Se entiende por **accidente mayor** “...cualquier suceso, tal como emisión, fuga, vertido, incendio o explosión, que sea consecuencia de un desarrollo incontrolado de una actividad industrial, que suponga una situación de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública...para las personas, el medioambiente y los bienes...en el interior o ... exterior de las instalaciones.”
- Se entiende por **sustancias peligrosas** “...las que responden a los criterios establecidos en el Anexo IV del RD para las sustancias muy tóxicas, tóxicas, inflamables, explosivas y oxidantes.”

La nueva Directiva 82/501/CEE hablaba de una **documentación** y de unas **actividades** que debían realizar las Empresas y las Administraciones. Se podían resumir en seis puntos — véase su transposición al marco español en la tabla 4.9 —, (Azcoaga Bengoechea, 2000.):

- Son **medidas de autoprotección**, la identificación y evaluación de riesgos posibles, la elaboración del PEI que contemple las adecuadas medidas de PR y las actuaciones ante situaciones de emergencia, así como la alarma y la evacuación de operarios y civiles, y la formación y equipamiento adecuado de los operarios.
- Es **declaración Simplificada y Obligatoria**, que debe hacer el industrial en función de lo dispuesto en el RD 886/1988, según los criterios.
- Los **planes de emergencia Interior y Exterior (PEI & PEE)**, son el conjunto de medios y procedimiento de actuación en el interior de la planta y en el exterior (los alrededores)
- El **Informe de accidentes mayores**, es en función de lo dispuesto en cada una de las transposiciones de las comunidades autónomas.
- Ocurre lo mismo en la **comunicación oficial** del Industrial al Órgano competente, y
- Con la **información clasificada actualizada** por el Órgano competente dependiendo de la CCAA.

EXIGENCIAS DIRECTIVA SEVESO I		
DOCUMENTO	INDUSTRIALES OBLIGADOS	ACTUALIZACIÓN
AUTOPROTECCIÓN	Actividades del R.D. 886/1988: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividades según Anexo I con sustancias según Anexo IV</li> </ul>	R.D. 889/1988 –art. 9.1 – Ampliaciones y modificaciones al presentar la declaración obligatoria –art. 6 y 7.
P.E.I. R.D. 886/1988 –art. 5	R.D. 886/1988: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividades según Anexo I con sustancias según Anexo IV</li> <li>• Almacenamiento –Anexos A – Anexo II según R.D. 952/1990 col.izq.</li> <li>• Instalaciones del Anexo I con sustancias según Anexo III</li> </ul>	R.D. 886/1988 –art 9.1 – Ampliaciones y modificaciones al presentar la declaración obligatoria –art. 6 y 7.

Continúa tabla 4.9 "Exigencias Directiva de Seveso I"		
DOCUMENTO	INDUSTRIALES OBLIGADOS	ACTUALIZACIÓN
DECLARACIÓN SIMPLIFICADA R.D. 886/1988 art. 4.2 a.	R.D. 886/1988: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividades según Anexo I con sustancias según Anexo IV</li> <li>• Almacenamiento –Anexos A – Anexo II según R.D. 952/1990 col.izq.</li> <li>• Instalaciones del Anexo I con sustancias según Anexo III</li> </ul>	
DECLARACIÓN OBLIGATORIA R.D. 886/1988 art. 6 y 7	R.D. 886/1988 – art.7 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividades según Anexo I con sustancias según Anexo III</li> <li>• Almacenamiento Anexo II col. Izq. Y Anexo A – Anexo II según R.D. 952/1990 col.izq.</li> <li>• Cantidades Anexo II y III por un conjunto de empresas a menos de 500m.</li> </ul>	Actualización cada 4 años R.D. 886/1988 6 – VII – 1994 // 6 – VII – 1998 Actividades incluidas en el R.D. 952/1990 21 – VII – 1997 // 21 – VII – 2001 Ampliaciones y modificaciones R.D. 886/1988 –art. 9.2 – a los 3 meses.
PLAN PROVISIONAL DE EMERGENCIA EXTERIOR R.D. 886/1988 – Disp. Trans. 1ª	Industriales incluidos en los art. 6, 7, 8 y 9 del R.D.886/1988	
PLAN DE EMERGENCIA EXTERIOR R.D. 886/1988 art. 4.2 b	Industriales incluidos en los art. 6, 7, 8 y 9 del R.D.886/1988	

Tabla 4.9 Resumen de las exigencias de la Directiva Seveso I (Directiva 82/501/CEE y sus modificaciones) con la adaptación al RRDD español 886/1988 y 952/1990. Fuente extracción (Azcoaga Bengoechea, 2000)

#### 4.3.1.3 Directiva 96/82/CE o Seveso II

Tras catorce años de la puesta en vigor de la primera directiva derivada del accidente de Seveso en Italia, la Comisión Europea consideró conveniente realizar una revisión a gran escala de dicha directiva.

La consecución de tres accidentes con consecuencias catastróficas para la humanidad y el medioambiente (más de 3.500 fallecidos y 200.000 afectados) en el mismo año 1984 (véase tabla 4.8), llevó a los organismos reguladores a verse en la obligación de endurecer los criterios de protección y exigencia de la directiva.

La nueva directiva contemplaba la mejora de la gestión de los riesgos de los accidentes en los que hubiese sustancias peligrosas, así como la imposición de unos criterios altos de protección de las personas, los bienes y el medioambiente. Esto se debía conseguir a través de medidas orientadas tanto a la prevención, como a la limitación de las consecuencias de los posibles accidentes, así como la planificación urbanística de la situación de las futuras plantas o los planes de protección de las ya existentes según su localización. Azcoaga Bengoechea (2000) lo resumía en cinco puntos clave:

- Nuevas definiciones
- Un único sistema de ámbito de aplicación, ampliado y simplificado:
  - Desaparecen las listas de instalaciones industriales

- Se incluye una lista corta de sustancias enumeradas
- Se emplean criterios más genéricos para establecer categorías de sustancias
- Se incluye por primera vez sustancias peligrosas para el medioambiente.
- Nuevos requisitos que han de cumplir los industriales
- Se muestra especial atención a los accidentes con posible efecto “dominó” debido a ubicación y/o proximidad a otras instalaciones y zonas pobladas.
- Se potencia y mejora el flujo de intercambio de información sobre accidentes graves tanto entre el industrial y autoridades competentes, como entre éstas últimas y la CE.

#### 4.3.1.3.1 Transposición al marco español – R.D. 1254/1999

Al igual que ocurría con la transposición de la Directiva 82/501/CEE, en la Directiva de Seveso II y su transposición al R.D. 1254/1999 hablaba de una **documentación** y de unas **actividades** que debían realizar las Empresas y las Administraciones. Estas se podían resumir en cuatro puntos que citaba Bravo de la Iglesia (2000), recopilados en la tabla 4.10:

- Las **obligaciones del industrial** son las de tomar decisiones para prevenir accidentes graves o aminorar sus consecuencias en caso de producirse. Asimismo, debe demostrar que sus instalaciones son seguras, constando de todos los riesgos identificados e implantando un sistema de gestión de seguridad.
- La **notificación** por parte del industrial de cualquier accidente a los órganos competentes, citando en ésta el nombre del establecimiento, información sobre las sustancias peligrosas involucradas en el accidente, procesos desarrollados y descripción del entorno.
- La **política de prevención de accidentes graves** donde todos los industriales debe definir su propia política de prevención, plasmándola en un documento escrito. Debe incluir los objetivos y principios de actuación generales establecidos por el industrial para el control de accidentes graves en relación a:
  - Organización personal
  - Identificación y evaluación de los riesgos de accidentes graves
  - Control de la explotación
  - Adaptación a las modificaciones
  - Planificación ante situaciones de emergencia
  - Seguimiento de los objetivos fijados
  - Auditoría y revisión.
  - Dentro de la política de prevención de accidentes graves también se encuentra:
    - Planes de emergencia
    - El informe de Seguridad
    - Información facilitada en caso de accidente grave
    - Los plazos de elaboración y presentación de la documentación
- La **inspección** anual de todos los establecimientos por parte de la Administración para comprobar que las actuaciones concuerdan con los documentos de la política de empresa presentados por el industrial.

EXIGENCIAS DIRECTIVA SEVESO II		
DOCUMENTO	INDUSTRIALES OBLIGADOS	ACTUALIZACIÓN
POLITICA DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES GRAVES <b>Directiva 96/82/CE art. 7</b>  <b>RD 1254/1999 art. 7</b>  <b>(AUTOPROTECCIÓN)</b>	Directiva 96/82/CE – RD 1254/1999  Titulares establecimientos industriales: Sustancias peligrosas igual o superior a columna 2 Anexo I	Ver art. 10 - Directiva 96/82/CE  <ul style="list-style-type: none"> <li>En caso de instalaciones – almacenamiento – procedimientos o características de las sustancias peligrosas que pueden tener consecuencias importantes.</li> </ul>
NOTIFICACIÓN <b>Directiva 96/82/CE art. 6</b>  <b>RD 1254/1999 art. 6</b>  <b>(DECLARACIÓN SIMPLIFICADA)</b>	Directiva 96/82/CE – art. 6 – RD 1254/1999  Titulares establecimientos industriales: Sustancias peligrosas igual o superior a columna 2 Anexo I	<ul style="list-style-type: none"> <li>En caso de que aumenten significativamente las sustancias o se modifiquen los procedimientos</li> <li>En caso de cierre</li> </ul>
INFORME DE SEGURIDAD <b>Directiva 96/82/CE art. 9</b>  <b>RD 1254/1999 art. 9</b>  <b>(DECLARACIÓN OBLIGATORIA)</b>	Directiva 96/82/CE – art. 9 – RD 1254/1999  Titulares establecimientos industriales: Sustancias peligrosas igual o superior a columna 3 Anexo I	Ver art. 9.5 Directiva 96/82/CE  <ul style="list-style-type: none"> <li>Cada 5 años mínimo</li> <li>En cualquier momento por iniciativa del operario o de la autoridad</li> </ul>
PLAN EMERGENCIA INTERIOR <b>Directiva 96/82/CE art. 11. a</b>  <b>RD 1254/1999 art. 11 – 2</b>	Directiva 96/82/CE – art. 11 – RD 1254/1999  Titulares establecimientos industriales: Sustancias peligrosas igual o superior a columna 3 Anexo I  Los que requieren informe de seguridad	Ver art. 9.4 Directiva 96/82/CE  Cada 3 años como máximo
PLAN EMERGENCIA EXTERIOR <b>Directiva 96/82/CE art. 11. b</b>  <b>RD 1254/1999 art. 11 – 3</b>	Directiva 96/82/CE – art. 11 – RD 1254/1999  Titulares establecimientos industriales: Sustancias peligrosas igual o superior a columna 3 Anexo I	Ver art. 9.4 Directiva 96/82/CE  Cada 3 años como máximo
SISTEMA DE INSPECCIÓN POR LA AUTORIDAD COMPETENTE	Directiva 96/82/CE art. 9	Ver art 11.2 a – Directiva 96/82/CE  Cada 12 meses

Tabla 4.10 Resumen de las exigencias de la Directiva Seveso II (Directiva 96/82/CE) con la adaptación al RD español 1254/1999. Fuente extracción (Azcoaga Bengoechea, 2000)

#### 4.3.1.3.2 Comparativa entre transposiciones: RD 886/88 & RD 952/90 vs. RD 1254/99

Entre los Reales Decretos que transponen las Directivas de Seveso se emplearon terminologías diferentes para definir el mismo concepto. Azcoaga Bengoechea (2000) estudió la diferencia entre la primera transposición donde se hablaba de **accidentes mayores** y la segunda, donde empleaban **accidentes graves**, cuando ambos términos definen el objeto de la actividad preventiva reglamentada por Seveso I y II.

Se puede decir que el término **gravedad** se utiliza como sinónimo de grave lesión a consecuencia de un accidente y no de una catástrofe. Es éste último término el que se

utiliza para definir accidente mayor. Con la intención de evitar confusión entre los términos, se diferenció entre:

- **accidente grave** como aquel que no constituyen consecuencias catastróficas generalizadas, y
- se emplea **accidente mayor** para designar aquel que conlleve la posibilidad de tener consecuencias catastróficas.

No obstante, para Azcoaga Bengoechea (2000) la terminología seguía siendo confusa y el propuso que: “...es más apropiado...**accidentes catastróficos industriales**. Al emplear el adjetivo **catastrófico**, no habría confusión con los accidentes graves que tienen tal catalogación en la normativa...y que no son...los que se pretenden prevenir con la normativa...y... al añadir el término **industrial**, no se confundiría con catástrofes naturales. ...se podría...haber titulado...la prevención de accidentes catastróficos industriales como consecuencia de la presencia de determinadas sustancias y/o preparados peligrosos.”

Además de esta comparativa a nivel terminológico, Bravo de la Iglesia (2000) nos presentó otra a nivel de acciones y documentación (véase tabla 4.11).

<b>COMPARATIVA RRDD ESPAÑOLES</b>	
<b>R.D. 886/1988 &amp; R.D. 952/1990</b>	<b>R.D. 1254/1999</b>
Notificación (Disposición Transitoria primera)	Notificación (art.6)
--	Política de Prevención (art.6)
Declaración Obligatoria (art.6)	Informe de Seguridad (art.9)
Declaración Obligatoria (art.6)	Planes de Emergencia (art.11)
Información de accidentes mayores (art. 13)	Información accidente graves (art.14)

Tabla 4.11 Comparativa de la documentación y las acciones que los industriales deben presentar según los RRDD transpuestos de las Directivas de Seveso I y II (Bravo de la Iglesia, 2000)

#### **4.3.1.4 Modificación Directiva Seveso II mediante la Directiva 2003/105/CE**

Tras la cadena de accidentes sucedidos en los años posteriores a la publicación de la Directiva 96/82/CE (véase tabla 4.8), dónde el número de fallecidos se había visto reducido, pero las consecuencias para la salud y el medioambiente habían empeorado considerablemente, la CE se vio en la necesidad de modificar la normativa mediante la Directiva 2003/105/CE.

Esta modificación nació con la necesidad de:

- Reflejar los últimos resultados de los estudios sobre carcinógenos y nuevas sustancias peligrosas para el medioambiente, ampliando el ámbito de aplicación de la directiva.

- Introducir nuevos plazos mínimos a las empresas e industrias para cumplir con las obligaciones impuestas por la nueva modificación.
- Plantear una mejora en el intercambio de información, donde los estados miembros deben facilitar a la CE información básica sobre las industrias accidentadas. Así como reforzar la información a la población.
- Y Por último, a grandes rasgos, insistir en la importancia de la participación de los trabajadores en la creación de los planes de emergencia, así como en su formación.

#### **4.3.1.5 Directiva 2012/18/UE o Seveso III**

Tras dieciséis años de aplicación de la Directiva de Seveso II, con sus respectivas modificaciones, y viendo que los resultados de la aplicación de dichas regulaciones habían servido para mantener y en algunos casos mejorar la actividad industrial química en la Unión Europea, la CE se vio en la necesidad de volver a revisar el texto de 96/82/CE.

Durante estos años, los accidentes más graves acontecidos se localizaron principalmente en el continente asiático (véase tabla 4.8). No obstante, la creación de esta nueva directiva, la cual aún no es de aplicación en todos los países miembros, — pues tienen tiempo hasta el 1 de Junio de 2015 para transponerla a sus respectivos estados —, no redujo los accidentes, aunque sí sus consecuencias tanto para las personas, como para el medioambiente.

La mejora de la tecnología y los constantes cambios en la industria, obligan a los legisladores a crear nuevas pautas que refuercen los criterios ya impuestos. Es el caso de las nuevas tecnologías de la información, muy presentes en la notificación de accidentes y en el envío de documentos entre estados de la CE, siendo ésta una de las modificaciones principales y diferencias entre Seveso II y Seveso III, además de otras como:

- Mejora en el acceso de la información para los ciudadanos, sobre los riesgos resultado de las actividades de las empresas químicas cercanas y sobre su actuación en caso de accidente.
- Acceso a la justicia para los ciudadanos afectados, con deficiencia en la información o un trato no adecuado a sus derechos.
- Normas más estrictas para la inspección de las plantas e industrias, con la intención de garantizar la aplicación de las normas de seguridad.

Sin embargo, no son las únicas. Para una mayor información respecto a los cambios profundos que se hayan entre la Directiva 96/82/CE y la Directiva 2012/18/UE es preciso consultar el documento del Ministerio del Interior (2012) *“Comparativa entre directiva 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de Julio de 2012 relativa al control de los Riesgos Inherentes a los Accidentes Graves en los que intervengan Sustancias Peligrosas y por la que se modifica y ulteriormente deroga la Directiva 96/82/CE.”*

#### **4.3.1.6 Organismos e Instituciones de cooperación**

El accidente de Seveso dio lugar a algunos organismos basados en el reporte de los accidentes que pudiesen ocurrir a partir de ese momento en la UE. No obstante, previo al

accidente, también existían otras fuentes, instituciones y organizaciones que se adaptaron a la nueva legislación o que cumplieron sus bases de datos a partir de ese momento, mejorando el tránsito de información.

### e-MARS

El Sistema de Informe de Mayores Accidentes (MARS – Major Accident Reporting System, y posteriormente conocido como el e-MARS) fue establecido por primera vez por la Directiva Seveso 82/501/CEE del Consejo de la UE en 1982 y se ha mantenido con las revisiones posteriores de la Directiva. El propósito de e-MARS es facilitar el intercambio de las lecciones aprendidas de los accidentes e incidentes en los que intervengan sustancias peligrosas, con el fin de mejorar la prevención de accidentes químicos y mitigar las posibles consecuencias.

<https://emars.jrc.ec.europa.eu/>

### ESIS

European Chemical Substances Information System. Es una base de datos con la clasificación de las sustancias químicas existentes.

<http://esis.jrc.ec.europa.eu/>

### MAHB

Major-Accident Hazards Bureau. Ayuda a los Estados Miembros y a otros servicios de la Comisión con la aplicación exitosa de la política de la UE sobre el control de los riesgos, la prevención y la mitigación de accidentes graves.

Contiene una serie de guías para la preparación de un informe de seguridad.

<http://ipsc.jrc.ec.europa.eu/>

<http://ipsc.jrc.ec.europa.eu/index.php/Safety-Reports/695/0/>

### COMISIÓN EUROPEA: PREVENCIÓN, PREPARACIÓN Y RESPUESTA

<http://ec.europa.eu/environment/seveso/index.htm>

### AUTORIDADES NACIONALES Y OTRAS ESTRUCTURAS CONTRA ACCIDENTES QUÍMICO

Listado de los organismos por cada estado miembro de la unión.

<http://ec.europa.eu/environment/seveso/natautho.htm>

#### 4.3.1.7 Análisis de Riesgos: Método “HAZOP”

Como se ha hablado en el apartado 4.3.1.1 de Antecedentes Históricos a la Directiva Seveso, los cambios a lo largo de la historia en la industria química supusieron un papel fundamental en el desarrollo de sus regulaciones.

Es el caso de la técnica de análisis de riesgos conocida como “HaZop” (*Hazard and Operability*) o *Análisis Funcional de Operabilidad (AFO)*. Ésta fue desarrollada a finales de los años 60 y principios de los 70 por la empresa ICI (“*Chemical Industries*” de Gran Bretaña, fundada en 1926 por Bunner Mond, United Alkali Co., British Dyestuffs Corp. y Nobel Ind.), tras concluir que las causas potenciales de los accidentes ocurridos en los últimos años podían ser evitadas o reducidas, tanto en su frecuencia, como en sus consecuencias. De la Cruz et al. (2000) explicaban en su artículo que la automatización de los procesos industriales, con tecnologías centralizadas, junto con una disminución de la formación de los trabajadores, producían mayores riesgos potenciales. Estos podían verse reducidos aumentando la formación y los conocimientos de los operarios respecto a los riesgos de sus trabajos, así como creando operaciones más eficientes a través de mejores prácticas, mejoras tecnológicas y de control.

Estos riesgos debían ser evaluados y comunicados. Para ello existían varias técnicas de identificación de riesgos, agrupadas, según De la Cruz et al. (2000) en tres categorías (véase tabla 4.12):

TIPOS DE TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS	
Métodos comparativos	Códigos, estándares y normas (CEN)
	Lista de verificación (LV)
	Análisis histórico de accidentes (AHA)
	Revisiones de seguridad (RS)
	Auditorías de seguridad (AS)
Índices de riesgo	Índice Dow (ID)
	Índice Mond (IM)
Métodos generalizados	<b>Análisis de riesgos y operabilidad (“HaZop”)</b>
	Análisis de modos de falla y efectos (AMFE)
	Análisis de Árbol de fallas (AFF)
	Análisis de árbol de éxitos (AAE)
	Análisis “Qué pasa si...” (“What-If”, WI)
	Análisis de causa-efecto (AC)
	Análisis de confiabilidad humana (ACH)
Análisis de consecuencias (AC)	

Tabla 4.12. Tipos de técnicas de identificación y evaluación de riesgos. Fuente Extracción (De la Cruz, 2000)

Esta identificación es fundamental y se convierte en el paso más importante para prevenir, ya que cualquier riesgo no identificado puede devenir un riesgo incontrolado.

“HaZop” es uno de los ocho métodos generalizados que presenta el “*Análisis de Riesgos de Procesos (ARP)*” (De la Cruz et al., 2000), los cuales proporcionan mejores resultados mediante esquemas de razonamiento más sistemáticos. Freedman (2003) aseguró en su estudio que las demás metodologías de análisis de riesgos surgieron a partir de ella.

Al igual que ocurre con la mayoría de conceptos derivados de la práctica, la definición de “HaZop” varía según el autor que la define:



- De la Cruz et al. (2000) la define como: “...la herramienta sistemática usada por un equipo por un equipo multidisciplinario para llevar a cabo un estudio de riesgos y operabilidad en una planta química, petroquímica de refinación, en los niveles administrativos y operacional, la cual usa una serie de palabras guía que se aplican a cada parámetro seleccionado para determinar, mediante la discusión propositiva y la generación de ideas: a) las desviaciones de los parámetros..., b) las causas...y consecuencias, c) los sistemas de protección o mitigación..., d) los índices de riesgos..., y e) las recomendaciones...”
- Casal et al. (1996) según la definición de la Chemical Industry Association, la define como: “...La aplicación de un examen crítico, formal y sistemático de un proceso o proyecto de ingeniería de una instalación nueva para evaluar el riesgo potencial de la operación o funcionamiento incorrecto de los componentes individuales de los equipos y sus consiguientes efectos en la instalación como conjunto”
- Bestratén (1989) resume: “...es un método...para su aplicación en el diseño de plantas para la fabricación de pesticidas, con la finalidad de detectar las situaciones de inseguridad.”
- Freedman (2003) habla del concepto “HaZop” como: “...analizar en forma metódica y sistemática el proceso, la operación, la ubicación de los equipos y del personal en las instalaciones, la acción humana (de rutina o no) y los factores externos, revelando las situaciones de riesgo.”

La mayor parte de los accidentes en instalaciones de proceso que ocurren pueden clasificarse. Para Bestratén (1989), según la experiencia de dichos sucesos, se podía hablar de tres grupos bien diferenciados, incluyendo en cada uno de ellos aquellos fallos de mayor frecuencia, (véase tabla 4.13):

<b>CAUSAS FRECUENTES DE ACCIDENTES EN INSTALACIONES DE PROCESO</b>	
Fallos de componentes	<i>Diseño inapropiado frente a presión interna, fuerzas externas, corrosión del medio y temperatura</i>
	<i>Fallos de elementos tales como bombas, compresores, ventiladores, agitadores, etc.</i>
	<i>Fallos de sistemas de control</i>
	<i>Fallos de sistemas específicos de seguridad</i>
	<i>Fallos de juntas y conexiones</i>
Desviaciones en las condiciones normales de operación	<i>Alteraciones incontroladas de los parámetros fundamentales del proceso</i>
	<i>Fallos en la adición manual de componentes químicos</i>
	<i>Fallos en los servicios (insuficiente enfriamiento para reacciones exotérmicas, corte del suministro eléctrico,...)</i>
	<i>Fallos en los procedimientos de parada o puesta en marcha</i>
	<i>Formación de subproductos, impurezas o residuos, causantes de reacciones colaterales indeseadas</i>
Errores humanos y de organización	<i>Errores de operación</i>
	<i>Desconexión de sistemas de seguridad a causa de frecuentes falsas alarmas</i>
	<i>Confusión de sustancias peligrosas</i>
	<i>Errores de comunicación</i>
	<i>Incorrecta reparación o trabajo de mantenimiento</i>
	<i>Realización de trabajos no autorizados</i>

Tabla 4.13 Causas más frecuentes en accidentes de instalaciones de proceso. Fuente Extracción (Bestratén, 1989)

Estados Unidos realizó entre los años 1960 y 1977 un estudio entre 465 accidentes de la industria química (entre los cuales se contemplaban explosiones e incendios), concluyendo

que las principales causas de los accidentes se debían a errores de componentes, seguido de errores humanos y por último operacionales. Entre el 80 y el 90% de estas causas se debían a errores en los sistemas de administración, mientras que sólo entre el 10 y el 20% se debían a errores humanos que ocurrían directamente en la operación. A día de hoy, la metodología “HaZop” se emplea para corregir los accidentes situados entre ese 10 y 20% (De la Cruz et al., 2000)

Freedman (2003) explicaba en su artículo que el método “HaZop” es uno de los métodos más completos y rigurosos, por lo que las empresas lo prefieren como técnica de prevención. No obstante, aún siendo una técnica tan rigurosa, no se puede hablar de un cien por cien de análisis de los riesgos potenciales, ya que depende del trabajo del equipo humano encargado del estudio: “El “HaZop” es un trabajo de equipo y el éxito o fracaso del mismo es de <<todo el equipo>>”. Dicho análisis se basa en cuatro claves:

- La **causa** del riesgo
- La **consecuencia** resultante de la exposición al riesgo
- Los **controles** destinados a prevenir o mitigar las consecuencias asociadas.
- Las **recomendaciones** que pueden ser tomadas.

Aunque el método de análisis “HaZop” en sí es simple y sencillo, requiere unas fases de trabajo, tanto preparatorias como de desarrollo y conclusión, excesivamente elaboradas. Es por ello que antes de verter todos los esfuerzos en esta metodología, según Bestratén (1989) debían realizarse otros estudios previos a él, para poder tener una mayor efectividad y así saber si es necesaria su aplicación (ej. Caso de una industria: Aplicar el análisis a toda la planta o aplicar el análisis sólo a partes de ésta); para el autor no se puede realizar sólo una técnica de evaluación de riesgos (véase tabla 4.12). Debe haber una fase global en la que se identifiquen los riesgos y se analicen en detalle hasta cierto punto, sin emitir veredictos, y una segunda fase en la que se estudien más profundamente los riesgos encontrados en la fase global.

Hay siete etapas o conceptos necesarios para la puesta en marcha del estudio “HaZop” (Freedman, 2003):

- Campo de aplicación: Se aplica, sin distinción, a toda clase de instalaciones, sean nuevas, existentes o modificadas.
- Documentación necesaria: Diagramas de procesos, Plot and Plan de la instalación, Descripción de los procesos, Filosofía Operativa, así como planos y otro tipo de documentos complementarios que sirvan para describir la empresa.
- Integrantes de un equipo de “HAZOP”: Integrado por especialistas de diferentes áreas para generar múltiples puntos de vista sobre un mismo problema, y un director experto en metodología “HaZop”.
  - El director o facilitador, debe motivar y enfocar al equipo, así como documentarles y mantener la calidad del estudio.
  - Entre 4 y 8 participantes es lo ideal.
- Duración del “HAZOP”: Depende de la instalación y su complejidad.

- **Matriz de clasificación de Riesgos:** Herramienta que se usa para asignar niveles a los riesgos identificados y a la prioridad de la implementación de las recomendaciones. (Véase tabla 4.14)
- **Método de Análisis:** Se escogen una serie de parámetros a analizar de los distintos procesos (flujo, temperatura, nivel, etc.) y se le aplican las llamadas “*palabras guía*” (véase tabla 4.15) para determinar la desviación de los parámetros de operación. Estas palabras guía cuantifican o cualifican todas las variables en el proceso. Algunas pueden llegar a ser inverosímiles, pero son igualmente necesarias para descartar cualquier tipo de situación.
- **Informe del “HAZOP”:** El director o facilitador del estudio, debe preparar un informe que incluya toda la documentación derivada del análisis, así como las recomendaciones en un listado que será el punto más importante del estudio y citará aquellas que ya han sido llevadas a la práctica.

“El “HaZop” es eficaz si se toman acciones para implementar las recomendaciones realizadas durante el estudio.” Freedman (2003).

MATRIZ DE CLASIFICACIÓN DE RIESGOS				
PROBABILIDAD	SEVERIDAD			
	1 (Insignificante)	2 (Marginal)	3 (Crítica)	4 (Catastrófica)
1 (Improbable)	1	2	3	4
2 (Remota)	2	4	6	7
3 (Poco Frecuente)	2	6	7	8
4 (Frecuente)	3	7	8	9
Ranking de Riesgo 1 a 3: <b>Baja Prioridad. Se deberá tomar acción cuando los medios estén disponibles</b>				
Ranking de Riesgo 4 a 6: <b>Media Prioridad. Deben tomarse acciones en un corto período de tiempo</b>				
Ranking de Riesgo 7 a 9: <b>Muy Alta Prioridad. Se deben tomar acciones inmediatas</b>				

Tabla 4.14 Ejemplo de Matriz de Clasificación de Riesgos. Fuente Extracción (Freedman, 2003)

PALABRAS GUÍA TÉCNICA “HAZOP”		
<b>NO</b>	Negación o ausencia de las especificaciones	No flujo (fallo de bomba, válvula cerrada, fuga, etc.)
<b>MÁS</b>	Aumento o disminución cuantitativa. Cantidades de medición tipo caudales, presión, temperatura, etc.	Más flujo (aspiración presionada, válvula atascada abierta, lectura del flujómetro incorrecta, etc)
<b>MENOS</b>		
<b>MAYOR QUE O ASÍ COMO</b>	Aumento cualitativo Junto a la función deseada se realiza una actividad adicional	Más temperatura (suciedad en intercambiador de enfriamiento, fallos del regulador de temperatura, etc)
<b>PARTE DE</b>	Disminución cualitativa Se realiza solamente una parte de la función deseada	Presencia de impurezas (aceites, productos de corrosión, fallos de aislamientos, etc)
<b>INVERSO</b>	Oposición a la función deseada Utilizable preferentemente a actividades tales como flujo de retroceso, inversión de reacción química, etc.	Flujo de retorno (bomba invertida, fallo de bomba, fallo e válvula antiretroceso, etc.)
<b>DE OTRA FORMA</b>	Sustitución completa de la función deseada Sucede algo totalmente distinto a las finalidades originales	Otras actividades distintas a la operación normal (arranques y paradas en la instalación, fallos de energía o servicios, emisiones, etc.)

Tabla 4.15. Palabras guía del método “HaZop”. Fuente extracción (Bestratén, 1989)

En el marco normativo español, la aplicación de este tipo de metodologías de análisis de riesgos se ve exigida por la transposición de la Directiva 86/501/CEE, al Real Decreto 886/1988.

## **5. CAPÍTULO V: ACCIDENTES MAYORES EN EL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS PELIGROSAS**

### **5.1 ALFAQUES**

#### **5.1.1 ANTECEDENTES**

##### **5.1.1.1 Descripción**

*Camping de Los Alfaques, Tarragona (España). 11 de Julio de 1978, 14:30h.*

A las 14:30 aproximadamente, del día 11 de Julio de 1978, en el kilómetro 159,490 de la Carretera Nacional N-340, a la altura del Camping “Los Alfaques” (a 3 Km. de San Carlos de la Rápita), tuvo lugar el mayor accidente de transporte de mercancías peligrosas en España.

El vehículo, compuesto por un tractor-cabina Pegaso con matrícula M-7034-C y una cisterna autoportante remolque con matrícula M-7981-R, transportaba “Propileno<sup>13</sup>” (un GLP, Gas Licuado del Petróleo) propiedad de la Factoría Empetrol de Tarragona.

El camping “Los Alfaques”, según cifras oficiales del reporte del accidente (Anónimo, 1978), estaba preparado para acoger 264 autocaravanas con capacidad media para 4 personas. En el momento del accidente, Stinton (1978) sondeó que el camping estaba considerablemente congestionado, no sólo de autocaravanas, sino también de tiendas de campaña. No obstante, los expertos no se pusieron de acuerdo en las cifras y se estimó que podía haber más de 1000 personas en el lugar (Anónimo, 1978), y aproximadamente unas 500 dentro del radio de la explosión (Stinton, 1978). Asimismo, éste último también citó que las autocaravanas estaban dispuestas a unos 20 metros de la costa y a unos 10 metros de la N-340, separando ésta del camping únicamente un muro de 15 centímetros de espesor.

En las inmediaciones del camping, a un lado de la N-340, en la costa, había un Restaurante – Recepción, un espacio para las tiendas de campaña y autocaravanas, y un edificio de apartamentos. Al otro lado de la N-340 había una discoteca, varios campos de siembra sin cultivar y una masía.

El día del accidente la temperatura aproximada se situaba entre los 26 °C (Anónimo, 1978) y los 28 °C (Stinton, 1978). El viento soplaba con fuerza 2 (de 10 a 20 Km/h) de Levante, es decir, procedente del Este en el litoral mediterráneo (datos en los cuales estaban de acuerdo los expertos). Ambas premisas fueron determinantes para la propagación del gas y su posterior ignición según explicó en su estudio posterior Stinton (1978).

---

<sup>13</sup> El “Propileno” es un gas a temperatura ambiente. Encerrado en un recipiente debido a tensión de vapor, se licua, por lo que todas sus maniobras de trasvase, se efectúan en fase líquida. Sus características físico-químicas lo describen como: Ligeramente soluble en agua, soluble al alcohol y éter, poco tóxico, muy inflamable, incoloro, con un índice de explosión en el aire del 2 al 11%, y una temperatura que alcanza en este de 1200 °C, auto ignición a 498 °C, punto de inflamación -107,7 °C, una densidad de 1.46, peso específico a 20°C de 0,5139, punto de fusión de -185,2°C, punto de ebullición de -47,7°C y fórmula CH<sub>3</sub> – CH<sub>2</sub>= CH<sub>2</sub>. Se utiliza para obtener Alcohol isopropílico, Glicerol sintético, Resinas vinílicas y plásticos en general. Se puede decir que <<per se>> el gas no tiene porque originar un aumento de la presión tal que produzca la rotura del recipiente que lo contiene.

## 5.1.2 DESCRIPCIÓN DEL ACCIDENTE

### 5.1.2.1 Hipótesis y Causas

Son múltiples las causas que pudieron intervenir en el accidente. El principio de multicausalidad, por el cual el accidente es el suceso final que ocurre como consecuencia de una serie de sucesos concatenados, pudo ser evidente en “Los Alfaques”.

El reporte oficial de los bomberos (Anónimo, 1978) argumentaba que tres fueron las causas que pudieron intervenir en el accidente:

- Debidas al producto transportado: “Propileno”.
- Debidas a un exceso de carga: Sobrellenado de la cisterna.
- Debidas a una fatiga del material: Rotura de la chapa de la cisterna.

Años más tarde, Stinton (1983) citó las causas oficiales de la sentencia final del tribunal, donde se identificaron las siguientes:

- El vehículo no disponía de válvulas de alivio de presión.
- El vehículo iba sobrecargado.
- La corrosión que sufría la cisterna a causa del transporte anterior de amoniaco.
- La elevada temperatura del ambiente
- La falta de test de certificación y medida de la presión de la cisterna.

No obstante, tras las investigaciones que los propios bomberos realizaron en el lugar de los hechos, las conclusiones extraídas por éstos (Anónimo, 1978) diagnosticaron que el exceso de carga y la fatiga del material fueron las causas más decisivas. Algo con lo que el tribunal que dictaminó la sentencia parecía estar de acuerdo, (Stinton, 1983).

J.L. Mañas Lahoz, Dr. Ingeniero Industrial, razonaba que la combinación de ambas causas hipotéticas habían desencadenado un accidente nunca antes catalogado en España, llamado la explosión BLEVE<sup>14</sup> (Mañas Lahoz, 1983) (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion). No fue conocido así hasta que Stinton (1978), jefe de la brigada de Bomberos de la región inglesa de Hampshire, se desplazara al lugar del accidente para investigarlo (el 13 de Julio) y concluyese que sus efectos devastadores se debieron a una BLEVE. Allí entrevistó a varios afectados por el accidente que lo describieron como la sucesión de dos explosiones: Una primera explosión que alarmó a los presentes seguida, entre 2 y 3 minutos más tarde, de una segunda mucho más violenta que desencadenó la catástrofe. Según los

---

<sup>14</sup> Mañas Lahoz (1983): “Se define BLEVE como la ruptura – en dos o más pedazos – de un recipiente, con proyección y grandes desplazamientos de dichos pedazos, producida por un tipo de explosión especial que se da en unas determinadas circunstancias, ..., que exige como condición necesaria esencial, pero no suficiente, que el líquido contenido en el recipiente esté a una temperatura bastante mayor que la que correspondería estar si estuviera a la presión atmosférica normal. Así pues la temperatura de ebullición (a 1 atm.) ha de ser bastante menor que la temperatura a la que está realmente el recipiente y la masa del líquido. A dichos líquidos, y gases licuados, convencionalmente, los llamaremos a partir de ahora sobrecalentados (Superheated).” “...dicha explosión BLEVE se podría producir con cualquier líquido si se cumplían conjuntamente las siguientes condiciones: Primero que el líquido esté ‘sobrecalentado’, segundo que se produzca una ‘súbita bajada de la presión’ en el interior del recipiente, ..., puede ser originado por la fisura de la chapa, y tercero que, ..., es necesario además que se den unas condiciones de presión y temperatura tales que se pueda producir un fenómeno de ‘nucleación espontánea’ con lo que se origina una evaporación rapidísima tipo ‘flash’.”

testigos presentes entrevistados se pudo divisar una gran bola de fuego. Mañas Lahoz (1983) calculó que la bola de fuego u hongo alcanzó un diámetro de 180 metros alrededor del vehículo siniestrado y fue seguida de una onda expansiva que se extendió más de 600 metros de diámetro. Sólo el periodista Mezcuca, en el *Diario ABC* el año 2013, se atrevió a fijar la temperatura que alcanzó el lugar, cifrándola cercana a los 2000° Celsius. En lo que los expertos están de acuerdo es que la temperatura alcanzada provocó que el agua del mar hirviese y que muchas de las personas falleciesen por huir hacia ésta.

### **5.1.2.2 Reconstrucción del Accidente**

En las primeras investigaciones (Stinton, 1978) se estudiaron dos teorías que envolvían la posibilidad de dicha explosión BLEVE:

Una primera teoría comprendía que el conductor en un momento dado perdió el control del vehículo que transportaba el GLP (Gas Licuado del Petróleo), girándose y cruzándose la cisterna a lo largo de la carretera, hasta impactar con el muro que separaba el camping de la N-340. Se cree que en el momento del impacto, el acero de la cisterna se vio resentido, y se produjo una pequeña raja que permitió el escape de una gran cantidad de “Propileno” líquido. Considerando que la temperatura ambiente era muy elevada, el gas licuado recuperó su forma gaseosa y se vaporizó casi instantáneamente, formando una gran nube de gas que se propagó por las inmediaciones, alrededor de 100 metros de radio por el viento de fuerza 2 (entre 10 y 20 Km/h) que soplaba de levante. El gas se incendió por una pequeña llama o chispa que produjo el propio siniestro del vehículo.

La segunda teoría era que la explosión había sucedido en el trayecto de transporte por sí sola. La cisterna, por alguna razón, había generado un enorme escape de “Propileno” líquido, convirtiéndose casi al instante en una gran nube de gas que ardió y concluyó de la misma forma que la primera hipótesis.

Basándose en los análisis de Stinton, cinco años más tarde, Mañas Lahoz (1983) en reuniones conjuntas con el Jefe de Seguridad de Butano, S.A. el D. Federico de Salas, y sobre una base científica, con datos más sólidos transcurridos los años, publicó su propio estudio donde explicaba las causas del accidente.

### **11 de Julio de 1978**

**12.05h.** A las 12.05 del 11 de Julio de 1978, el camión cisterna cargó un peso neto de 23.470 Kg de “Propileno” en la refinería de ENPETROL, (comprobación que se pudo certificar con los tickets de la báscula). La máxima carga que estaba permitida — según la normativa TPC (Reglamento Nacional de Transporte de mercancías Peligrosas por Carretera) vigente en el momento — era de 19.350 Kg aproximadamente (si partimos del volumen teórico 45.000 L., de la cisterna) o de 19.099 Kg. (si partimos de su volumen medio, 44.416 L., sobre el plano de construcción). Por lo cual se podía asegurar que llevaba casi 4000 Kg más de carga (Mañas Lahoz, 1983). La cisterna fue cargada hasta su límite sin dejar espacio libre en su interior, pues el equipo que se usó para cargarla no disponía de una válvula de interrupción de llenado ni de un sistema que pudiese eliminar por sí solo el exceso de carga. Como resultado,

la demasía sólo podía ser identificada en la báscula de salida donde se debía pesar el camión y únicamente podría ser remediado dicho exceso por la decisión del transportista, si demandase de reducirlo, (Stinton, 1983).

**12.30h.** Sin vaciarlo, hacia las 12:30h, el conductor Francisco Imbernón Villena se dispuso a transportar la mercancía dirección Puerto Llano (Ciudad Real).

**14.30h.** Pese a que cruzó por el interior de Sant Carles de la Ràpita seguido de otro vehículo que advirtió que iba sorprendentemente rápido para el tipo de mercancía que transportaba, el transportista no aminoró la marcha, (Stinton, 1983). Hacia las 14:30h, según los testigos, se produjo la primera pequeña explosión, la cual provocó la rotura de la cisterna. Una pequeña fisura en el contenedor del gas, probablemente producida por la sobrepresión debida al calentamiento natural por la acción del sol sobre el metal del tanque. Esta sobrepresión se pudo comprobar a posteriori gracias a los análisis que el CENIM (Centro Español de Investigación de Metalurgias) realizó sobre la chapa, indicando que ésta fue estirada, observando el fenómeno de estricción en el grosor de la misma. Dicha estricción pudo deberse, según la sentencia citada por Stinton (1983), al eventual transporte de “amoniaco” el cual había producido la corrosión de los encuentros de soldadura en la chapa de la cisterna.

**14.33h.** Seguidamente, la onda de la explosión BLEVE — o el choque de alguno de los tres trozos en los que se seccionó la cisterna — derribó hacia el interior del camping el muro de hormigón que lo separaba de la N-340. Durante dos o tres minutos (Stinton, 1983) el “Propileno” fue liberándose al exterior, regresando a su estado gaseoso y expandiéndose en los alrededores gracias a la fuerza del viento. Para Mañas Lahoz, (1983) probablemente, por culpa de una fuente cálida (la misma electricidad estática generada por el movimiento del camión), el gas comenzó a arder fuera del depósito, aumentando aún más la temperatura de la chapa. Con lo que se sobrepasó la línea *límite de temperatura de sobrecalentamiento* del “Propileno” y terminó por producir una evaporización instantánea tipo “Flash” en el interior de la cisterna de unas 8 o 12 Tn., ocurriendo la segunda explosión. Ésta, mucho más destructiva, generando una presión interior en la cisterna de más de 300 Kg/cm<sup>2</sup>, cuando dicho tanque estaba preparado para soportar tan sólo 30 Kg/cm<sup>2</sup>. Acto seguido a la dispersión del “Propileno” y su encendido (la bola de fuego de 180 metros de diámetro), se pudo originar una deflagración o detonación en el interior del camping, que produjo los peores efectos (600 metros de diámetro o 300.000 m<sup>2</sup> calcinados y 180 metros de diámetro o 25.000 m<sup>2</sup> carbonizados y arrasados) y el derribo de otra parte del muro de hormigón hacia el exterior del camping.

Para el autor, (Mañas Lahoz, 1983) “...en los alrededores del camping nos dejó su <<Tarjeta de Visita>>. Analizando lo visto allí se podría decir que ni la inicial ruptura por reventón, por presión ni el posterior incendio, con o sin detonación, de las 23 Tn de “Propileno” pudieron producir esos efectos...esas dos cosas ocurrieron e incrementaron los efectos de la



catástrofe...pero es que además...ocurrió una BLEVE” “...la detonación destruye por la onda de choque...pero las BLEVE hacen estallar y proyectan produciendo el efecto proyectil con lo que desplazan por los aires grandes masas.” El camión cisterna se convirtió en fragmentos que se proyectaron en los alrededores del accidente. La radiación térmica de la gran bola de fuego hizo que el ambiente alcanzase elevadísimas temperaturas, provocando que incluso el agua del mar bullese.

Mañas Lahoz (1983) concluyó en su estudio: “También hubo incendio y eso,..., fue lo que produjo las muertes por quemaduras...evidentemente...aunque no hubiese ocurrido una BLEVE, las muertes hubiesen sido muy importantes. Desde el punto de vista humano, legal y social, el que las víctimas hayan sido debidas a la BLEVE o al incendio no tiene mucha importancia. Pero desde el punto de vista técnico y para la prevención de otros accidentes, sí la tiene.”

### 5.1.3 CONSECUENCIAS

#### 5.1.3.1 Daños materiales y humanos

Los efectos del accidente fueron devastadores. No obstante, las diferentes investigaciones llevadas a cabo por los expertos no llegaron a un acuerdo en el número de fallecidos y heridos.

CITAS REFERENCIADAS		CIFRAS DE MORTALIDAD Y LESIONES	
AUTOR	AÑO	FALLECIDOS	HERIDOS
Stinton	1978	200	120
Stinton	1983	210	40
Mezcua	2013	215 (158 en el acto / 57 quemaduras del 80 a 100% de su cuerpo)	77

Tabla 5.1 Cifras de Fallecidos y Heridos del accidente (Elaboración propia)

Los daños materiales fueron cifrados en el reporte oficial de la investigación *in situ* del accidente (Anónimo, 1978) en:

- 34 vehículos calcinados,
- 21 tiendas de campaña y sus enseres carbonizados,
- 12 roulettes completamente destruidas,
- una discoteca de 400 m<sup>2</sup> derruida,
- daños considerables en un bloque de apartamentos,
- rotura de cristales en los edificios colindantes de la zona,
- derrumbamiento parcial del restaurante por colisión de restos de la cisterna,
- grietas en otros dos edificios y rotura de sus puertas y ventana,
- derrumbamiento y posterior cortocircuito de la línea de Alta Tensión,
- derribo de dos postes de tendido telefónico,
- 5 Ha de terreno arrasadas por el fuego,
- 9 Ha superficialmente carbonizadas por la temperatura alcanzada durante el accidente,

- vehículo remolque totalmente destrozado, el tractor y la cisterna seccionados en tres trozos y
- derrumbamiento de 250 metros de muro de 15 centímetros de separación entre el camping y la N-340.

Mañas Lahoz (1983) estimó que el terreno calcinado ascendió a:

- 180 metros de diámetro (25.000 m<sup>2</sup>) casi arrasados, y
- 600 metros de diámetro (300.000 m<sup>2</sup>) afectados por las llamas y carbonizados.

El vehículo siniestrado fue determinante para el estudio y posterior análisis para establecer las causas del accidente. Aún y así, los expertos tampoco estaban de acuerdo en las cifras; la unidad de la cabina estaba rota por su eje central y con las ruedas hacia arriba. En cuanto a la cisterna fue seccionada y apareció a diferentes distancias del accidente:

CITAS REFERENCIADAS		PIEZAS DATOS	CABINA	REMOLQUE CISTERNA			
AUTOR	AÑO			Sección 1 Tapa Superior	Sección 2 Cuello Cisterna	Sección 3 Zona Central	Ruedas
Stinton	1978	Peso (Kg.)	-	-	-	-	-
		Longitud (m.)	-	-	-	-	-
		Distancia (m.)	100	20	150	275	90
Mañas Lahoz	1983	Peso (Kg.)	6.500	2.000 / 2.500	2.000 / 2.500	4.000 / 5.500	-
		Longitud (m.)	-	1,5	3,5	7	-
		Distancia (m.)	175	305	50	212	270

Tabla 5.2 Daños del Vehículo Siniestrado (Elaboración propia)

## 5.2 IMPACTO EN LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

### 5.2.1 Legislación y Normativa

A raíz de este accidente grave en el transporte, se decidió actualizar las antiguas directrices basadas en una normativa de la Unión Europea.

#### 5.2.1.1 Antecedentes al Real decreto 551/2006:

La directriz que estipulaba la normativa de transportes de mercancías peligrosas era la ADR "European Agreement concerning the international carriage of Dangerous goods by Road". Era un texto redactado por los países de la Unión Europea en el año 1957, el cual entró en vigor el año 1968 en la Comunidad Europea. Sirvió de base para redactar el ADR en el marco legislativo español, entrando en vigor el 9 de Septiembre del 1973.

Aunque era una normativa a nivel europeo, se observaron sus deficiencias y se decidió usar el ADR como base a un nuevo real decreto de ámbito nacional.

En el mes de Junio del año 1979, pocos meses después del accidente de Los Alfaques, se publicó en el BOE el Real Decreto 1999/1979 con el fin de poder complementar las deficiencias del ADR. En este nuevo RD se contemplaban los avances tecnológicos aparecidos en cuanto a transporte y se exigían una serie de requisitos que debían cumplir los conductores de los vehículos de transporte de mercancías peligrosas para evitar accidentes similares al ya ocurrido. Se dispuso también un plan de actuación para los

servicios públicos e incluso los privados, obligándolos a actuar conjuntamente en caso de ocurrir una nueva catástrofe.

Actualmente el RD 1999/1979 no está en vigor en su totalidad. Se han derogado paulatinamente varias partes de éste, a medida que han ido pasando los años. El Real Decreto 551/2006 junto a su revisión en el año 2010, es la normativa vigente.

Este Real Decreto surgido en el 2006 añadía nuevas inspecciones y certificaciones a los vehículos del transporte, ampliaba la formación del personal al cargo, e incluso comprendía nuevas normas de circulación.

Las leyes concernientes a la prevención de accidentes están sujetas a cambios a medida que van pasando los años, no sólo por el avance tecnológico, sino porque pese a existir una amplia legislación, no sólo en ámbito nacional sino también comunitario europeo, siguen ocurriendo accidentes. Es el caso del accidente ocurrido en Castellón en Marzo de 2004, en el que estalló un camión cargado de nitrato de amonio con resultado de dos personas fallecidas y otras cinco heridas.

En éste accidente, el de Castellón, se dio la misma premisa que en el caso estudiado del accidente de los Alfaques, pues el conductor desconocía qué materia transportaba; otros casos fuera de España han ocurrido pese a la legislación vigente, como la explosión en un tren en Irán que causó la muerte de más de 300 personas. El convoy ferroviario iba cargado de hidrocarburos y fertilizantes (es decir, nitrato de amonio). Ambos son dos materiales que no deberían transportarse juntos, según el RD vigente, para evitar desastres como el que sucedió.



## 6. CONCLUSIONES

Tras el estudio y análisis del presente proyecto, se pueden extraer tres grandes conclusiones en respuesta a los objetivos planteados inicialmente.

Respecto a los Accidentes Mayores se puede decir que han sido fundamentales e imprescindibles para los avances en los conocimientos y las técnicas de la prevención de riesgos laborales.

Dichos Accidentes Mayores han hecho avanzar a la prevención en tres grandes rasgos: el factor organizativo, el factor técnico y en la legislación. Tradicionalmente, se creía que las causas principales de los accidentes eran debidas a causas técnicas o causas humanas. De hecho, queda reflejado en la mayoría de los informes iniciales de los accidentes descritos, que los operarios y trabajadores de las plantas accidentadas eran los causantes de los sucesos. Sin embargo, en estudios posteriores más exhaustivos, el paradigma en la prevención de riesgos laborales se vio invertido. Se presentó una visión más actual donde se hablaba de causas inmediatas, — las referidas a las técnicas y las humanas —, y de causas básicas, — las referidas a la organización —. Chernobyl es el ejemplo más claro estudiado que produce significativos cambios en el factor organizativo, dejando patente en sus propuestas de futuro que el Clima y la Cultura de Seguridad son dos conceptos fundamentales para comprender el camino a seguir en la organización del PRL. Bhopal y Seveso lo hacen a nivel técnico, y éste último (Seveso), junto con Alfaques lo hacen a nivel legislativo. A día de hoy, existe legislación referente a Seveso aún en constante evolución, pendiente de ser transpuesta al marco legislativo español (Seveso III); asimismo, podemos decir también que estos Accidentes Mayores no han producido avances en el aspecto del factor humano, es decir, en cuanto a las actuaciones preventivas para la mejora de las actitudes y comportamientos de los trabajadores.

Por último, y en respuesta al segundo objetivo planteado en el presente proyecto, tras una búsqueda profunda entre la legislación y su transposición al marco español, se puede decir que el sector de la construcción no se ha visto beneficiado directamente de la significativa evolución que ha sufrido la prevención de riesgos laborales. El hecho de no haber ocurrido nunca un Accidente Mayor en la construcción — es decir, un tipo de accidente que implique consecuencias con daños severos para la sociedad y el medioambiente —, implica que no se hayan derivado estudios ni análisis que supongan avances para el sector. Por otro lado, el sector de la construcción es muy particular y requiere de unos sistemas de trabajo poco sistematizados y manuales, así como completamente diferentes en cada nueva obra: por cada nueva construcción que se plantea, se requiere un nuevo plan de prevención y seguridad en obra, pues es un lugar de trabajo diferente; puede decirse que el único aspecto preventivo de los hallados en este proyecto que ha incorporado el sector de la construcción es el referido a los constructos de Cultura y Clima de Seguridad. Sin embargo, cabe matizar que esta incorporación ha sido escueta.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

### 7.1 ARTÍCULOS

- 2012 IEEE Colloquium on Humanities, Science & Engineering Research (CHUSER 2012), December 3-4, 2012
- Anónimo (1978). Análisis de siniestros: Causas de una tragedia... "Los Alfaques". *¡Alarma!* 251, 27 – 35.
- Anónimo (1986). Le scenario de l'accident de Tchernobyl: Aspects techniques et surete. *Rayonnement Ionisants : Techniques de mesures et de protection* 4, 179 – 180.
- Anónimo (2003) Efecto de la cultura de seguridad sobre la prevención de riesgos laborales. *Prevención Express* 332, 2003
- Anónimo (2009). Accidente de la Central Nuclear de Chernobyl. *Tecnomat*.
- Aro, P.O.; Carlsen, J.L.; Rice, A.; Seminario, M.; Wright, M.J.; McClelland, S.; Vidal, J.; Kulkarni, R.; Passey, S.L.; Yadav, R.K.; Singh, T.D. & Nagaranjan, N. (1985). The Trade Union Report on Bhopal. *Dangerous Properties of Industrial Materials* 5, 2 – 19.
- Azcoaga Bengoechea, I.M. (2000). De la prevención de accidentes mayores (Seveso I) a la prevención de accidentes graves (Seveso II). *Prevención* 154, 42 – 63.
- Beninson, D.; Birkhofer, A.; Chatterjee, S.K.; Domaratzki, Z.; Edmondson, B.; González-Gómez, E.; Kouts, H.J.C.; Lapedcki, W.; Li Deping; Sato, K.; Sidorenko, V.A.; Tanguy, P.; Vuorinen, A.P.; Abagyan, A.A.; Brown, R.A.; Cogné, F.; Guppy, J.; Shteynberg ,N.; Young, J.D.; Burlakov, E.V.; Cherkashov, J.M.; Naidenov, M. & Petrov, V. (1992). The Accident. *INSAG-7 The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1 75*, 10 – 12.
- Beninson, D.; Birkhofer, A.; Chatterjee, S.K.; Domaratzki, Z.; Edmondson, B.; González-Gómez, E.; Kouts, H.J.C.; Lapedcki, W.; Li Deping; Sato, K.; Sidorenko, V.A.; Tanguy, P.; Vuorinen, A.P.; Abagyan, A.A.; Brown, R.A.; Cogné, F.; Guppy, J.; Shteynberg ,N.; Young, J.D.; Burlakov, E.V.; Cherkashov, J.M.; Naidenov, M. & Petrov, V. (1992). Annex II.2.2 Chronology of events at the Chernobyl plant on 25-26 April 1986. *INSAG-7 The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1 75*, 110 – 114.
- Bertazzi, P.A. (1991). Long-term effects of chemical disasters. Lessons and results from Seveso. *The Science of the Total Environment* 106, 5 – 20.
- Bestatén M. (1989). Los análisis de peligros y de operabilidad en instalaciones de proceso. *Notas técnicas de prevención NTP-* 238
- Biggs, S.E.; Banks, T.D.; Davey, J.D. & Freeman J.E. (2012). Safety leaders: perceptions of safety culture in a large Australasian construction organization. *Safety Science* 52, 3–12.
- Bowonder, B & Miyake, T. (1988). Managing Hazardous Facilities Lesions from the Bhopal Accident. *Journal of Hazardous Materials* 19, 237 – 269.
- Bowonder, B. (1987). The Bhopal Accident. *Technological Forecasting and Social Change* 32, 169 – 182.
- Bravo de la Iglesia, L. (2000). Nuevo Real Decreto sobre prevención de accidentes graves. Principales obligaciones del industrial. *Mafre Seguridad* 77, 23 – 29.
- Calvo Diez, P. (1997). Chernóbil: ¿Qué ocurrió? Análisis del caso doce años después. *Prevención* 142, 37 – 52.

- Casal, J.; Montiel, H.; Planas, E.; Rodríguez, S.; Vílchez, J.A (1996). Anàlisi del risc en instal·lacions industrials. *Edicions UPC*
- Choudhry, R.M.; Fang D. & Lingard, H. (2009) Measuring safety climate of a construction company. *Journal of construction engineering and management*.
- Chouhan, T.R. (2005). The Unfolding of Bhopal Disaster. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries 18*, 205 – 208.
- Cooper, D. (2002) Safety culture: a model for understanding and quantifying a difficult concept. *Prof Safety, June 2002*, 30-36
- Cooper, M. D. (2000) Towards a model of safety culture. *Safety Science 36*, 111-136
- De la Cruz, C.; García, R.; Monroy, S.; De la Cruz, F.; Vázquez, J.; Cruz, J.M. (2000). Análisis de riesgos y procesos (ARP) Un esquema de mejora de la técnica “HaZop”. *Tecnol. Ciencia Ed. (IMI) 15*, 49 – 60
- De la Fuente Arias, M.E. (2004). Importantes controversias en torno a incidentes y accidentes nucleares. *Manual de Tecnología Nuclear para periodistas*, 24 – 33.
- Dulaimi, M. & Chin Kar Yin, K. (2009). Management perspective of the balanced scorecard to measure safety culture in construction projects in Singapore. *The international journal of construction management*, 13-25
- Fang D. & Wu H. (2013). Development of a safety culture interaction (SCI) model for construction projects. *Safety science 57*, 138-149.
- Freedman, P. (2003). “HAZOP” como metodología de análisis de riesgos. *Petrotecnia*, 60 – 64.
- Gabarrell, X. (2008). Seguridad Industrial. *Evaluación y prevención de riesgos Ambientales en Centroamerica*, 303 – 319.
- Gilkey D.P., Lopez del Puerto C., Keefe T., Bigelow P., Herron R., Rosecrance J. & Chen P. (2012). Comparative analysis of safety culture perceptions among homesafe managers and workers in residential construction. *Journal of construction engineering and management. ASCE*.
- Guldenmund, F. W. (2000) The nature of safety culture: a review of theory and research. *Safety Science 34*, 215-257.
- Hoffman M. & Fleming M. (2005). Chernobyl: La verdadera escala del accidente. *Comunicado de Prensa IAEA, OMS & UNDP*, 1 – 12.
- Homberger, E., Reggiani, G., Sambeth, J. & Wipf, H.K. (1979). The Seveso accident its nature extent and consequences. *The Annals of Occupational Hygiene 22*, 327 – 370.
- Mañas Lahoz, J.L. (1983). Las explosiones <<BLEVE>> (I). *FUEGO 88*, 15 – 16.
- Mañas Lahoz, J.L. (1983). Las explosiones <<BLEVE>> (II). *FUEGO 89*, 27 – 30.
- Molenaar K.R., Park J-II. & Washington S. (2009). Framework for measuring corporate safety culture and its impact on construction safety performance. *Journal of construction engineering and management. ASCE*.
- Spiegelberg-Planer, R. (2009). Una cuestión de grado. *Boletín del OIEA 51-1*, 46 – 49.
- Stanton, N; Calendon, A. I. (2000) Perspectives on safety culture. *Safety Science 34*, 193-214.
- Stinton, H. (1978). The Spanish Camp Site Disaster. *Fire 71*, 880, 238 – 240.
- Stinton, H. (1983). Spanish Camp Site Disaster. *Journal of Hazardous Materials 7*, 393 – 401.



## 7.2 LEGISLACIÓN

- RD 119/2005, modifica al RD 1254/1999. Medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. BOE nº 36, 4 de Febrero de 2005.
- RD 1254/1999 Medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. BOE nº 172, de 20 de Julio de 1999. Derogada.
- RD 1999/1979 Texto del Reglamento nacional de transporte de mercancías peligrosas por carretera (TPC). BOE nº 201, 22 de Agosto de 1979. (derogada en parte)
- RD 2115/1998 Sobre transporte de mercancías peligrosas. BOE nº 248, 16 de Octubre de 1998. (derogada)
- RD 551/2006 Regulación de las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español. BOE nº 113, 12 de Mayo de 2006. Revisión vigente del 13 de Octubre del 2010.
- RD 74/1992 Reglamento nacional de transporte de mercancías peligrosas por carretera (TPC). BOE nº 46, 22 de Febrero de 1992. (derogada)
- RD 948/2005, modifica al RD 1254/1999. Medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. BOE nº 181, 29 de Julio de 2005.

## 7.3 FUENTES ELECTRÓNICAS

- Anónimo (American Nuclear Society), (2011). Chernobyl: 25 Years Later. [http://www.ans.org/pi/resources/sptopics/chernobyl/docs/chernoby\\_25years.pdf](http://www.ans.org/pi/resources/sptopics/chernobyl/docs/chernoby_25years.pdf) Disponible 31/03/2014
- Aparicio Florido, J.A. (2001) Seveso, 1976. *IAEM*. <http://www.iaem.es/index.php/documentos/45-seveso-1976> Disponible 6/09/2014
- Aparicio Florido, J.A. (2002) La catástrofe química de Bhopal. *IAEM*. <http://www.iaem.es/index.php/documentos/46-la-catastrofe-quimica-de-bhopal> Disponible 6/09/2014
- Castro, G.D. (2000). Bhopal, un alerta al uso de sustancias químicas peligrosas en escala industrial. *Centro de Investigaciones Toxicológicas CEITOX*. <http://www.bvsde.paho.org/bvstox/e/fulltext/bhopal/bhopal.pdf> Disponible 15/10/2014

## 7.4 BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Anónimo (Work Environment Council). Preventing Chemical Accidents. Introduction to Process Hazard Analysis.
- Beninson, D.; Birkhofer, A.; Chatterjee, S.K.; Domaratzki, Z.; Edmondson, B.; González-Gómez, E.; Kouts, H.J.C.; Lapedcki, W.; Li Deping; Sato, K.; Sidorenko, V.A.; Tanguy, P.; Vuorinen, A.P.; Abagyan, A.A.; Brown, R.A.; Cogné, F.; Guppy, J.; Shteynberg ,N.; Young, J.D.; Burlakov, E.V.; Cherkashov, J.M.; Naidenov, M. & Petrov, V. (1992). *INSAG-7 The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1*
- Bowonder, B. & Linstone, H.A. (1987). Notes on the Bhopal Accident: Risk Analysis and Multiple Perspectives. *Technological Forecasting and Social Change* 32, 183 – 202.

- Castañeda, E. (2001). Evaluación de riesgos de proceso en instalaciones industriales. *Promotor Suratep*
- COMAH (2010). Major Accidents Notified to European Commission.
- De la Fuente Arias, M.E. (2004). *Manual de Tecnología Nuclear para periodistas*.
- Dunjón, J.; Fthenarkis, V.M.; Darbra, R.M.; Vílchez, J.A.; Arnaldos, J. (2011). Conducting “HAZOP” s in continuous chemical processes Part 1. *Process safety and environmental protection* 89, 214 – 223.
- Ferrer Marquez, A. (2006). Afectación y Cumplimiento de la normativa de Seveso en la industria española. *EcolInformas ISTAS*.
- GreenPeace, varios autores (2006). *The Chernobyl Catastrophe: Consequences on Human Health*.
- IAEA & OECD/NEA (2008). *INES: The International Nuclear and Radiological Event Scale. User’s Manual 2008 Edition (Revised)*
- Ministerio del Interior (2012) Comparativa entre directive 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de Julio de 2012 relativa al control de los Riesgos Inherentes a los Accidentes Graves en los que intervengan Sustancias Peligrosas y por la que se modifica y ulteriormente deroga la Directiva 96/82/CE
- OECD & NEA (2002). *Chernobyl: Assessment of Radiological and Health Impacts. 2002 Update of Chernobyl: Ten Years On*.
- Rubio, J.C. (2004) Métodos de evaluación de riesgos. *Ediciones Diaz de Santos*
- Santamaría Ramiro, J.M. (1998). Análisis y reducción de los riesgos en la industria química. *Fundación MAFRE*.
- Varios autores (1985). *The control of industrial major accidents hazards regulations*.
- Varios autores (2005). *Chernobyl’s Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine*.
- Varios autores (2008). *Chernobyl: Looking Back to Go Forward*.

## ANEXO I: TRADUCCIÓN AL INGLÉS

### 8. CHAPTER III: MAJOR ACCIDENTS IN NUCLEAR SECTOR

#### 8.1 CHERNOBYL

##### 8.1.1 HISTORY

###### 8.1.1.1 Description

*Nuclear Power Plant Vladímir Ilich Lenin, Chernobyl (URSS). 26<sup>th</sup> April 1986, 01:23h.*

The dawn of 26<sup>th</sup> April 1986, at 1.24h, (only 7 years after the Three Mile Island's accident), in the Chernobyl Nuclear Power Plant, located 130 kilometres North of Kiev (Ukraine's capital and back then with 2,5 million of habitants), occurred the biggest nuclear major accident of human's history, classified as a level 7 on the INES<sup>15</sup> scale, (the highest level of all, considered as "major accident").

Chernobyl Nuclear Power Plant had four of the 15 operating nuclear reactors RBMK-1000<sup>16</sup> type in the former Soviet Union. Units 1 and 2 were built between 1970 and 1977. Units 3 and 4, both identical, started its operation on 1983. Another two reactors were under construction when the accident happened. Because of their power, RBMK reactors stood for over the half of the nuclear power that USSR had at the time, which represented a 5% of their electric power. RBMK units were generally built in pairs, placed oppositely and assembled in the same building. That was the case of unit 4 (unit 3's twin), both sharing the electric grid (Anonymous, 1986).

Main design features of Chernobyl's reactor, shared with RBMK reactors, were:

- 1.609 vertical channels housing fuel and coolant.
- 190 tonnes of fuel in a bundle shape of "cylindrical fuel elements" made of slightly-enriched uranium oxide (2%<sup>235</sup>U), enclosed in zircaloy tubes and arranged in 1.609 power pipes.
- 12 meters of diameter and 7 meters high containing the core.

<sup>15</sup> According to Spiegelberg-Planer (2009) INES scale (International Nuclear Event Scale) is a tool used worldwide, created in 1990 by international experts convened by IAEA and OECD/NEA together to communicate to the population, from an agreed judgment, the importance of these nuclear and/or radiological events. It answers the need to inform to the population about the importance of all the events related to the use of radioactive materials and radiation. INES scale was reviewed in 2008 including new directives for the Member States of the IAEA.

INES scales comprise 7 levels. The lowest ones (1-3) are called "incidents" and the highest ones (4-7) are called "accidents". The ones with no safety relevance are classified as "Level 0 or Below the scale".

A sentence is assigned for each level to express the severity of the events. From level 1 to 7, they are called: Anomaly, Incident, Serious Incident, Accident with local consequences, Accident with wider consequences, Serious Accident and Major Accident.

<sup>16</sup> Calvo Diez (1997) briefly explains that RBMK (Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalny) reactors or LWGR (Light Water Graphite Reactor) reactors, have a nominal power of 3200 MW and an electric power of 1000 MW. They are boiling water reactors moderated by graphite elements. They contain 1661 pressurized pipes assembled vertically and in parallel, housing fuel assemblies. The volume of water needed is supplied by six of the eight circulation pumps available. The two remaining pumps are in standby. The water-steam mix that comes from the top of the fuel channels flows into four horizontal steam drums, provided of moisture separators. The dried vapor activates two turbo generators of 500 MWe. To control the level of water, the feedwater flows directly into the steam drums, creating a bypass in the reactor.

- 211 neutron absorbent solid boron carbide control making up the control and protection system of the reactor. This system guarantees the following: automatic power level maintenance, power reduction via automatic rods and controllers about the signal base that indicate failure, interruption of the chain reaction (SCRAM<sup>17</sup>), a compensation of the reactivity fluctuation and at last, control of the distribution of the power density on the whole core; moreover, the control and protection system of the reactor has two more subsystems of control, which work using the signals of the failure detectors located inside of the core: the Automatic local control System and the local protection system.
- 30 neutron absorbent boron carbide control rods are the minimum allowable according to reactor's operation design.
- 4 circulating water turbo generator pumps, one of them remaining in standby condition.

This part of Ukraine's capital was described as a wooded landscape of Belarus with a low population density. About 3 Km from the reactor, in a new city known as Pripyat, lived about 49.000 people. The old city of Chernobyl, with 12.500 people of population, was about 15 Km southeast from the nuclear complex. When the accident happened, population in a radius of 30 Km around the nuclear power plant was between 115.000 and 135.000 inhabitants.

### **8.1.2 ACCIDENT DESCRIPTION**

#### **8.1.2.1 Hypothesis and Causes**

It's very likely that economic, politics and social situation at the time in the Soviet Union were one of the causes of the accident to a greater or lesser extent. What it's for sure is that the previous items intervened in the subsequent crisis after the accident and in the management of the actuation times and the information provided. Although the accident happened because of a human error, soviet's social and political factors were decisive. The absence of a democratic structure implied the inexistence of a social demand for "safety culture". However, what is difficult to assure is if the USSR was directly involved in the accident. Even today, it still remains unknown.

On their first report — INSAG-1 (published on 1986) — IAEA<sup>18</sup> pointed at Operators as the main cause, taking importance away from the plant's location or the weaknesses in the design. However, on INSAG-7 (Beninson et al., 1992), IAEA suggested that the accident was a combination of both, emphasising the faults in the design.

Additionally, in 1986 Nuclear Regulatory Agencies did not exist, so nobody could conduct the appropriate inspections and evaluations concerning the safety of the nuclear power plants. Concerning the technical aspects of the power plants, as De la Fuente Arias (2004) claims, RBMK reactors did not have a containment building to hold the core and its primary circuit, in

---

<sup>17</sup> El SCRAM or automatic shutdown, Calvo Diez (1997) explains that it occurs when: the readings that indicate the power, the level of the water on the divider or pressure exceed the maximum allowed; when there's a total loss of electric energy; when two turbo-generators stop at the same time or two principal circulation pumps; when there's a drop on more than one factor of the volume of supplying water; when a major breakdown on the circuit pipes occurs.

<sup>18</sup> IAEA (International Atomic Energy Agency) or OIEA (Organismo Internacional Energía Atómica).

contrast to occidental reactors which had a containment building made of concrete and reinforced steel.

Anyway, the experiment conducted in the reactor number 4 and the way it was performed was the main cause of the accident. On 25<sup>th</sup> April 1986, the reactor number 4 had scheduled a maintenance shutdown<sup>19</sup>. Engineers planned it in order to make a test with no precedents in the reactor’s turbo generator number 8<sup>20</sup>. They wanted to use the mechanical energy from the rotor of one of the turbo generators, with no steam supply, to maintain the electric supply to the reactor during a loss of power.

Apparently, Calvo Diez (1997) discovered on his analysis that similar tests had already been conducted, where they could determine that the loss power was very high. Concerning this test, soviet authorities confirmed on their report to IAEA that the test wasn’t properly prepared nor previously approved. Nevertheless, they also confirmed that that kind of tests “*would not be forbidden in an operating reactor*”. Moreover, ignoring all the safety measures the emergency core cooling system (ECCS) was disconnected, meaning that the safe operation of the reactor was compromised during the test. However, there is no record of any additional safety measure. In any case, the absence of ECCS was not a direct cause of the accident, but it would have been very useful on the events following the accident. Therefore, the author concludes that the absence of ECCS was decisive for the later consequences and damages.

It must be noted that the engineers who conducted the test were not prepared for it and they did not know, or they did ignore, the risks. The dangerous deviations from the original test program were an important cause of the accident. Perhaps, the operators were scared of retaliations in case of ignoring Moscow’s demands, which forced them to deactivate the engineered safeguard systems of reactor number 4.

In conclusion, although the indirect causes were related to political-social-economic factors, as quoted by De la Fuente Arias (2004), on the analysis report carried out by Calvo Diez (1997), where he analyzes the technical aspects, he quotes six direct causes of the accident:

CAUSE	CONSEQUENCE
Reduction of the shutdown margin below the safety limits	<i>Ineffective reactor control system</i>
Reduction of the power below the minimum allowed level	<i>Difficulty in controlling the reactor</i>
	<i>Positive power coefficient of reactivity. It implies that the reactor’s power changes rapidly with the change of coolant’s temperature.</i>
	<i>High positive void coefficient of reactivity</i>
Connection of all circulating water pumps	<i>Excess of allowed water flow</i>
	<i>Reduction in the void creation in the reactor’s core</i>

<sup>19</sup> Maintenance shutdown is necessary on every power station for refuelling operations. However, as De la Fuente Arias (2004) explains, that is not the case of the RBMK reactors because its design allows the refuelling operations while the reactor is operating.

<sup>20</sup> Calvo Diez (1997) quotes in his study: “*Each unit is connected to two different turbines. Unit number 4 had turbo generators number 7 and number 8*”

	<i>Coolant's temperature close to saturation temperature</i>
<i>Continuation of Table 8.1 "Causes of Chernobyl's accident"</i>	
<b>CAUSE</b>	<b>CONSEQUENCE</b>
Disconnection of turbo generators trip permissive	<i>Loss of AUTOMATIC SCRAM due to turbine trip signal</i>
Bypass of reactor's protection system base on water level and the steam pressure in the core	<i>Loss of the reactor's protection system due to drastic change of thermal parameters.</i>
Disconnection of the emergency core cooling system	<i>According to INSAG, loss of mitigation capability of the accident,</i>

*Table 8.1 Causes of Chernobyl's accident. Source: Calvo Diez (1997), Anonymous (2009) and De la Fuente (2004)*

### **8.1.2.2 Reconstruction of the Accident**

There was a sequence of events prior to the accident that were decisive for the later tragedy. The day before the accident, the operators, following orders from the central offices of Moscow, decreased the thermal power of the reactor from 3.200 MW to 1.600 MW, in order to conduct a test.

According to the report presented by USSR's scientists about the Chernobyl's accident and its consequences, the sequence of events was listed in the first INSAG-1 report during their meeting with the IAEA (*International Atomic Energy Agency*) on August 1986, and in 1992 it was reviewed during the international conference held in Vienna. The result of the conference was the INSAG-7 report (Beninson et al., 1992). On this report the sequence of the accident is described following a time scale. The sequence of the accident is showed below:

#### **25 April 1986**

- 01.00h.** Power reduction (from 3.200 MW to 1.600 MW) started at the reactor number 4, in order to conduct a test in the turbo generator number 8 before the maintenance shutdown. Power reduction was gradual to prevent the xenon poisoning effect.
- 13.05h.** The turbo generator number 7 was shut down when the reactor was being operated at half power (1.600 MW). The electric power required is transferred by turbo generator number 8, which had 4 pumps: 2 main circulation pumps and 2 main supplying pumps. At this moment, the turbo generator number 8 was ready to conduct the test since the electric supply depended on it.
- 14.00h.** The emergency core cooling system (ECCS) was blocked, with a bypass to avoid an undesired actuation of the SCRAM. The power drop was stopped to avoid the increase in xenon inventory. This procedure against safety was followed as planned in the program. The test was interrupted because of demands given by Moscow in order to keep supplying electricity. The power plant kept operating at a half power, using the turbo-generator number 8 until 23.10h of 25<sup>th</sup> April.

**23.10h.** The test required a power level between 700 MW – 1.000 MW in order to conduct the stop with inertial braking of the generator.

**26 April 1986**

**00.28h.** However, an operator's error caused an undesired lowering of the power level. When the control was transferred from local to automatic regulation system, a correct power level was not established. The power dropped to 30 MW.

**01.00h.** The power was then increased up to 200 MW, but the xenon poisoning effect was too high. Operators decided to act outside of the program scheduled. They removed more control rods than the allowed to balance out reactor's power. The rise of power up to 700 MW was counteracted by the absence of enough positive reactivity. At that moment operators were violating safety procedures: reactor power was under the minimum allowed power level and there was a lack of reactivity margin required. However, they continued with the test.

**01.03h.** The following 4 minutes, the fourth main cooling pump was switched on. Given the low power level and the sudden increase of cooling water flow, the temperature decreased until the reactor could not produce steam, increasing the negative reactivity. The operators were forced to remove more control rods from the core. At that precise moment, the flow of the other pumps exceeded its allowed limit, putting in risk the pumps themselves due to vibration.

**01.19h.** An operator increased feed-water flow, while he tried to maintain stable the other parameters. The operator blocked the emergency shutdown signals associated with level and pressure of water in the steam drum. If it weren't deactivated at that moment, the low steam pressure would have caused an emergency shutdown.

**01.19h. 30"** Feed-water's flow trebled the equilibrium setpoint. The automatic control rods went up till the upper tie plate. The operators withdrew the manual control rods to balance out the reactivity.

**01.19h. 58"** To increase steam's pressure, they deactivated the automatic trip system.

**01.21h. 50"** An operator lowered drastically the feed-water flow, since it quadruplicated the equilibrium setpoint.

**01.22h. 10"** Steam's quality improved considerably allowing the automatic control rods to go down to stabilising steam levels in the steam drum.

**01.22h. 30"** The operator could not stop the drop in feed-water's level, because of the rough control system. The water flow dropped below two thirds of equilibrium setpoint. The reactivity changed to positive, new voids started to generate and the control rods went down to compensate the power increase. At that moment an operator observed on instrumentation that the reactivity was 50% below the allowed. Nonetheless, he did not stop the test.

- 01.22h. 45"** Feed-water flow stabilised and continued improving steam's quality, allowing the rise of pressure.
- 01.23h. 4"** At that moment, the reactor's situation was completely different from the expected conditions in the testing program. However, the operators, who were aware of dangerous indications that suggested to shut down the reactor immediately, decided to start the experiment. They closed the emergency stop valves from two of the turbo-generator, deactivating the last defence in depth: the SCRAM, the only system capable of saving the reactor. The power was 200 MW.
- 01.23h. 10"** A group of automatic control rods were withdrawn due to the lowering of voids because of to the increase of pressure.
- 01.23h. 21"** Barely 10 seconds later, another 2 groups of automatic control rods started their insertion due to a drastic reduction of the coolant flow. More positive reactivity was added to the system and the control rods tried to compensate the excess.
- 01.23h. 31"** The total reactivity continued to rise, increasing the reactor's power at a rate that the control rods weren't able to compensate the positive reactivity. As a consequence, the positive power coefficient caused instabilities in the nuclear chain reaction.
- 01.23h. 40"** Only 20 seconds after the start of the catastrophic experiment, the operators realised of their mistakes. They pressed the "AZ – 5" switch to stop the reactor by letting all the control rods to enter and stopping the chain reaction. However, it apparently did not work. They felt some tremors followed by a deafening sound coming from the reactor. Operators observed that the control rods were not completely inserted. They interrupted the electric current of the system to let the control rods enter by the force of gravity. A second explosion was heard.
- 01.23h. 43"** High power alarms activated. The emergency protection system was not able to stop the sudden acceleration of the nuclear reaction, resulting in an exponential increase of fuel temperature causing a heat transfer crisis. The reactivity exceeded its critical fast neutrons level and according to soviet calculations the power pike exceeded the level of nominal power by 100 times.
- 01.24h.** This was the estimated time of the explosions. The energy created in the fuel because of the increase of power disintegrated the fuel to tiny fragments interrupting the nuclear chain reaction. The high temperature tiny fragments made contact with the water increasing considerably its pressure and releasing all of the energy. The upper reactor slab, 1.000 tones weigh, burst out cutting off the fuel channels and destroying the concrete walls of the building. The refuelling machine fell into reactor's core. The whole upper part of the reactor was destroyed. Hot fragments of reactor's number 4 core were ejected to the air causing new fires, and the graphite started to burn. More than 30 fires started along the whole reactor's building and the outside,



spreading through the ceiling materials and other combustible material of plant.

The accident released over 50 million Curie of radioactive particles, including iodine. That represents about the 4% of the total core's inventory. The accident caused the evacuation of 135.000 people within a radius of 30 Km of the plant. There was a huge radioactive contamination around the plant and also in the evacuated zone. Radioactive dust was scattered along other countries.

To Calvo Diez (1997) *“Chernobyl accepted to do that test because it was a modern power plant with the appropriate safety systems, maybe the ones that were deactivated.”*

### **8.1.3 CONSEQUENCES**

#### **8.1.3.1 Material and personal damages**

The two explosions occurred in the reactor number 4 released fuel to the environment, fragmented components of the core and part of the structure, and also a burning rain of highly radioactive waste. A big plume of smoke conformed by graphite, radioactive fission products and some other core debris went beyond 1 Km carried by the winds. There was a deposition of the heaviest radioactive products around the plant, while the lightest ones, such as noble gases and other fission products, were scattered in the air and went northwest. The fire started at Unit number 4 increased its intensity generating big clouds of steam and dust, leaking through the ceiling of its twin unit number 3. Due to the accumulated heat in the graphite, the fire's intensity was the responsible of the massive spreading of the radionuclide to the atmosphere. Ten days after the explosion (9<sup>th</sup> May 1986) the graphite fires were finally extinguished. However, the emission of other contaminant products lasted for 20 days.

Most of the population from the northern hemisphere was exposed to the radiation released during Chernobyl's accident. Nowadays, thanks to the researches done during the last 30 years (OECD & NEA, 2002), the radiation dose received by the population has been estimated. The greater doses were caused by the ingestion of iodine isotopes (<sup>131</sup>I), causing thyroid cancer, mainly in children. Other external radiation doses were caused by caesium isotopes (<sup>134</sup>Cs y <sup>137</sup>Cs)

As a result of the considered to be the largest nuclear accident of history — having in mind Fukushima's accident on 2011 and considering the differences in casualties —, it can be say that there were various consequences, among others:

- Physical and psychological consequences for the population
- Environmental consequences
- Economical and political consequences
- Consequences for the nuclear industry

#### **8.1.3.1.1 Consequences for the public health**

There was a huge impact on population's health. According to the international conference held in Vienna on 6 and 7 September 2005 (Hoffman & Fleming, 2005), it has been

estimated that the amount of deaths due to the accident will increase up to 4.000 people. These figures correspond with the 50 deceased by ARS<sup>21</sup>, 10 deceased because of thyroid cancer and about 3.940 people - among the 200.000 workers who helped with the cleaning, 116.000 people that were evacuated and 270.000 residents that lived in contaminated areas- who will perish due to cancer and leukaemia in the future. Nonetheless, the impact of the real deaths (60 deaths up to now) has been much higher for the population than the figures show. That is caused due to the high number of natural deaths in the affected areas and the general belief that every health problem is because of Chernobyl's nuclear accident.

<b>HEALTH CONSEQUENCES</b>				
<b>AFFECTED</b>	<b>OBSERVATIONS</b>	<b>DOSE RECIEVED</b>	<b>DECEASED</b>	<b>LIST OF DECEASED</b>
<b>237 cases of ARS (Acute Radiation Syndrome)</b>	134 diagnostic confirmed	10.000 mSv <sup>22</sup>	31 deceased during the accident	28 fire fighters and operators because of the high radiation doses received.
				3 deceased by other causes
			14 more deceased along 10 years after the accident	
<b>600.000 to 800.000 people</b>	The liquidators who worked in the cleaning activities: special workers, volunteers, fire fighters, soldiers and others.	<i>Around 400 people received radiations doses of 10.000 mSv Around 200.000 liquidators received doses from 15 to 170 mSv.</i>	They have died through the years	
<b>116.000 people</b>	Evacuated habitants few days after the accident as a protection measure, setting the exclusion zone at 30 km of the nuclear power plant.	<i>A 10% received 50 mSv and a 5% 100 mSv, with an average of 15 mSv.</i>		
	565 people with thyroid cancer, kids between 0 and 14 years and some adults who lived in the most contaminated area. 208 cases in Ukraine 333 cases in Belarus 24 cases in Russian federation	70 mSv ~ 1000 mSV	10 deceased	
<b>270.000 people who lived in contaminated areas of the Soviet Union</b>	People drank milk containing iodine-131 during the first weeks after the accident. 3 years after the accident they received high doses of caesium-137, an average of 40 mSv/year.	5 ~ 250 mSv/year		
<b>People from outside the Soviet Union</b>	Civil population from other countries of the northern hemisphere received radiation doses from iodine and caesium isotopes.	<i>Europe 0.005 ~ 0.5 mSv Asia 0.005 ~ 0.1 mSv America ~ 0.001 mSv</i>		

Table 8.2 radiation doses and deceased. Extracted of OECD & NEA (2002) and De la Fuente (2004)

The statistics showed in Table 8.2 differ completely from the data quoted by Greenpeace (2006) in its report about the accident: 200.000 deaths between 1990 and 2004 only in

<sup>21</sup> Acute Radiation Syndrome

<sup>22</sup> mSv (miliSievert). The Sievert (Sv) is the unit to calculate the radiation absorbed by living tissue, corrected with the biological effects induced. In the EU, the Directive 96/29/EURATOM limits the maximum permissible dose to 50 mSv/year and 100 mSv/5year.

Russia, Ukraine and Belarus. On this report Greenpeace stated that on the next 70 years the global population will be affected by all kinds of cancer with a mortality of 6.000.000 people.

Main diseases were caused by the ingestion of contaminated food. People living in the exclusion area were eating food that was exposed to iodine. As a consequence, children who drank fresh milk from cows that grazed contaminated food developed thyroid cancer.

There is no proof to confirm a drop in the birth rate or an increase in the number of mutations. However, it is true that more congenital deformations have been detected in Belarus, despite it seems to be directly related to an increase of the notifications because of the fear of having cancer related diseases and it has nothing to do with radiation from Chernobyl's accident.

On the other hand, the hardest consequence to determine among health consequences is the psychologist one. There is trauma because of the evacuation that derived into deep psychological problems and/or mental problems. Illnesses like stress, depression, physical symptoms without medical reasons or anxiety are some of the notified cases along the years. Experts from the meeting held in Vienna on 2005 (Hoffman & Fleming, 2005) stated that referring to the affected people as "victims" and not "survivors" made them fragile and vulnerable. People excessively cautious and worried about their health and their future tend to live in fear. Experts know that a huge part of the affected population think that their lives are affected by the radiation, that they will develop cancer and therefore their lifespan is lower compared to another citizen who was not affected by the accident.

8.1.3.1.2 Consequences for the environment

During the first 10 days, while the graphite's fire caused a 1.000 meters height plume of smoke, the emission of radio-nuclide to the environment was not under control and the wind carried them all over the northern hemisphere. More than 200.000 Km<sup>2</sup> from Europe were contaminated. The sedimentation of the contaminants took place due to rainfalls.

ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES I				
NAME	SYMBOL	AREA*	PERIOD <sup>23</sup>	OBSERVATIONS
Strontium Isotopes	<sup>90</sup> Sr	100 Km <sup>2</sup>	45 ~90 years	Most of them were settled down in a radius of 100Km of the plant.
Plutonium Isotopes	<sup>238</sup> Pu; <sup>239</sup> Pu; <sup>240</sup> Pu; <sup>241</sup> Pu		+1000 years	70 years after the accident the decay of the <sup>241</sup> Pu will build up <sup>241</sup> Am.
Iodine Isotopes	<sup>131</sup> I	200.000Km <sup>2</sup>	8.04 days	Completely decayed.
Caesium Isotopes	<sup>134</sup> Cs; <sup>137</sup> Cs	200.000Km <sup>2</sup>	30 years	The presence of Caesium is still a problem nowadays.

<sup>23</sup> Decay period: amount of time required for a radio-nuclide to fall to half its value as measured at the beginning of the time period

Continuation of Table 8.3 "Isotopes settled during the accident"				
NAME	SYMBOL	AREA*	PERIOD	OBSERVATIONS
Americium Isotopes	<sup>241</sup> Am	--	+1000 years	The contribution to human exposure is low.
* Affected area				

Table 8.3 Isotopes settled during the accident (Own source)

ENVIRONMENT CONSEQUENCES II	
COUNTRIES	RELEASE OF RADIOACTIVITY DEPOSITED IN EUROPE %
Belarus	33.5
Russia	23.9
Ukraine	20
Switzerland	4.4
Finland	4.3
Bulgary	2.8
Austria	2.7
Norway	2.3
Romania	2
Germany	1.1
Other	3

Table 8.4 percentage of the radioactivity released during the accident and deposited in Europe. Source: De la Fuente, (2004)

Urban zones like Prypiat (located only 2 Km from the crippled reactor) were the most contaminated. However, the inclement weather and agriculture activities reduced the contamination at the surface because of the displacement of radio-nuclides to the underground. The soil untouched by humans is still highly contaminated.

Regarding the contamination of agricultural zones, radioactive iodine (<sup>131</sup>I) became the greatest threat for people's health because of contaminated milk. High levels of iodine were found in some parts of the USSR and Southern Europe. However, due to its low decay period (8.02 days), almost all the iodine disappeared after 3 weeks. Despite the fact that iodine was the direct cause of thyroid cancer in children; nowadays the real problem is the radioactive caesium (<sup>137</sup>Cs) which is still present in animals and vegetables. Due to food ingestion, radioactive caesium will be the main way to internal radiation exposure.

Regarding forest contamination, the animals and vegetation absorbed high amounts of radioactive caesium. Nowadays, the levels remain high on mushrooms, berries and hunting. It is expected that the contamination of the forest zones will decrease due to radioactive decay and because of the displacement of radio-nuclides to the underground, the same way it happened in lands for agricultural use. Authorities from different countries forbid the hunting according to OMS (Hoffman & Fleming, 2005).

Regarding the aquifers, the contamination decreased drastically thanks to water's dilution, radioactive decay and the absorption of the contaminants by the sediments and the soil of the basins. However, high levels of caesium were found in fish from Germany and Scandinavia. Due to the accumulation of caesium on fish bone, not on the flesh, there were

minor consequences for public's health. Having said that, the fact is those levels of radioactive caesium in ponds will remain high for decades.

The more effective treatments for the environment were the use of the agricultural lands. The removal of contaminated grazing, treating the soil with chemicals to catch the caesium, was very useful in the decontamination activities. However, the 90's crisis caused a reduction in the aids for the use of the treatments. At that point, there were restrictions in hunting and agriculture. Nonetheless, families with lower incomes often broke the law, exposing themselves to high levels of radiation.

Paradoxically, as quoted by Chernobyl's Forum in its report written between 2003 and 2005 (Hoffman & Fleming, 2005), the banning of agricultural activities in the exclusion zone allowed the proliferation of the flora and fauna, creating then an "*exceptional sanctuary of a great biodiversity*".

#### 8.1.3.1.3 Consequences for the economy

Since at the moment of the accident the politics of the Soviet Union were different from the actual ones, experts find it very hard to calculate the real costs of the accident and decontamination tasks. The inflation and the dissolution of the Soviet Union were also key factors. The calculations done in the 90s estimated that the costs were about millions of dollars of magnitude. Those estimations include direct damages, expenses related to decontamination tasks, the relocation of the evacuated, health inspections and radiation surveillance, as well as indirect losses caused by the restraint of production, banning of the agricultural production, the additional expenses that came from the shutdown of Belarus nuclear power program and the increase of the energy's cost.

The IAEA report, considers the consequences on local economy, being the agriculture the most affected sector with more than 1.200.000 hectares of lost production and restricted use. Palliative measures have made possible to maintain food production, but it's been hard to commercialize it due to its origin, resulting in a decrease of local incomes. These local consequences, together with the already quoted dissolution of the Soviet Union and its socioeconomic consequences, caused damage in the economy, rising up the unemployment rate and poverty and lowering the standard of living.

#### 8.1.3.1.4 Consequences for the nuclear industry

There were a lot of consequences and lessons learned from Chernobyl, in terms of dealing with major accidents and the way to communicate them to the people. Citizens also changed their point of view regarding nuclear power. Nowadays, the memory is still present. However, lots of measures were taken to reduce the effect of the crisis.

It has to be said that Chernobyl's nuclear power plant wasn't used as a reference for the rest of the European nuclear plants, so the emergency plans derived from it could not be applied to the rest of reactor designs. However, as a result of the accident it is possible to distinguish four key factors that were determinant through the years for the nuclear industry, better known as "**Lessons Learned**".

- Operational Aspects: based on the improvements in plant procedures taking into account the human, technical and organizational factors.
- Technical and scientific aspects: based on improved models of the environment.
- INEX program: based on the members' recommendations in the management of a nuclear accident.
- Psychosocial programs: European aids for the restoration.

Moreover, the accident had as consequence that many organizations got completely involved in the development of nuclear safety, but it also created new organizations, economic background, researches and specialized recommendations done by scientists in all fields.

Next there are listed some of the organizations, among others:

### SIP

Creation of SIP (The Chernobyl Shelter Implementation Plan) in 1986 to provide a step by step strategy to the restoration of the damage.

<http://www.ebrd.com/pages/sector/nuclearsafety/chernobyl-sip.shtml>

### CSF

CSF (Chernobyl Shelter Foundation) was formed in 1997 promoted by EBRD in order to help Ukraine to build a new sarcophagus over the destroyed reactor number 4.

<http://www.ebrd.com/pages/sector/nuclearsafety/chernobyl-shelter-fund.shtml>

### EBRD

The EBRD (European Bank for Reconstruction and Development) has been helping Ukraine since it was invited by them and by the G7 to participate in the management of funds for the reconstruction.

<http://www.ebrd.com/pages/sector/nuclearsafety/chernobyl.shtml>

### TACIS & PHARE

The helping program TACIS (1989) and PHARE (1990) were two income sources for the reconstruction that was managed by EBRD.

### ICRP

The ICRP (International Commission on Radiological Protection) created in 1928, developed recommendations for the intervention in case of an accident as a result of what happened in Chernobyl.

<http://www.journals.elsevierhealth.com/periodicals/chernobyl/home>

### ECURIE

ECURIE (European Community Urgent Radiological Information Exchange) was created after Chernobyl's accident, in 1986, for a quick report of the nuclear disasters in the member states of the European Union.

<http://www.ensreg.eu/nuclear-safety/prevention-accidents/emergency-arrangements-at-eu-level>

### IAEA (ó OIEA)

IAEA (International Atomic Energy Agency) was created in 1957 and participated actively in the management of the accident and later interventions. This organization created INES (International Nuclear and Radiological Event Scale) scale in 1990 in order to explain to the population the severity of nuclear emergencies.

<http://www.iaea.org/>

<https://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/ines.pdf>

### CSN

The CSN (Consejo de Seguridad Nuclear) of Spain or the NRC (Nuclear Regulatory Commission) of USA, forced their countries to check all their nuclear plants.

<http://www.csn.es/index.php/es/>

<http://www.nrc.gov/>

### OCDE/NEA

The OECD/NEA (Organisation for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency) cooperated with the IAEA in the creation of the INES scale, and in the development new directives and recommendations for the restoration of Chernobyl.

<http://www.oecd-nea.org/>

### WHO

WHO (World Health Organization) and FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) also participated in the development of health measures, creating the IPHECA (International Project on Health Effects of Chernobyl Accident), for the follow-up and study of the health consequences of the disaster, as well as to support development and recovery national programs. WHO also bought medical equipment for the affected countries (Belarus, Russian Federation y Ukraine).

[http://www.who.int/ionizing\\_radiation/research/chernobyl/en/](http://www.who.int/ionizing_radiation/research/chernobyl/en/)

### INSAG

INSAG (International Nuclear Safety Group) wrote their first report giving recommendations and comments related to nuclear safety in the conference held in Vienna in 1986. This report was called INSAG-1 and was based on Chernobyl's accident. It was reviewed and published as INSAG-7.

<http://www-ns.iaea.org/committees/insag.asp>

### WANO

WANO (World Association of Nuclear Operators) was created in 1986 after the accident of the Reactor number 4 in order to promote the cooperation within the nuclear industry.

## **8.2 IMPACT ON OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY PREVENTION**

### **8.2.1 SAFETY CULTURE AND CLIMATE**

#### **8.2.1.1 Safety Culture**

Chernobyl's accident officially introduced the concept of "*Safety Culture*" through the IAEA's report (published for the first time on 1986 and reviewed by Beninson et al. in 1992), where it was pointed out that one of the causes of the accident was the organizational culture of the nuclear plant.

The accident opened a discussion about this term and some experts started to discuss about its importance for the safety in the companies.

However, between 70's and 80's a concept called *Organizational culture and climate* concerning the organizational matters of a company, already existed. Zohar (1980) wrote some surveys in order to find the worker's perceptions about their organization and their perspectives. The purpose was to describe the kind of organizational climate of the companies and to observe its implications on the workers.

Some authors tried to define this new concept along the years, some of them mixing the concepts "culture" and "climate". It is still unclear the difference between them. There is not a clear definition for safety culture or climate as well. Next is shown a series of definitions depending on the authors:

<b>AUTHORS</b>	<b>DEFINITION</b>
Cox and Cox (1991)	<i>"Safety cultures reflect the attitudes, beliefs, perceptions, and criteria that employees share in respect to safety."</i>
Pidgeon (1991)	<i>"The combination of beliefs, norms, attitudes, roles, and social and technical practices concerned with minimising the exposure of employees, managers, customers and members of the public to dangerous conditions."</i>



Continuation Table 8.5: "Safety Culture definitions"	
AUTHORS	DEFINITION
INSAG (1992)	<i>"Safety culture is a joint of characteristics and attitudes in organizations and individuals, which establishes that, as first and most important priority, nuclear safety issues receive the appropriate attention given its importance."</i>
Ostrom et al. (1993)	<i>"The concept that the organisation's beliefs and attitudes, manifested in actions, policies and procedures, affect the compliance with safety criteria"</i>
Lee (1996)	<i>"The safety culture of an organisation is the product of individual and group attitudes, perceptions, competencies and patterns of behaviour that determine the commitment, the style and the capability of an organisation to manage health and safety"</i>
Guldenmund (2000)	<i>"Those aspects of the organisational culture which will impact on attitudes and behaviours related to increasing or decreasing the risks"</i>
Hale (2000)	<i>"The attitudes, beliefs and perceptions shared by natural groups as defining norms and criteria, which determine how to act and react regarding the risks and its control systems"</i>
O'Brien (2000)	<i>"A set of shared attitudes, criteria, goals and practices that define the efforts done by a company in terms of safety"</i>

Table 8.5. Safety Culture definitions. Source: Guldenmund, (2000)

Lee's definition is the most complete and the most used definition because of its accuracy, according to Prevención Express (Anonymous, 2003).

Regarding this definition, it can be said that safety culture is the result of many interactions with a personal goal (psychology), work (behaviour) and organization (situational) (Cooper, 2000).

Cooper (2002) wrote that safety culture has to start with the commitment of the organization's direction, since their attitude affects directly to the behaviour of the rest of the organization. He gathered different goals that were published on various sources:

- Decrease in the number of accidents and its damages.
- To guarantee that safety matters receive the appropriate attention (IAEA).
- To guarantee that all the members from an organization, share the same ideas and believes about risks, accidents and diseases.
- To increase the amount of people who acts safely.
- To determine the capability of a safety program.

Additionally, there are some authors like Andrew Hopkins (2002) and Anonymous (2003) who note that different safety subcultures can exist, since every individual or small group of individuals, have their own culture. However, they share beliefs and criteria about safety.

**8.2.1.2 Safety Climate**

AUTHORS	DEFINITION
Zohar (1980)	<i>"A summary of molar perceptions that employees share about their work environments"</i>
Brown y Holmes (1986)	<i>"A set of perceptions or beliefs held by an individual and/or group about a particular entity"</i>

Continuation Table 8.6: "Safety Climate definitions"	
AUTHORS	DEFINITION
DeDobbeleer y Béland (1991)	<i>"Molar perceptions people have of their work environment"</i>
Cooper and Philips (1994)	<i>"Safety climate is concerned with the shared perceptions and beliefs that workers hold regarding safety in their work place"</i>
Niskanen (1994)	<i>"Safety climate refers to a set of attributes that can be perceived about particular organisations and which may be induced by the policies and practices that those organisations impose upon their workers and supervisors"</i>
Coyle et al. (1995)	<i>"The objective measure of attitudes and perceptions towards occupational health and safety issues"</i>
Cabrera et al. (1997)	<i>"The shared perceptions of members about their work environment and, to be precise, about the safety policies of their company"</i>
Williamson et al. (1997)	<i>"Safety climate is a summary concept that describes the ethics concerning safety in an organisation or a workplace, which is reflected in employees' beliefs about safety and it is used to predict the way employees behave with respect to safety"</i>
Flin et al. (2000)	<i>"Safety climate can be considered as a superficial feature of safety culture, which defines the attitudes and perceptions about workforce on a particular instant "</i>

Table 8.6. Safety climate definitions. Source: Guldenmund, (2000)

On his analysis about the definition of safety culture given by ACSNI, Cooper (2000) concludes that safety climate is a concept that emerges from human factors (psychological). Therefore, he considers that safety climate is included in the definition of safety culture.

### **8.2.1.3 Models**

Each definition has different variables. Some of them are repeated over the different definitions.

#### **8.2.1.2.1 Safety culture variables**

The most repeated variables are the ones related to "beliefs", "perceptions" and "attitudes" [Cox and Cox (1991), Pidgeon (1991), Ostrom et al. (1993), Lee (1996), Hale (2000), O'Brien (2000)]. Those concepts appear in 6 of the given definitions. "Organizational or individual" [INSAG (1991), Ostrom et al. (1993), Lee (1996), Hale (2000)]. Some of the definitions mention more specific variables like "norms" or "procedures" [Ostrom et al. (1993), Pidgeon (1991), Hale (2000)]. Concepts that need to be "shared" between the workers of an organization [O'Brien (2000), Cox and Cox (1991), Hale (2000)].

However terms like "risk" are only mentioned by two authors [Pidgeon (1991), Hale (2000)]. Only one author refers to "Health and safety management" [Lee (1996)].

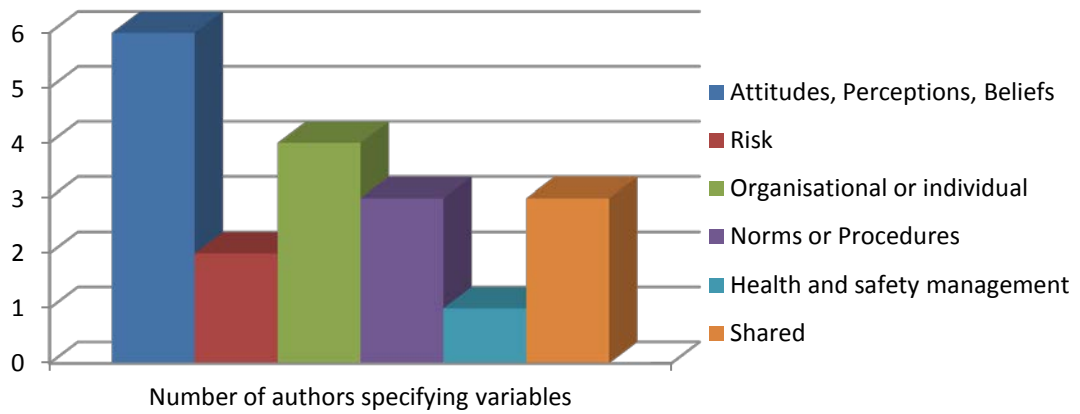


Figure 8.1

**8.2.1.2.2 Safety climate variables**

The most repeated variable among the definitions of safety climate is “perception”. Eight out of nine authors quoted use this term to define the concept of safety climate [Zohar (1980), Brown and Holmes (1986), DeDobbeleer and Béland (1991), Cooper and Philips (1994), Niskanen (1994), Coyle et al. (1995), Cabrera et al. (1997), Flin et al. (2000)]. Some of them mention a variable called “molar” [Zohar (1980), DeDobbeleer and Béland (1991)]. Only one author refers to “policy” in his definition [Niskanen (1994)]. Some of them refer to “work place” [DeDobbeleer y Béland (1991), Zohar (1980), Cabrera et al. (1997)]. Others also mention “beliefs” when it comes to perceptions [Williamson et al. (1997), Brown and Holmes (1986), Cooper and Philips (1994)]. Only one author states that safety climate is a “feature of safety culture” [Flin et al. (2000)].

Figure 8.2

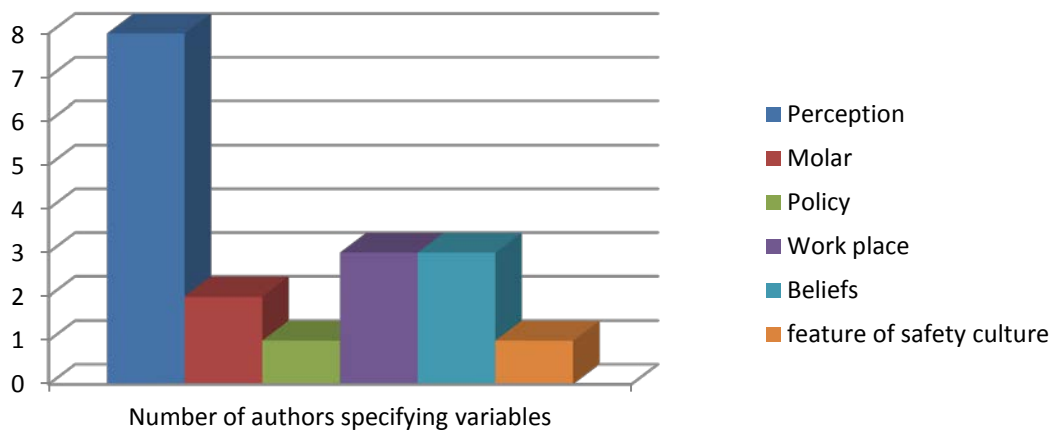


Figure 8.2

**8.2.1.3 Culture and climate**

Whether there is a difference between those two concepts or not, the read publications suggest that the successful implementation of the safety culture is in company’s management hands through the models of safety management.

However, it is not enough with those models. The company's management itself has to get involved personally to implement those models and take the responsibility of making their workers aware of the danger in their workplace. Moreover, it has to communicate with their workers and has to show interest for their workplace. As a result, workers will have the feeling that the organisation cares about them and that safety is a priority.

Additionally, to achieve a successful implementation their workers must be involved actively. That factor is really important since the workers themselves have the power to avoid situations that can compromise their own safety.

### **8.2.2 CONSTRUCTION SECTOR**

In order to discover the influence of "**safety culture**" in the construction sector, a read of some articles related to this topic has been made, either through interviews with professional workers or through statistics.

Abdulah and Wern (2012) wrote an article where they intended to study the factors which affect safety culture in Malaysian construction sector. Their intention was to find out, through a sample of some organizations, if in the most Malaysian organizations exists a practice of safety culture. To accomplish it, they interviewed 6 professionals from different ages and qualifications. On the first question, they ask what was their opinion regarding safety culture. Some of the interviewed answered that safety had become an important factor for the companies through the years. Another of the interviewed revealed that contractors prefer to offer low prices before worrying about safety, leaving the safety management to subcontractors. They also emphasised that the obligation by law to take care of safety has been very helpful, but its compliance relies on organization's hands.

The authors conclude that *"...it is crucial to understand that safety culture within a construction site is not the responsibility of just one party. All parties have their responsibility regarding the safety culture and each party's influence will affect the whole process of achieving a good safety culture. A good practice in terms of safety cultures shown by workers will reflect the leadership and stability of an organization."*

Bigg et al. (2013) made a study about the perceptions of some experts in the field of safety working in an Australian organization. While the causes of the accidents occurred in the construction's site were different, the context of the workplace was an important factor in order to prevent accidents (Misnan and Mohammed, 2007). They used the Delphi method for the interviews. This method consists of two steps: one is a face to face interview, and the second one is an online questionnaire.

The study concludes: *"The strength of the study is that among the interviewees were recognised safety leaders within the organization who were able to provide their expertise regarding their understanding of safety culture. The insights given by this research are critical to both researchers and professionals who attempt to integrate safety culture theory and practice to improve the safety."*

Choudhry et al (2009) made a study about safety climate in various companies belonging to the construction sector in order to determine the needed improvements in safety culture that

would likely impact positively on their projects. To achieve that goal, he sent some questionnaires to a one of the biggest construction companies from Hong Kong. Those questionnaires were answered by managers from 22 construction projects. Generally, the questionnaires had the purpose to determine workers' thoughts about management commitment to safety, or to determine which construction projects needed to improve their safety. They used the method by Tsinghua-Gammon Construction Safety Research Centre that it's based on Fang et al. (2006)'s model. The findings revealed two areas of improvement: "...management commitment and employee involvement..." and "...inappropriate safety procedures and work practices...". The second one was identified as a key factor, since it has been demonstrated that inappropriate safety practices need to be regularly reviewed.

The authors conclude that: "... All two factors were identified as significant in order to explain the perception of workers regarding safety practices in Hong Kong... The study concludes that management can determine potential errors in their safety system by assessing safety climate and they can be advised on how safety should be managed in construction sites."

Dulaimi and Chin (2009) wrote an article related to safety in construction in Singapore, due to the existing high accident rate in spite of the efforts done by government, who approved a strict law in 1994. Through a questionnaire sent to professionals of the sector, researchers intend to know their point of view about which goals the management need to consider and achieve in order to improve the safety culture. They received 31 answers from local companies and not a single answer from companies located outskirts. Therefore, they concluded that local companies were more aware of safety culture and more opened to express their opinions about it. Most of the accidents that those companies suffered were minor and only first aid was needed. All the companies declared that they had risk prevention policies and the aim was to protect workers. Except one company, the rest of them trained their workers in safety culture.

Both authors concluded: "... The research identified 4 goals in safety management that every company should achieve: 1) a management committed with safety, 2) to reduce costs related to accidents, 3) to create a capable workforce and 4) to choose subcontractors concerned about safety..."

Fang and Wu (2013) wrote that safety at a construction site was different from the safety applied in companies of different fields, and confirmed that there was not a basic model designed for the construction sector. With their publication they intended to give a definition of safety culture concerning construction sector to state the differences with the rest of safety culture organizations. They also propose an interaction model of safety culture of the organisations that will demonstrate the specific dynamic interaction between owner, contractor and subcontractor. They based their research in Singapore and it consisted in a questionnaire about safety climate and the implementation of "Behaviour-Based Safety" (BBS) in two construction projects to examine the theoretical model and to list the characteristics of the specific model they want to create. The questionnaires were sent to more than 400 workers of various companies. The results were the following: for the company owners, the grade of safety culture was 93/100, while the grade of safety culture for the workers was 71/100. The authors concluded that the difference between them was because of the contractors, who had different approaches to safety culture.

Regarding the BBS, they identified 11 critical unsafe behaviours. As the unsafe behaviours occurred, the authors interviewed the responsible of unsafe behaviours and as consequence unsafe acts decreased. It was concluded that those unsafe acts were because of the management area, where the information, the incomprehension of the problems and the poor personal protective equipment (PPE) given to the workers were the specific causes.

As a conclusion, the authors (Fang & Wu) wrote: *"...The team in a construction project is a temporary organisation where a lot of external companies collaborate. Due to the great variety, there are different cultures regarding safety, being difficult to determine what is the real commitment with safety culture. However, those different sub-cultures have to interact with the safety culture of the organisation. As a result, every construction project should have its own safety culture."*

Gilkey et al. (2012) stated on their article that the construction sites are the most dangerous workplaces that exist according to a study conducted by "Centre for Construction Research and Training" in 2007. Therefore, the article intended to compare the culture and safety climate among different companies. To do so, they chose a group of workers of a company with an implemented safety plan (successfully audited), who have been trained by the company in safety matters; and a group of workers of a company that had never been audited, who were not exposed to the risk of the construction site. They used a questionnaire with 20 questions and sent it to approximately 200 people including managers and workers. The authors perceived that the grade of safety culture and safety was higher for the managers than for the workers and subcontractors. They also perceived that the grades given by managers whose company had never been audited were heterogeneous and higher than the grades given by the rest of the workers. They found that 65% of the team managers agreed that prevention measures were more important than deadlines.

Their final conclusion was: *"...Greater efforts need to be done in residential construction in order to implement the safety culture and safer behaviours in workplace, as well as the to improve health conditions of workers. Residential builders, regulators, and industry representative should use results from this work and others to develop methods of intervention to manage and improve safety culture."*

Molenaar et al (2009) made a study to quantify the relationship between organisational culture and safety programs through the answers to 196 questionnaires from 3 different construction companies, using variables that described each company's safety culture. The Structural Equation Model (SEM) they used in their work suggested that the safety culture of an organisation is key factor in order to develop a safety program.

The authors concluded their study with the following advices: *"...management has to increase their involvement regarding safety culture and subcontractors should be integrated in the company's safety culture, offering incentives to all personnel for safe behaviours, creating a small team with expertise in safety culture, and penalising the unsafe behaviours in a consistent manner."*

Walker y Maune (2000) wrote an article about the construction of a petrochemical plant entitled "Creating an extraordinary safety culture". On their work they emphasize the low

accident rate during the construction phase, comparing it to the official data regarding accidents and injuries in the construction sites. The management recognised that on international projects safety measures were taken when an accident occurred. When they hired their workers, or subcontractors, the management of the Saudi Chevron Petrochemical interviewed them all and communicated to them that they had to adopt a “no injuries philosophy”. Additionally, they assessed the contractor’s work-related accidents to verify the success of their occupational risk prevention plan. The plan consisted in three stages:

- Stage one was on the level of management, the owner and the contractors. They should form a unique team and get involved to make all the workers feel treated with dignity and respect and to control that they have all the personal protective equipment (PPE) in order to guarantee a safe workplace.
- Stage two was the implementation of the best security plan and a first class safety processes.
- Stage three had the purpose of achieving the safety culture.

As a result the construction was finished on schedule, it cost less than previously estimated and was exemplary in terms of safety culture. That construction site has been recognized as an example in the Middle East for all their attainments. For instance: regarding incidents that needed first aid, the average of a Middle East workplace is about 1.325 injuries. On that project there were only 141 injured.

*Conclusion: “...although the thinking of “no incident no injured” wasn’t present since the beginning of the project (on the viability stage), through the diligence and commitment of the management to adopt safety as a criteria, a great cultural change happened. (...) as a result of that safety commitment, not only they achieved the company’s objectives but they also were able to let a lot of workers go home safe and sound everyday...”*