

Diseño de una metodología para la investigación de accidentes químicos a nivel industrial

J. Loayza¹, M. Silva², C. Berzoy³, C. Villanueva⁴, J. Castillo⁵, R. Laos⁶

(Recibido 30/04/2015 / Aceptado 6/07/2015)

RESUMEN

La metodología de investigación de un accidente químico a nivel industrial debe contener una secuencia, con un conjunto de pasos (cada uno con un método específico), de los cuales ninguno se puede obviar. La secuencia encontrada en el presente estudio comienza con la recolección de la información y la entrevista a los testigos, evaluación de la información recopilada, selección de la información relevante, sistematización de la información teniendo en cuenta quince aspectos (los cuales se pueden dividir en información general sobre la empresa y su organización, información sobre la fuente del accidente -incluyendo el lugar y los alrededores- e información específica sobre el accidente). La investigación de un accidente químico industrial debe reportarse en un informe donde se identifiquen claramente las causas y se formulen las recomendaciones necesarias para que un accidente demore en presentarse nuevamente o que sus consecuencias disminuyan en su grado de severidad. Este informe debe haber sido validado por especialistas en el tema.

Palabras clave: Accidente químico industrial, accidente tecnológico, derrame, fuga, incendio, explosión.

Design of a methodology for the investigation of chemical accidents at industrial level

ABSTRACT

The research methodology must contain a sequence with a set of steps (each with a specific method), of which none can ignore. The sequence found in the present study begins with the collection of information and interviews witnesses, evaluation of the information collected, selection of relevant information, systematization of information given fifteen issues (which can be divided into general information about the company and its organization, information on the source of the accident, including the location and surroundings, and specific information about the accident). The investigation of a chemical accident at an industrial level should be reported in a report which clearly identify the causes and necessary for an accident to occur again delay or reduce its consequences in their severity formulate recommendations. This report must have been validated by specialists in the field.

Keywords: Industrial chemical accident, technological accident, spill, leak, fire, explosion.

1 Departamento Académico de Procesos. Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. E-mail: jloayzap@unmsm.edu.pe

2 Departamento Académico de Química Inorgánica. Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

3 Departamento Académico de Físicoquímica. Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

4 Departamento Académico de Química Inorgánica. Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

5 Estudiante de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Química. Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

6 Estudiante de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Química. Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

I. INTRODUCCIÓN

La industria química de un país agrupa a las empresas que utilizan productos químicos en sus procesos productivos. Estos procesos se llevan a cabo en plantas industriales, las cuales han sido diseñadas de tal forma que los procesos sean eficientes, limpios y seguros; pero es posible que ocurran eventos no deseados ni planeados que alteren la seguridad y la marcha normal de los procesos. A estos eventos que involucran la presencia en el ambiente, interno y externo, de sustancias químicas con distintos niveles de peligrosidad, se les conoce como accidentes químicos industriales (o accidentes tecnológicos). Los accidentes químicos industriales son de diversos tipos, los cuales obedecen también a diversos criterios de clasificación. Uno de los criterios más utilizados se relaciona con el mecanismo por el cual la sustancia química pasa desde su contenedor al ambiente, produciéndose una fuga o un derrame, pero también es posible que se presente un incendio (que es un fuego no controlado) o una explosión, la cual puede ser física o química.

La investigación de un accidente químico consiste en identificar las causas que lo originaron para que en el futuro; es decir, en un lapso de tiempo *muy grande* la cantidad de accidentes similares disminuyan, o se reduzcan sus efectos. Las principales consecuencias de un accidente químico industrial son: efectos físicos (lesiones de diversos grados, inclusive pueden causar la muerte) y psicológicos sobre la salud humana, efectos sobre el medio ambiente (ecosistemas vulnerables), efectos sobre las infraestructuras (de la propia empresa o de terceros) y las existencias (materias primas, productos en proceso, productos terminados, otros).

Actualmente existe gran preocupación por parte de la opinión pública por la posibilidad de que ocurran accidentes industriales de graves consecuencias. Los accidentes que revisten un mayor nivel de daño son aquellos que involucran la presencia de sustancias químicas, denominados accidentes químicos

industriales o accidentes tecnológicos^[1]. Es importante anotar que, diariamente las instalaciones industriales (plantas industriales) consumen miles de toneladas de sustancias químicas de diversos tipos y con diferentes niveles de peligrosidad. En realidad no se podrían satisfacer las necesidades de la población y de las industrias, no se podrían elaborar una serie de productos de consumo doméstico o industrial si no se utilizan sustancias químicas, es por ello que los químicos, los ingenieros de procesos y los encargados de la seguridad en plantas industriales, aplican sus conocimientos y esfuerzos para prevenir la ocurrencia de accidentes industriales, manejando adecuadamente el riesgo que implica el uso responsable de sustancias químicas.

II. ACCIDENTES INDUSTRIALES

Los accidentes industriales son eventos no deseados ni planeados que tienen como consecuencias o efectos relevantes: 1) daños a la salud, 2) daños a la infraestructura industrial y a la propiedad de las comunidades vecinas, 3) deterioro de existencias (materias primas, insumos, productos en proceso y productos terminados) y 4) deterioro del ambiente^[1]. Los daños a la salud pueden ser lesiones, ocurridas inmediatamente después del accidente. La salud se puede deteriorar por la exposición aguda a un agente químico o pueden presentarse luego de un tiempo (tiempo en que demora en desarrollarse la enfermedad). Los accidentes pueden traer además consecuencias psicológicas para el personal de la planta o para los miembros de la comunidad. Los daños a la infraestructura pueden abarcar a la propia instalación donde ocurre el accidente, a instalaciones vecinas o a la comunidad. Las pérdidas económicas por parte de la empresa pueden ser considerables, incluyendo los pagos relacionados con las indemnizaciones a los afectados. La imagen de la empresa accidentada se ve muy afectada por la ocurrencia de un accidente. Las comunidades vecinas y los ecosistemas en el área de influencia del accidente pueden

ser considerablemente dañados, por lo tanto, la empresa involucrada debe asumir los costos del control del accidente; así como, la limpieza y rehabilitación de las zonas afectadas, corriendo además con la indemnización de los afectados o derechohabientes^{[2][3][7][8]}.

Algunos accidentes que están dentro de las categorías anteriores, tienen algunas denominaciones particulares. Por ejemplo:

- Si la fuga es de un gas inflamable a alta presión y se produce su ignición se forman “dardos de fuego”.
- Las explosiones, causadas por una falla mecánica (explosión física) o una reacción química (explosión química), liberan energía de manera súbita y violenta, elevando la temperatura y desarrollando una presión elevada en los sistemas cerrados o una onda de sobrepresión (onda expansiva) en los espacios abiertos denominada UVCE (siglas en inglés que corresponden a Unconfined Vapor Cloud Explosion).
- Los incendios son reacciones de oxidación de los gases, líquidos y sus vapores, polvos o aerosoles contenidos y emitidos en un proceso industrial en particular que se presentan en zonas de almacenamiento, generando radiación térmica. Si el incendio es de grandes proporciones (denominado “Pool-Fire”) la onda de calor se extiende a otros espacios y puede provocar fallas catastróficas en otros depósitos de almacenamiento, lo cual genera la explosión del contenedor debida a la presión ejercida por los vapores en expansión de un líquido en ebullición, este fenómeno se conoce como BLEVE (por sus siglas en inglés correspondientes a Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).
- Si con la rotura se produce una gran cantidad de vapor de un material inflamable (mezcla o sustancia con estas características de peligrosidad) y este se incendia, rápidamente se produce una “bola de fuego”.

- Si la rotura (falla catastrófica) se produce en un recipiente que contiene un líquido no inflamable (gas licuado bajo presión), se produce un estallido con emisión de trozos (partes) del depósito denominados “proyectiles”.

En general los accidentes químicos a nivel industrial pueden producir fenómenos peligrosos para los trabajadores, la población, el ambiente y los bienes (privados y públicos) del tipo mecánico, térmico o químico.

El principal efecto mecánico es la onda de presión (onda expansiva) que consiste en compresiones y expansiones alternativas del aire atmosférico, que se traducen en perturbaciones mecánicas transitorias sobre los elementos inertes o los seres vivos provocando deformaciones, roturas, desplazamientos, etc. Otro efecto mecánico es la emisión de proyectiles.

Los fenómenos térmicos son provocados por la oxidación rápida, no explosiva, de sustancias combustibles, produciendo llama, que puede ser estacionaria o progresiva, pero que en todos los casos disipa la energía de combustión mayoritariamente por radiación e incrementándose la temperatura de las sustancias o materias expuestas, pudiendo culminar en la combustión, fusión y volatilización de éstas.

Entre los fenómenos químicos peligrosos debidos a fugas o vertidos incontrolados tienen la presencia de sustancias que, directamente o indirectamente (a través de reacciones secundarias inmediatas o diferidas), pueden provocar efectos tóxicos, irritantes, narcotizantes, cancerígenos, mutagénicos, teratógenos, corrosivos o bioacumulables. No obstante, para producir estos efectos las sustancias requieren de un medio en donde difundirse (aire, agua o suelo), lo que además de hacer que su efecto disminuya con la distancia (dispersión, dilución o transformación), requiere que transcurra un tiempo, lo que en muchos casos facilita la toma de medidas de control.

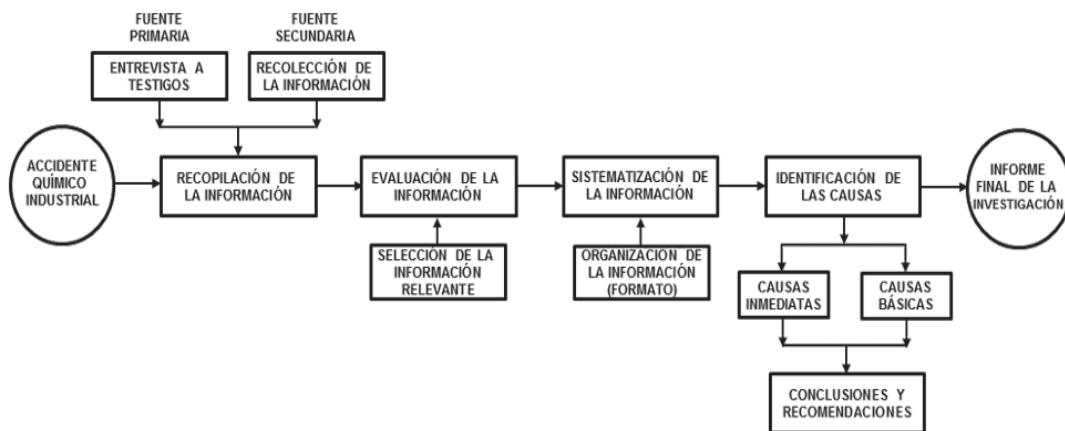
III. ¿POR QUÉ ES IMPORTANTE LA INVESTIGACIÓN DE UN ACCIDENTE QUÍMICO INDUSTRIAL?

- La investigación de un accidente es importante ya que permite en primer lugar recopilar información objetiva, pertinente, veraz y oportuna.
- La investigación debe centrarse en la obtención de información relevante y no a la búsqueda de culpables.
- La investigación debe ser muy cuidadosa en la recopilación de datos (información requerida para el análisis del accidente) y en las entrevistas a los testigos^[9].
- La investigación debe identificar las causas, asignando responsabilidades sobre lo ocurrido.
- La investigación debe formular una serie de recomendaciones para prevenir la ocurrencia de un nuevo accidente ya que los accidentes no se pueden evitar, solo se pueden prevenir.
- El análisis de un accidente debe minimizar las consecuencias de un nuevo accidente.

IV. PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LA INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES QUÍMICOS INDUSTRIALES

La metodología de investigación debe contener una secuencia con un conjunto de pasos (cada uno con un método específico), de los cuales ninguno se puede obviar.

La secuencia propuesta en el presente estudio se muestra en la Figura 1 y se inicia con la recolección de la información de fuentes secundarias y entrevistas a los testigos, continuando con la evaluación de dicha información, lo que supone la selección de la información relevante, para su sistematización teniendo en cuenta quince aspectos (los cuales se pueden dividir en información general sobre la empresa y su organización, información sobre la fuente del accidente –incluyendo el lugar y los alrededores– e información específica sobre el accidente). Ver Cuadro 1. La investigación de un accidente químico industrial debe reportarse en un informe donde se identifiquen claramente las causas (que formarán parte imprescindible de las conclusiones) y las recomendaciones necesarias para que un accidente “demore” en presentarse o en caso de producirse sus consecuencias sean las menores posibles. Este informe puede ser validado por especialistas en el tema, si la complejidad del caso lo requiere.



Fuente: Elaboración propia (2015)

Figura 1: Metodología de la investigación de un accidente químico industrial.

A continuación se describen cada una de las etapas de la metodología de investigación de un accidente industrial.

4.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La recopilación de la información debe ser realizada en el lapso de tiempo lo más cer-

cano posible a la ocurrencia del accidente. Esta se puede realizar recurriendo a dos fuentes; la primera es la entrevista a los testigos, que constituye la fuente primaria. Es muy importante que el investigador seleccione cuidadosamente a los testigos, estos pueden ser presenciales o directos y los indirectos. Los directos son aquellos que pudieron observar la ocurrencia del accidente, es decir estuvieron en el lugar de los hechos. Los testigos indirectos son aquellos que se encontraban en el área de influencia del accidente, sintieron sus efectos, pero no lo presenciaron directamente o aquellos que se constituyeron al lugar de los hechos "inmediatamente" de ocurrido el accidente. En la segunda, el investigador también puede recurrir a la información contenida en fuentes secundarias, conformada por referencias históricas de accidentes, conatos e incidentes previos, o la información de los organismos oficiales, sin dejar de consultar informaciones proporcionadas por los medios de comunicación masiva (por ejemplo, noticias u otras informaciones periodísticas).

4.2 EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN

No toda la información recopilada podrá ser directamente utilizada; por ello es necesario

identificar la información relevante proveniente tanto de las entrevistas y de las fuentes secundarias publicadas por algún medio (informes escritos, informes digitales, fotos, videos, recortes periodísticos, otros), las cuales deben ser corroboradas por el investigador.

4.3 SISTEMATIZACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información relevante se puede dividir en tres grupos:

Información relacionada con la empresa (datos básicos: nombre y sector industrial).

Información relacionada con la fuente del accidente (proceso industrial; transporte de materias primas, insumos, productos, combustibles y residuos; almacenamiento de productos en proceso y productos terminados, así como de combustibles, entre otros).

Información relacionada con el accidente (corresponde a información detallada del evento no deseado).

La información relevante, previamente sistematizada, permitirá la determinación de las causas, conclusiones y futuras recomendaciones, cuyos componentes son mostrados en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Resumen de la información relevante para la investigación del accidente.

N°	TIPO DE INFORMACIÓN
INFORMACIÓN RELACIONADA CON LA EMPRESA	
1	Empresa
2	Sector industrial
INFORMACIÓN RELACIONADA CON LA FUENTE DEL ACCIDENTE	
3	Actividad realizada en la zona siniestrada (Fuente)
4	Fecha y hora del accidente
INFORMACIÓN RELACIONADA CON EL ACCIDENTE QUÍMICO	
5	Lugar del accidente y área afectada
6	Tipo de accidente y causas inmediatas
7	Causas básicas (o razones)
8	Cantidad de sustancias químicas presentes
9	Propiedades de las sustancias químicas o productos involucrados en el accidente
10	Dinámica del escape químico
11	Ruta de ingreso al organismo
12	Impactos sobre la salud de los trabajadores y la población
13	Impactos sociales, económicos y ambientales
14	Nivel de respuesta
15	Nivel o tipo de rehabilitación

Fuente: Elaboración propia (2015)

Cuadro 2: Características básicas de la información a recopilar

N°	La información debe ser...	Breve descripción
1	Objetiva	No debe contener juicios de valor (opiniones del investigador).
2	Pertinente	Debe ser relevante para la investigación.
3	Veraz	Su veracidad debe haber sido corroborada por el investigador, confrontando diversas fuentes.
4	Oportuna	Su recopilación debe realizarse en el periodo de tiempo más cercano a los hechos ocurridos.

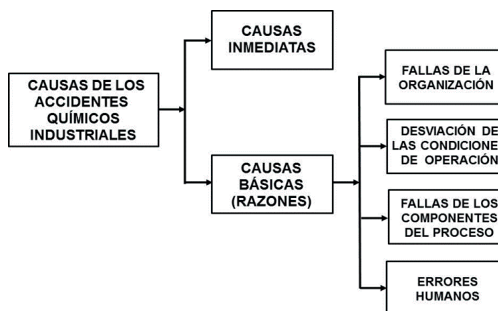
Fuente: Elaboración propia (2015)

4.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE LOS ACCIDENTES QUÍMICOS INDUSTRIALES Y SUS TIPOS

Es necesario construir un marco teórico para el diseño de un método para la investigación de accidentes químicos industriales y este se basa en la identificación de las causas de los accidentes. De la revisión bibliográfica realizada, así como del análisis de accidentes documentados que han sido reportados en estudios específicos y otros que figuran en las bases de datos, las causas se pueden clasificar de acuerdo a diversos criterios. Es así que Hemmatian et al.^[4], indican que en los accidentes industriales se presenta el efecto dominó^[4] en relación a las causas intervinientes, las cuales son de dos tipos: causas generales y causas específicas. El efecto dominó se define como una cascada de eventos en los cuales las consecuencias del accidente principal (o un accidente de mayor escala) son el resultado de la sumatoria de accidentes previos (denominados también subsecuentes)^[4]. Son causas generales los eventos externos, las fallas mecánicas, los errores humanos, las fallas de impacto, las reacciones violentas, la falla de instrumentos, las condiciones de procesos inadecuados; así como fallas en los servicios. Del análisis de accidentes ocurridos en Europa y otros países desarrollados, las fallas mecánicas son las causas más frecuentes, mientras que en países en desarrollo son las fallas humanas (también denominadas, errores humanos) y los eventos externos^[4]. Es importante anotar que cada causa general incluye la contribución de diferentes causas específicas. Por ejemplo, en el caso de que la causa general sea una falla mecánica, las

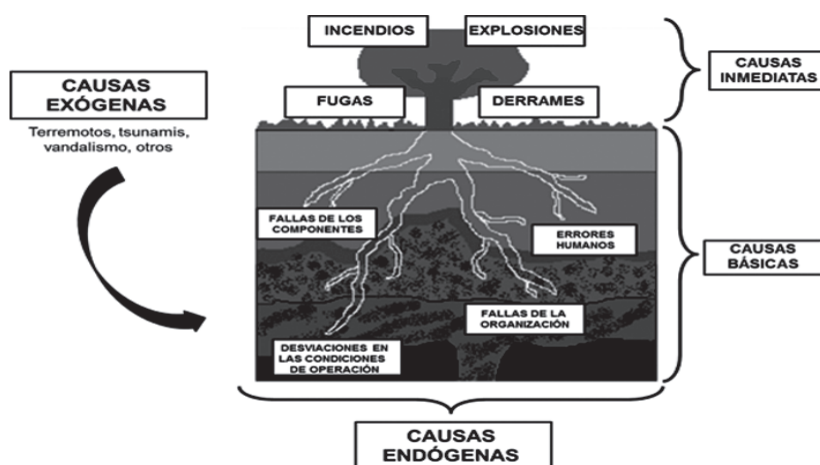
causas específicas más comunes son la sobrepresión y el sobrecalentamiento. Mientras que sí la causa general es un error humano, la causa específica principal se debió a un mantenimiento^[4] inadecuado.

Existe otro criterio (Ver Figura 2) para clasificar las causas, en el cual se considera el concepto de causa inmediata (o causa directa) y razón (causa básica, causa subyacente o causa raíz)^[10].



Fuente: Elaboración propia (2015)
Figura 2: Tipos de causas.

La razón puede ser definida como “la combinación de las condiciones y factores que son la base de los accidentes o incidentes o incluso como el principio absoluto de la cadena de causalidad”^[6]. En cada accidente hay normalmente además de la causa inmediata, algunos aspectos adicionales que influyen en la probabilidad de que el evento suceda y en el curso que tome. Hay frecuentemente condiciones latentes o factores situacionales en juego. Como causas se entiende ambas, las causas directas que desencadenan el evento y las causas subyacentes. Un ejemplo típico es el clásico error de un operador o la falla directa de un equipo, pero también una inadecuada capacitación que conduce al error o un inadecuado mantenimiento, el cual conduce a la falla del equipo^[6].



Fuente: Elaboración propia (2015)
 Figura 3: Causas exógenas y causas endógenas.

En el Cuadro 3, se introduce otro criterio para clasificar las causas, unas denominadas exógenas, que son externas a la actividad industrial, por ejemplo, la presencia de terremotos, rayos, inundaciones u otros fenómenos naturales, los cuales no se pueden evitar, y aquellas que son íntimamente relacionadas con la actividad o endógenas.

Existen también otras circunstancias que pueden ser consideradas como causas, estas son llamadas explicaciones o condiciones latentes. Estos conceptos usualmente se refieren a condiciones menos obvias (razones) las cuales frecuentemente están latentes por largo tiempo, pero pueden contribuir al curso de los acontecimientos, una vez que se desencadena la causa directa. Como ejemplos típicos de estas condiciones latentes se pueden citar las relacionadas con la organización de la empresa que dan lugar a deficiencias en el diseño, capacitación inadecuada, deficiencias de procedimientos o instrucciones, el inadecuado mantenimiento preventivo, la falta de condiciones de seguridad (las que pueden ser de varias clases), etc^[6].

Como factores situacionales se entienden los factores que no están constantemente presentes pero que surgen ocasionalmente y pueden hacer más difícil de ejecutar cierta tarea de una manera correcta o segura y así contribuyen a desencadenar un accidente o

un incidente. Ejemplos típicos son el hecho de que un lugar de trabajo ocasionalmente sea muy ruidoso, o la influencia de las condiciones climáticas o un alto nivel de estrés^[6].

En la mayoría de accidentes no es una sola persona ni un nivel organizacional el que está involucrado, sino las razones y las causas detrás de los accidentes están distribuidas entre diferentes personas y niveles organizacionales^[2]. Casi siempre existe una serie de elementos secuenciales de causas y la noción de la “causa raíz” es en realidad una combinación de varias causas raíces^[6].

Un estudio realizado por He-Zhang y Xiao-Ping Zheng^[5], en relación a las causas inmediatas y las causas raíz, identificadas en accidentes industriales con químicos peligrosos ocurridos en China^[5], manifiestan que en casos de accidentes en instalaciones fijas un 46,8% de los accidentes graves fueron causadas exclusivamente por errores humanos y que 18,3% fueron causados parcialmente por errores humanos en combinación con otros factores^[3]. En los casos que hay factores humanos y de equipos involucrados, existen causas específicas, que en el 90% de los casos ocurrieron como resultado de un incumplimiento de las reglas de manera consciente y en un 10% de los casos de manera inconsciente^[5].

Las causas raíz se definen como la combinación de condiciones y factores que son la verdadera razón del accidente, el comienzo absoluto de la cadena de causas. La mayoría de los accidentes en industrias que utilizan sustancias químicas peligrosas y que ocurrieron como resultado de una falla de equipo fue debido a un mal funcionamiento o corrosión, fueron causados por fallas en el mantenimiento, lo cual es sustancialmente un tema de la gerencia o de la organización de la empresa. Los errores humanos, sean conscientes o inconscientes, son debidos a falta de procedimientos, deficiente capacitación de los trabajadores y empleados, lo cual también se trata de un tema gerencial. De aquí que la mala gestión (o gerencia) es la principal causa raíz de los accidentes en la industria de químicos peligrosos. Adicionalmente muchos accidentes ocurrieron en corporaciones ilegales y por compañías de transporte no calificadas. Esta negligencia por parte de la supervisión del gobierno es otra causa raíz de los accidentes ocurridos en China^[5].

4.5 ELABORACIÓN DE CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones se centran en las causas (inmediatas y básicas –causas raíz-), que dieron origen al accidente y las recomendaciones en todo aquello que puede ser tomado en cuenta para minimizar las características del accidente; por ejemplo, se requiere un análisis HAZOP (que es la simplificación de las palabras en inglés Hazard and Operability) -análisis de peligro y operatividad- o implementar un APELL (que es el acrónimo de la frase en inglés Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level) –concientización y preparación para emergencias a nivel local-. Se sugiere revisar los reportes de las bases de datos sobre accidentes químicos industriales.

4.6 INFORME FINAL (RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN)

Con la información convenientemente organizada se procederá a la preparación del in-

forme final, el cual servirá para la prevención de nuevos accidentes. El informe deberá contener en forma claramente diferenciada las causas inmediatas de las causas básicas o causas raíz. Se sugiere utilizar un árbol de causas para facilitar la visualización de las mismas.

V. IMPORTANCIA DEL USO DE BASES DE DATOS SOBRE ACCIDENTES INDUSTRIALES

El investigador dispone actualmente de bases de datos. Las bases de datos de accidentes industriales más conocidas debido al elevado número de registros de incidentes grabados y a la facilidad con que pueden ser consultados son: MHIDAS, FACTS, SONATA y MARS, entre otras. Las bases de datos MHIDAS, FACTS y SONATA se nutren de diferentes fuentes de información, principalmente extraídas de revistas especializadas (como por ejemplo el Hazardous Cargo Bulletin”) y de informaciones periodísticas. La MARS se alimenta de las informaciones que los Servicios de Protección Civil de los Estados Miembros de la Unión Europea recopilan sobre Accidentes Mayores ocurridos en cada país, en cumplimiento de la Directiva Seveso II.

En el Perú no existe actualmente una base de datos de este tipo de accidentes; cabe mencionar que el Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú, específicamente el Comando Nacional, lleva un registro detallado de los accidentes acaecidos en país, incluyendo en este registro aquellos accidentes e incidentes químicos del sector industrial. Sin embargo, la data que poseen es de carácter confidencial lo que limita altamente el uso de ese tipo de información.

Otras entidades que recopilan este tipo de información en el país son el Ministerio de Energía y Minas, Ministerio del Ambiente y Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo y OSINERMIN.

Bases de datos que pueden ser consultadas por los investigadores de accidentes químicos industriales.

(1) MAJOR ACCIDENT REPORTING SYSTEM (MARS)

Ha sido desarrollada por el Institute for Systems Engineering and Informatics (ISEI) dependiente del Joint Research Centre (JRC), organismo público de la Comisión Europea ubicado en Ispra (Italia). En ella se han ido recopilando los informes aportados por los distintos estados miembros. Si bien no incluye un gran número de accidentes, la

descripción de los mismos es exhaustiva y de calidad, ya que se nutre de los informes de investigación de los accidentes elaborados por las autoridades de cada estado miembro.

En la actualidad, es posible acceder a las informaciones públicas de MARS a través de Internet, disponer del programa de gestión de datos y/o solicitar al JRC los registros de los accidentes que sean de interés para el investigador.

Cuadro 3: Resumen de la información presentada en un informe final según MARS.

Tipo de accidente	Área afectada	Medidas de emergencia
Peligrosidad de las sustancias	Personas afectadas	Cumplimiento de la Directiva Seveso II
Origen del accidente	Daño ecológico	Acciones oficiales
Condiciones meteorológicas	Daños al patrimonio histórico	Lecciones aprendidas
Causas del accidente mayor	Pérdidas materiales	Discusión sobre la respuesta
Discusión sobre la ocurrencias	Alteración de la vida comunitaria	
	Discusión de las consecuencias	

Fuente: Elaboración propia (2015).

(2) FAILURE AND ACCIDENTS TECHNICAL INFORMATION SYSTEM (FACTS)

Esta base de datos ha sido desarrollada, mantenida y comercializada por TNO "Division of Technology for Society". Contiene aproximadamente 15.000 registros y está claramente enfocada al estudio de accidentes industriales con sustancias peligrosas. Su recopilación se inició en 1980.

La característica diferencial de FACTS respecto a otras bases de datos es que está relacionada con cuatro bases de datos adicionales que aportan información complementaria. Sus características básicas son:

- Contiene referencias de 2000 accidentes relacionados con el transporte de materiales peligrosos.
- Presenta un conjunto de posibles causas de accidentes en un importante número de equipos, con especial atención en los materiales usados, las condiciones de proceso y las fallas relacionadas con la construcción de equipos y recipientes de proceso.

- Contiene información sobre reacciones químicas, incluidas aquellas que pueden darse en situaciones no controladas, favorecidas por impurezas o en condiciones extremas derivadas de un accidente o incidente previo.

(3) MHIDAS

La base de datos MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service) fue creada por el SDR (Safety and Reliability Directorate) perteneciente al HSE (Health and Safety Executive). Se inició el trabajo de recopilación a principios de los años ochenta, la versión de enero de 1999, recopilaba 9.876 referencias de sustancias que habían participado en 8.600 accidentes. Los accidentes registrados provienen de países de todo el mundo, siendo la mayor parte de USA (2.756 accidentes en la versión de enero de 1999) y Reino Unido (2.526 accidentes en la misma versión).

Las fuentes de información provienen de publicaciones diversas sobre accidentes industriales acaecidos en cualquier parte del mundo. De hecho, la calidad de la información recogida en MHIDAS adolece de defi-

ciencias importantes debido, precisamente, a las fuentes utilizadas para la recopilación de información, mayoritariamente prensa (publicaciones periódicas). No obstante, el aval técnico que supone el que la recopilación se haya realizado por expertos del HSE mejora sensiblemente esta percepción.

(4) IMPORTANCIA DE LOS INFORMES FINALES Y LA GENERACIÓN DE DATOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE NUEVAS BASES DE DATOS

- Es importante contar con una biblioteca de informes finales, en lo posible validados, para que en el futuro puedan ser consultados, con la finalidad de prevenir accidentes químicos industriales. Esta recopilación es realizada por diversas instituciones que han sistematizado la información, en forma de una base de datos. Las Bases de Datos:
- Muestran los puntos críticos de una instalación industrial susceptibles de ser la causa de accidentes.
- Brindan información útil sobre la magnitud de los accidentes que pueden producirse en una instalación por comparación con otras similares que hayan ocurrido en el pasado.
- Proporcionan una serie de consejos sobre acciones de emergencia o soluciones correctivas a los problemas planteados.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1 La recolección, la evaluación, la organización y la sistematización de información sobre un accidente, es la base para la investigación y el análisis de un accidente químico industrial.
- 6.2 La información debe ser objetiva, veraz, pertinente y oportuna.
- 6.3 El objetivo de un accidente químico industrial debe centrarse en la identificación de las causas y las razones.

6.4 Del análisis de accidentes ocurridos en Europa y otros países desarrollados, las fallas mecánicas son las causas más frecuentes, mientras que en países en desarrollo son las fallas humanas (también denominadas, errores humanos) y los eventos externos.

6.5 La mayoría de los accidentes en industrias que utilizan sustancias químicas peligrosas y que ocurrieron como resultado de una falla de equipo, se presentaron debido a un mal funcionamiento o corrosión, en realidad fueron causados por fallas en el mantenimiento, lo cual es sustancialmente un tema de la gerencia o de la organización de la empresa.

6.6 Los errores humanos (conscientes o inconscientes), son debido a faltas en procedimientos, deficiente capacitación de los trabajadores y empleados, lo que también se trata de un tema gerencial.

6.7 Las razones o causas básicas (también denominadas causas raíz) están relacionadas, en la en la mayoría de los accidentes estudiados, con la organización o la gestión de la empresa.

6.8 La investigación de un accidente no debe buscar culpables, sino determinar responsabilidades en diversos niveles de la organización.

VII. RECOMENDACIONES SOBRE EL PRODUCTO DEL ESTUDIO

Tomar como una Guía para la Investigación de Accidentes Químicos Industriales, la *Metodología de Investigación de accidentes químicos a nivel industrial* propuesto en el presente documento, teniendo en cuenta:

7.1 Organizar la información recopilada, dividiéndola en tres tipos: información general sobre la empresa y su organización, información sobre la fuente del accidente (incluyendo el lugar y los alrededores) e información específica sobre el accidente.

- 7.2 Diferenciar claramente entre las causas inmediatas, que son aquellas observables y las razones, aquellas que requieren un análisis más profundo sobre la influencia de la organización (o gestión de la empresa).
- 7.3. Precisar la fuente del accidente (o actividad industrial); es decir, si el accidente se relaciona con el proceso productivo, con el transporte de sustancias químicas, con el almacenamiento de productos o combustibles, etc.
- 7.4 Crear conciencia de la seguridad en los directivos, ingenieros y otros colaboradores de la empresa, con la finalidad de prevenir los accidentes químicos.
- 7.5 Conformar a nivel institucional o corporativo, un grupo de investigación en accidentes químicos industriales con la finalidad de contribuir a la prevención de accidentes a nivel nacional.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Casal J, Montiel H, Planas E, Vilchez J. Análisis de Riesgo en Instalaciones Industriales. 1ª ed. Barcelona: Ediciones Universitat Politècnica de Catalunya; 1999.
- [2] Grupo Universitario de Investigación de análisis de riesgo. GUIAR. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. [consultado 28 marzo 2014]. Disponible en: <http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/Bhopal.htm>.
- [3] Grupo Universitario de Investigación de análisis de riesgo. GUIAR. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. [Consultado 3 mayo 2014]. Disponible en: <http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/Seveso.htm>.
- [4] Hemmatian B, Abdolhamidzadeh B, Darbra RM, Casal J. The significance of domino effect in chemical accidents. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*.2014;20: 30-38.
- [5] He-Zhang, Xiao-Ping Zheng. Characteristics of hazardous chemical accidents in China: A statistical investigation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2012; 25: 686-693.
- [6] Jacobsson A, Sales J, Mushaq F. A sequential method to identify underlying causes from industrial accidents reported to the MARS database. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2009; 22: 197-203.
- [7] Loayza J. Seguridad en Plantas Industriales. Diapositivas del curso electivo Seguridad e Higiene Industrial. Facultad de Química e Ingeniería Química. UNMSM. 2014.
- [8] OPS-OMS. Curso de Auto-instrucción en Prevención, Preparación y Respuesta para desastres con productos químicos. [Consultado 25 marzo 2014]. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms-org/tutorial1/index.html>.
- [9] Accidentes Industriales. Revista VIRTUALPRO. [Consultado 10 abril 2014]; 78. Disponible en: www.revistavirtualpro.com.
- [10] Sanders R. Chemical Process Safety. Learning from case histories. Third Edition. Elsevier Inc; 2005.
- [11] Silano V. Evaluación de Riesgos para la Salud Pública Asociados con Accidentes causados por Agentes Químicos. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 2ª ed. México: ECO Editores; 1995.
- [12] Kletz T. What went wrong? Case histories of Plant Process Disasters. Fourth Edition. Elsevier; 1999.

IX. ANEXO

ACCIDENTE DE TOULOUSE

“Aproximadamente a las 10 de la mañana del 21 de septiembre de 2001, ocurrió una explosión en el área de almacenamiento 221 (destinado a productos para reprocesamiento) de la planta AZF Grande Paroisse en Toulouse, Francia, donde se almacenaban entre 300 y 400 ton de nitrato de amonio (NH_4NO_3). Se cree que la explosión fue generada por 40 a 80 ton del material almacenado, dejando un cráter de 7 m de profundidad y 40 m de diámetro. Se maneja la hipótesis de que un trabajador por error vertió sobre el nitrato de amonio una cierta cantidad de dicloroisocianurato de sodio (DCICNa), un producto clorado utilizado para la desinfección de piscinas, este producto en realidad debería estar almacenado en otra área de la planta, debido a su incompatibilidad con el NH_4NO_3 . También se indica que dicho producto estaba inadecuadamente rotulado, lo cual indujo al trabajador a confusión, que además recién había ingresado a trabajar y no contaba con la experiencia ni la capacitación en el manejo de sustancias químicas. Las instalaciones de la planta, las infraestructuras públicas y los edificios privados fueron parcial o totalmente destruidos, incluyendo 118 colegios y 27000 viviendas. En total más de 1500 empresas se vieron afectadas. Entre las 31 víctimas mortales, habían 22 trabajadores de la planta y una persona que se encontraba circunstancialmente en el lugar, también se registraron 2500 heridos. La mayor parte

de los heridos fueron víctimas de la violenta onda expansiva que sacudió la ciudad, rompiendo los vidrios de las ventanas en varios kilómetros a la redonda. La labor de recuperación de la zona afectada fue muy lenta, no solo por la falta de respuesta sino por la desorganización de los involucrados en la atención de emergencias.

Además, como resultado de la explosión se generaron nubes de NO_x y NH_3 . Testigos denunciaron que, durante la limpieza del lugar, se vertieron al río Garona más de 9 ton de sustancias químicas, que lo contaminaron afectando el ecosistema ribereño.

Se cuentan en cientos las personas que necesitaron de un tratamiento psicológico para superar los traumas originados por la explosión y las subsiguientes escenas de caos.

Se calcula que los daños materiales ascienden a 2000 millones de euros, además de las más de 100000 demandas de indemnización, sin considerar los gastos adicionales que incluyen 4 millones de euros diarios por pérdidas comerciales”

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DISEÑADA

A continuación se presenta un cuadro donde se muestra la información seleccionada de acuerdo a la metodología diseñada, sobre el accidente ocurrido en la planta industrial de la empresa petroquímica AZF ocurrida en el año 2001 en la ciudad de Toulouse, Francia.

Cuadro 4: Información sobre el accidente de la empresa AZF en Toulouse.

Nº	TIPO DE INFORMACIÓN	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN
1	EMPRESA	AZF Grande Paroisse, Toulouse, Francia.
2	SECTOR INDUSTRIAL	Industria petroquímica.
3	ACTIVIDAD REALIZADA EN LA ZONA SINIESTRADA	Proceso productivo de NH ₄ NO ₃ (Almacenamiento dentro de las instalaciones de la planta: Área 221).
4	FECHA Y HORA DEL ACCIDENTE	21 de septiembre de 2001, aproximadamente a las 10:00 horas.
5	LUGAR DEL ACCIDENTE Y ÁREA AFECTADA	Zona de almacenamiento, en la planta: cráter de 7 m de profundidad y 40 m de diámetro; fuera de la planta: varios kilómetros en los alrededores. La violenta onda expansiva que sacudió la ciudad, rompió los vidrios de las ventanas en varios kilómetros a la redonda.
6	TIPO DE ACCIDENTE Y CAUSAS INMEDIATAS	Explosión química, por reacción entre dos productos incompatibles almacenados inadecuadamente, efectos destructivos debido a la onda expansiva.
7	CAUSAS BÁSICAS (O RAZONES)	Negligencia comprobada (del trabajador). Falta de experiencia (del trabajador). Inadecuada rotulación (por otros trabajadores). Inadecuada capacitación (por la empresa). Deficiente supervisión (por la empresa).
8	CANTIDAD DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS PRESENTES	40 a 80 ton de nitrato de amonio y una cierta cantidad de dicloroisocianurato de sodio (DCICNa), no determinada.
9	PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS O PRODUCTOS QUÍMICOS (PELIGROSIDAD)	El NH ₄ NO ₃ es un material que se utiliza para la formulación de explosivos para la industria minera y reaccionó violentamente con el DCICNa.
10	DINÁMICA DEL ESCAPE QUÍMICO	Como se registró una explosión, la dinámica del escape químico fue muy rápida y obvia.
11	RUTA DEL INGRESO AL ORGANISMO	Como resultado de la explosión, además de la onda expansiva, se generaron nubes de NO _x y NH ₃ , que ingresan al organismo humano (y biótico) vía inhalación.
12	IMPACTOS SOBRE LA SALUD DE LOS TRABAJADORES Y DE LA POBLACIÓN	31 víctimas mortales (de los cuales 22, eran trabajadores de la planta) y 2500 heridos. Cientos de personas requirieron tratamiento psicológico para superar los traumas originados por la explosión y las subsiguientes escenas de caos.
13	IMPACTOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y AMBIENTALES	Se calcula que los daños materiales ascienden a 2000 millones de euros, además de las más de 100000 demandas de indemnización, sin considerar los gastos adicionales que incluyen 4 millones de euros diarios por pérdidas comerciales. Se vertieron al río Garona más de 9 ton de sustancias químicas, que lo contaminaron afectando el ecosistema ribereño (Río Gerona).
14	NIVEL DE RESPUESTA	Falta de respuesta y desorganización de los involucrados en la atención de emergencias. Se puede inferir que la respuesta llegó al Nivel II (*).
15	MÉTODOS DE REHABILITACIÓN	La labor de recuperación de la zona afectada fue muy lenta y se cometieron errores que contribuyeron a contaminar el agua del río cercano.

(*).Con respecto al nivel de respuesta es necesario tener en cuenta las siguientes categorías:

Nivel I: Respuesta sólo con las brigadas de la planta industrial.

Nivel II: Respuesta conjunta de las brigadas de la planta, bomberos, policía y otros grupos de la comunidad.

Nivel III: Respuesta conjunta con intervención de ayuda a nivel nacional.

Nivel IV: Respuesta conjunta con intervención de ayuda internacional.

CONCLUSIONES:

- El accidente se debió al error en la rotulación, lo que implica falta de conocimiento o concentración, falta de capacitación del personal y supervisión. Otro factor importante es la cantidad de materiales peligrosos almacenados.

- Las consecuencias en la población se debieron a que no se contaba con un programa tipo APELL que involucre a los pobladores, las empresas, los comercios, los bomberos, los hospitales, la policía y los medios de comunicación.

Cuadro 5: Causas básicas de los accidentes.

Tipo de causa básica	Ejemplo
FALLAS DE LOS COMPONENTES	Fallas de los equipos como bombas, compresores, intercambiadores de calor, otros.
	Falla de los sistemas de control como controladores de temperatura, presión, flujo, nivel, otros.
	Falla de los sistemas de seguridad como discos de ruptura, válvulas de seguridad, sistemas de alivio, otros.
	Fallas de juntas, conexiones, otros.
DESVIACIONES DE LAS CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN	Alteración de las condiciones de operación: presión, temperatura, flujo, concentraciones, otras.
	Fallas en los servicios: insuficiente enfriamiento, insuficiente aporte del sistema calefactor, ausencia de gas inerte, ausencia de aire comprimido, otros.
FALLAS DE LA ORGANIZACIÓN	Insuficiente formación y adiestramiento en el trabajo.
	Falta de conocimiento de los riesgos y prevención.
	Horas de descanso insuficientes.
	Deficiente trabajo de mantenimiento.
	Falta de supervisión.
ERRORES HUMANOS	Errores de operación.
	Confusión de las sustancias peligrosas.
	Carga síquica excesiva.
	Realización de trabajos no autorizados.