

# ANÁLISIS HISTÓRICO Y METODOLOGÍAS PARA CUANTIFICAR EL IMPACTO ECONÓMICO DE ACCIDENTES DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN

MSc. Julio Ariel Dueñas Santana<sup>1</sup>, Ing. Mary Carla Barrera González<sup>2</sup>,  
MSc. Santiago Díaz Suárez<sup>1</sup>

1. Universidad de Matanzas, [julio.ariel@umcc.cu](mailto:julio.ariel@umcc.cu)

2. Empresa de Perforación y Reparación Capital de Pozos  
(EMPERCAP)

## Resumen

Los accidentes en la industria de procesos provocan afectaciones sobre las personas, el medio ambiente y la economía. En esta investigación se expone un análisis histórico de los principales accidentes de incendio y explosión ocurridos en el procesamiento y almacenamiento de hidrocarburos, así como, una detallada explicación de las herramientas y metodologías existentes para cuantificar los daños económicos producto de estos accidentes. El análisis histórico de los accidentes provocados por incendios y explosiones da una idea previa de los posteriores daños que se puedan producir en plantas de igual construcción y funcionamiento. El índice de riesgo tecnológico más utilizado para cuantificar los daños económicos de accidentes de incendio y explosión es el Índice DOW de incendio y explosión.

*Palabras claves:* Análisis histórico; Índice DOW; pérdidas económicas.

---

## Introducción

La industria moderna se caracteriza por un continuo crecimiento de la potencia unitaria de sus instalaciones con el objetivo de alcanzar mejores rendimientos. Independientemente del desarrollo científico –técnico, el aumento del grado de complejidad de los procesos tecnológicos genera condiciones de riesgos en la sociedad y el medio natural que actúa como soporte de la misma. Todos estos avances han ayudado a hacer crecer a la industria química, incrementando su capacidad de producción. Junto a ellas ha incrementado también el número de personas que trabajan en las plantas de proceso y viven en los alrededores que pueden estar expuestas a un accidente industrial. Esto ha provocado una toma de conciencia sobre la seguridad industrial, y con ella, han aparecido a nivel administrativo y teórico medidas para identificar el peligro y así acotar el riesgo de accidentes industriales (Sengupta, 2007). Los accidentes comunes en las industrias químicas incluyen explosiones, fuegos y emisiones tóxicas; sin embargo, las consecuencias más grandes se producen durante un efecto dominó. Un análisis de riesgo puede ayudar prevenir cualquier accidente (Poljanšek et al., 2017). El análisis previo de los riesgos y accidentes suma gran importancia sobre el impacto económico industrial porque es la economía es la base más importante para el desarrollo del país. Una afectación económica provocada por accidentes traería consigo una inversión financiera a la industria aumentando así los costos de inversión y de esta forma se necesitará tiempo para la recuperación y puesta en marcha de la misma, sin contar los gastos provocados por las pérdidas ocasionadas.

En Cuba existen empresas que operan y comercializan combustibles de diferentes tipos, estas sustancias, en sí mismas, representan un riesgo de incendio y explosión por ser altamente inflamables y explosivas, pero en este tipo de empresas, se tiene mayor cuidado con este tipo de accidentes, por lo que se opera de la forma más segura posible y para esto es necesaria el implemento de sistemas que minimicen el riesgo asociado al mismo. El objetivo de este trabajo es analizar accidentes pasados y metodologías para cuantificar el impacto económico de accidentes de incendio y explosión

## Desarrollo

Las industrias de procesos químicos (IPC) a menudo tratan con productos peligrosos, productos químicos y/o procesos que dan lugar al riesgo de grandes accidentes (Abbasi y Khan, 1998; Lees, 2012). Aunque, se han producido avances en la ciencia y la tecnología de los procesos de seguridad, continúan ocurriendo accidentes importantes debido a que cada vez son más grandes los inventarios manejados en todo el mundo. También hay más y más nuevos procesos que se operan bajo condiciones peligrosas de muy altas/bajas temperaturas y/o presiones que generan riesgo (Mariotti et al., 2014; Abbasi et al., 2018)

Muy a menudo se inician accidentes mayores en el IPC en el interior tanques de almacenamiento en tierra o 'atmosféricos' que pueden sufrir pérdida de confinamiento debido a una variedad de razones (Lees, 2012; Nandan et al., 2018; Debernardi et al., 2019).

Los tanques de almacenamiento en refinerías y plantas químicas contienen grandes volúmenes de productos químicos inflamables y peligrosos. Un pequeño accidente puede conducir a la pérdida de propiedades de millones de dólares y unos días de interrupción de producción. Un gran accidente resulta en demandas, devaluación de acciones, o bancarrota de la compañía (Chang y Lin, 2005; Debernardi et al., 2018).

Conforme a Chang y Lin (2005), el impacto de rayo es la causa más frecuente de falla del tanque atmosférico, lo que explica un tercio de todos estos accidentes. Otras causas, en orden decreciente de frecuencia, son error de mantenimiento, error operativo, sabotaje, falla del equipo, grietas y éxtasis, electricidad estática, fugas y líneas ruptura, llamas abiertas, desastres naturales como terremotos y huracanes bastones y reacciones desbocadas, confirmados posteriormente por Abbasi et al. (2018) y Lees, (2012)

De acuerdo a Abbasi et al. (2018b), "ningún elemento del equipo (en un IPC) está involucrado en más accidentes que los tanques de almacenamiento, probablemente porque son frágiles y se daña fácilmente por una ligera sobrepresión o vacío ". Todo accidente pasado los informes de análisis (PAA) lo confirman Lees, (2012).

Los incidentes pueden ocurrir dentro y al aire libre, siendo estos los más importantes porque son a menudo más grandes y tienen el potencial para afectar a más individuos que los descargos interiores. Las consecuencias de descargos al aire libre pueden extenderse al ambiente interior, y puede producir las exposiciones dentro de los edificios y los riesgos subsecuentes desde el punto de vista económico (Blengini et al., 2017; World Health Organization, 2009).

La mayoría de los accidentes catastróficos que han ocurrido en un proceso químico industria comienzan con un charco de fuego, que luego llevan a otros incendios y / o explosiones, que agravan la inicial y así ocurre un accidente muchas veces más. En la vida cotidiana también, como también en incendios forestales, los principales accidentes de incendio comienzan con un pequeño charco de fuego (Abbasi et al., 2018c; Cui et al., 2019; Blengini et al., 2017).

De acuerdo a Abbasi et al., (2018a), debido a estas razones, una comprensión de los factores que puedan influenciar los incendios por charcos de fuego, y los mecanismos asociados, es esencial para idear estrategias para controlar y mitigar el desastre. En el IPC, se relatan estudios de casos de algunos de los principales accidentes de charcos de fuego, realiza un análisis de accidentes pasados y describe el mecanismo de incendios por charcos de fuego.

En la tabla 1 se muestran algunos ejemplos de grandes accidentes que han ocurrido a través de los años, cuyas pérdidas económicas se exponen en la misma.

Tabla 1: *Análisis histórico de los accidentes de incendio y explosión en los últimos años*

<b>Fecha</b>	<b>Lugar/País</b>	<b>Sucesos</b>	<b>Pérdidas estimadas</b>
26 de junio de 1971	Czechowice Dziedzice/ Polonia	Un rayo golpeó uno de los tanques de almacenamiento, causando que su techo colapsara y liberara combustible. Había cuatro tanques de petróleo crudo idénticos cerca. Después de un día, y a pesar de la lucha contra incendios, esfuerzos que en gran medida resultaron inútiles, el primer tanque explotó debido a la ignición de vapores inflamables dentro del tanque. La dispersión del fuego no se movió solo a toda el área de los cuatro tanques también ocurrió en el área de la refinería muy lejos de los bancos (Abbasi et al., 2018a).	No se puede cuantificar
1 de junio de 1983	Newark, New Jersey/ Estados Unidos	Ignición de los vapores de gasolina que se habían formado debido a derrames de un tanque de techo flotante sobrecargado. Entonces iniciaron cuatro incendios. Aunque los diques contenían el derrame ardiente, dos contiguos tanques de techo flotante internos y un tanque de transmisión más pequeño todavía se incendiaron. Los tres fueron destruidos junto con 19100 kilolitros del producto (Abbasi et al., 2018a).	Causó daños por 10 millones de dólares al terminal y hasta 25 millones en reclamaciones legales por daños al material rodante ferroviario y propiedades adyacentes.
13 de noviembre de 1984	Compañía Nacional Pemex/ México	La capacidad total de almacenamiento en las instalaciones de PEMEX era de 16 mil metros cúbicos de gas licuado de petróleo distribuidos en 6 esferas y 48 cilindros de diferentes capacidades. El accidente inició debió a la ruptura	Se estiman pérdidas de hasta 244 millones de dólares.

		de una tubería de 20 centímetros de diámetro que transportaba gas LP. Probablemente diez minutos después se originó un incendio, al encontrar el gas una chispa, generándose una serie de explosiones tipo BLEVE. La planta quedó totalmente destruida.	
21 de diciembre de 1985	Nápoles/ Italia	24 charcos de fuego comenzaron simultáneamente en tanques de almacenamiento de diesel y gasolina. Fueron provocados por una explosión de nube de vapor ocurrido como resultado del sobrellenado de un tanque de techo flotante. El charco se quemó durante 6 días en un área afectada de aproximadamente 49.000 m (Abbasi et al., 2018a).	Aproximadamente 700 kilolitros de inflamables sostenidos. El daño ascendió a 51 millones de dólares.
25 de noviembre de 1990	Denver, Colorado/ Estados Unidos.	Se produjeron siete incendios en tanques de almacenamiento que contenía aproximadamente 61000 kilolitros de la alimentación por chorro. Se cree que los incendios de charcos de fuegos fueron iniciados por la ignición de la fuga de combustible de una bomba de alimentación operativa. El motor eléctrico para la bomba sirvió como fuente de ignición.	30.6 millones de dólares
		Una tubería de suministro agrietada en el pozo de la válvula proporcionó combustible adicional para los incendios del charco de fuego. Alturas de la llama se observaron hasta de 100 m en el momento del accidente (Abbasi et al., 2018a).	
14 de septiembre de 1997	Estación de almacenamiento de Vishakhapatnam/	Fuga durante el llenado de un tanque de almacenamiento combustible que genera una nube	pérdida de propiedad de 64 millones de dólares en 2002

	India.	de vapor que explota, provocando varias otras explosiones e incendia otros tanques a su alrededor. El gas licuado de petróleo se filtró durante varias horas sin ser detectado. Una gruesa manta de humo envolvió la ciudad portuaria resultando en 37 muertes, 100 lesiones (Chang y Lin, 2005; Abbasi et al., 2018a; Nandan et al., 2018).	
16 de abril de 2003	Refinería Humber de ConocoPhillips, Glenpool / Estados Unidos.	Durante la mañana, en la planta de gas saturado (SGP) estaba funcionando normalmente y la Sala de Control Central (CCR) informó un turno silencioso, sin alarmas que se muestran para el SGP. Una falla catastrófica de una sección de tubería en la SGP ocurrió en un codo justo aguas abajo de un punto de inyección de agua en gas en la línea aérea que transporta gas inflamable a alta presión se rompió liberando una gran nube que contenía alrededor del 90% de etano / propano / butano. Aproximadamente 20-30 segundos después, la nube de gas se encendió. Como resultado, se produjo una explosión masiva y un incendio. Quince minutos más tarde, hubo una nueva liberación, que se incendió dando como resultado una bola de fuego. El incendio se hizo mucho más grande (Health and Safety Executive, 2001; Abbasi et al., 2018a).	la compañía fue sentenciada en Grimsby Crown Court y fue multada £ 400,000 en cada cargo con costos de £ 218,854. También fueron multados con £ 20,000 por delitos sobre la legislación de sistemas de presión y £ 75,000 en relación con un incidente no conectado en otra parte; además de los gastos producidos por los días de parada de la producción de la planta y la restauración de casi la totalidad de su equipamiento, con un costo total valorado en 2,35 millones de dólares.
diciembre de 2005	Depósito de Almacenamiento y Tránsito de petróleo de Buncefield/ Reino Unido.	Un accidente a gran escala donde ocurrió una serie de explosiones, que involucraron una gran proporción del sitio con una amplia gama de impactos.	Este costo para el negocio se estimó en base a en reclamaciones, a £ 625 millones (precios de 2008, equivalentes a £ 680 millones).

	Unido.	Aunque no hubo fatalidades o lesiones graves, 43 personas resultaron heridas y hubo daños significativos a propiedad, medio ambiente y negocios. El mayor contribuyente a los costos identificados por la Junta de Investigación de Incidentes Mayores fue el costo para el negocio como resultado de mayores costos operativos, pedidos reducidos, capacidad reducida para cumplir con los pedidos existentes y una falta de seguro adecuado para pequeñas empresas (Aldridge et al., 2015; Atkinson et al., 2015; Abbasi et al., 2018a; Chamberlain et al., 2019).	millones en la actualidad); es decir, 70% del total estimado costo del incidente. Los costos totales estimados de las pérdidas alcanzan cifras de 15 mil millones de dólares.
29 de octubre de 2009	Indian Oil Corporation (COI), Jaipur/ India	Se produjo una devastadora explosión de nube de vapor en un gran depósito de combustible que generó una explosión significativa que provocó la destrucción de la instalación y daños a los edificios cercanos, incluso hasta 2 km de lejanía (Sharma et al., 2013).	El COI estimó que la pérdida total del incendio y la explosión fue de aproximadamente INR 2800 millones (758 millones de dólares) (Lang et al., 2011)
16 de junio de 2010	Puerto Dalian/ China	Ocurrió una ruptura inesperada en el oleoducto. La desulfuración en la nueva terminal de petróleo del puerto de Dalian dio lugar a un incendio grave y accidente de explosión. El petróleo crudo duró más de 15 h. La causa directa del accidente fue la fuga térmica iniciado por el aumento de la inestabilidad de la mezcla de agente desulfurante de petróleo crudo. Exceso de presión en el oleoducto provocó la explosión física, pero solo no fue suficiente para causar un daño grave. En consecuencia, 63000 toneladas de	Las pérdidas directas de propiedad de este accidente alcanzaron hasta 35 millones de dólares, mientras que las pérdidas económicas indirectas, fueron difíciles de estimar.

		petróleo crudo se extendieron a lo largo del circuito de flujo, causando así una grave contaminación marina en un área de hasta 430 km <sup>2</sup> . El accidente fue tan grave y catastrófico debido al efecto dominó provocado por la primera explosión (Han, 2010; Guo et al., 2013; Chen et al., 2016).	
25 de agosto de 2012	Refinería de Amuay/Venezuela	Fuga de gas de una bomba conectada a un tanque causó explosión y fuego que se extendió a otros 11 tanques. Murieron 41 personas y 80 con lesiones graves. Cerca de 3400 casas, restaurantes, escuelas y otras estructuras eran dañado o destruido El funcionamiento de la refinería se detuvo durante 6 días (Abbasi et al., 2018).	Se estiman pérdidas de 1,84 mil millones de dólares.
15 de agosto de 2015	Tianjin/ Cnina	Dos terribles explosiones tuvieron lugar en el puerto de la ciudad china. Sus efectos fueron devastadores: 173 muertos, de los cuales más de la mitad (95) eran bomberos, un número indeterminado de desaparecidos, casi 800 heridos (Chen y Wang, 2018).	provocó pérdidas económicas de 6.866 millones de yuanes.
5 de junio de 2017	Linyi Jinyu Petrochemical Co/ China	El accidente fue provocado por la explosión de un tanque de gas licuado en una zona de carga en la planta de Linyi Jinyu Petrochemical Co. La detonación incendió varios tanques de almacenamiento de combustible en el sitio de la Zona Económica de Lingang en la ciudad de Linyi. Las zonas cercanas fueron evacuadas ( Chen y Wang, 2018).	9 millones de dólares.

Al analizar la tabla anterior se observa que la mayoría de los accidentes inician principalmente por fugas de gases que se convierten en nubes de vapor explosivas o derrames de líquidos formando charcos de fuego, lo que conlleva, en muchas ocasiones, a un efecto en escalado o dominó de mucha gravedad que puede ocasionar grandes daños ambientales, pérdidas humanas y económicas, estas últimas superan los millones de dólares, en las que están representadas las penalidades económicas impuestas por daños al medio ambiente y/o personal, pérdidas de producto o paralización temporal o total de la planta y la restauración total o parcial de los equipos dañados.

En industrias que manejan combustibles, dígame refinerías, estaciones de bombeo y/o almacenamiento, están expuestas a accidentes de gran magnitud. Muchos de estos accidentes pueden ser propiciados por condiciones naturales, fallas catastróficas de los equipos y del personal de la institución.

Un índice es aquel cuyo valor numérico que pretende medir una característica determinada del objeto de un estudio, comparándolo con otros de referencia (Carol, 2001). Por tanto, un índice de riesgo tecnológico pretende evaluar el riesgo inherente de una instalación o proceso industrial, por comparación con otro considerado estándar, mediante el uso de unas listas de comprobación cuantificada y más o menos detallada según el índice utilizado. En algunos casos puede ser compuestos, obtenido a partir de otros de tipo parcial que valoran de forma independiente riesgos específicos de la instalación analizada (INSHT, 1995).

El análisis de riesgos mediante índices es una técnica muy difundida. Su principal característica es que permite obtener resultados semicuantitativos con mucha rapidez y con un conocimiento muy reducido de la instalación objeto de estudio (Carol, 2001; Casal et al., 2002).

Aunque los índices de riesgo no son una herramienta para la identificación de peligros, se aplican mediante la utilización de listas de comparación y éstas permiten identificar los factores de riesgo presentes en la instalación (Casal et al., 1996; Carol, 2001).

Su funcionamiento teórico genérico se basa en la definición del riesgo como esperanza numérica de la pérdida y los diversos índices, de una manera más o menos indirecta pretenden evaluar, mediante la estimación de parámetros, la magnitud del daño y su posible frecuencia (Carol, 2001).

Los índices de riesgo tecnológico según sus efectos se estructuran en tres grandes categorías fundamentales en función de su nivel de descripción de la realidad: índices basados en la definición matemática de riesgo, índices basados en la carga de fuego, índices basados en la peligrosidad de las sustancias químicas. Dentro de éstos últimos se contemplan aquellos índices desarrollados para evaluar el riesgo en instalaciones industriales con actividad química, y uso y mantenimiento de sustancias peligrosas (Carol, 2001). Para este tipo de índices se estudian los riesgos generalmente asociados a estas instalaciones, dígame incendios, explosiones, fugas o derrames e intoxicación.

El método Instantaneous Fractional Annual Loss (IFAL) fue publicado en 1979 por el Insurance Technical Bureau. Se basa en el cálculo de la pérdida anual esperada, expresada como fracción del total del valor de la planta evaluada, promediada durante un largo período de años, y suponiendo que durante ese período las condiciones de operación se mantengan constantes (Carol, 2001; Lees, 2012).

El método IFAL fue originalmente diseñado para clasificar los riesgos para los cuales los datos son demasiado escasos para ser útiles y se ha convertido en un riesgo herramienta de análisis con varias ventajas importantes: básicamente es un método cuantitativo y objetivo; calcula las pérdidas promedio a largo plazo de fuego y explosión, puede mostrar los efectos de los cambios de diseño, de proceso y medidas de prevención de pérdidas e incluye un método de evaluación de la gestión con la subjetividad práctica mínima (Whitehouse, 1995).

Por otro lado, el índice de incendio y explosión ha sido desarrollado por la empresa DOW y está ampliamente respaldado por el American Institute of Chemical Engineers (AIChE). (Ahmadi et al., 2016). Constituye un índice de riesgo exclusivo para incendios y explosiones, pero especialmente desarrollado para empresas químicas con un riesgo significativo.

Los objetivos del método son: cuantificar el daño esperado ocasionado por un incendio o una explosión, identificar los equipos que generan el mayor riesgo potencial y facilitar a la gerencia de seguridad una priorización de las medidas a adoptar (AIChE, 1994; Gupta, 1997; Song y Wang, 2013)

El índice de incendio y explosión (en adelante F&EI) ha sido ampliamente contrastado por la empresa Dow y empleado por muchas otras, particularmente aquellas susceptibles de generar accidentes graves. Sin embargo, se desconoce cuál ha sido el universo de estudio, el método y el rango de empresas y países analizado para el cálculo de los coeficientes (AIChE, 1994; Gupta, 1997).

El método F&EI de DOW, permite evaluar un índice de riesgo exclusivamente derivado de incendio y/o explosión en industrias del sector químico. Los coeficientes aportados para cada factor de riesgo no se justifican estadísticamente, y aunque se observan tendencias muy similares a las de los otros métodos analizados, lo cierto es que los pesos relativos atribuidos en unos y en otros no se corresponden (AIChE, 1994)

El índice DOW, de manera similar, se puede actualizar con insumos frescos. Algunos países en desarrollo con poblaciones de mayor densidad pueden entonces escalar valores para sus situaciones específicas. Basado en el valor F&E, la intensidad de la temperatura, las radiaciones y las sobrepresiones de explosión pueden ser aproximada con la ayuda de los datos históricos. Esta ayudará de una manera más definitiva en su determinación de las causalidades esperadas, así como las medidas exactas a tomar por adelantado para minimizar, por ejemplo, lucha contra incendios, montaje, explosión de paredes contra

explosiones, entre otras. Los ejemplos actuales deben ser revisados y su número debe ser aumentado en gran medida. Uno de los ejemplos más detallados y completos sobre el uso del índice DOW se muestran en otras situaciones tal es el caso de la oxidación de propano, en donde el relleno del formulario F&E había sido demostrado mediante seis de las unidades de fabricación, a saber: área de reacción, absorbedor de alcohol, recuperación de propano, separación de alcohol, almacenamiento de propano, almacenamiento de alcohol. Éstas son bastante instructivas. El Índice DOW, basado en la experiencia de los países desarrollados pero cada vez más utilizados en todo el mundo, asume que la formación, experiencia, actitudes de gestión y personal hacia el trabajo y la seguridad, disponibilidad de fondos puede ser modificado para la situación (ALChE, 1994; Gupta, 1997; Mannan, 2006).

El F&EI añade posteriormente unas consideraciones adicionales que permiten estimar el importe de los daños materiales originados por un accidente y la pérdida de beneficios derivada de la paralización de las instalaciones. Con ello se convierte en una herramienta básica para la gerencia de riesgos (AIChE, 1994).

Contrariamente a lo que sucedía con los métodos de aplicación general, el F&EI no contempla el peligro para las personas ni las condiciones de evacuación (AIChE, 1994).

El ALChE desarrolló en colaboración con la Compañía DOW, una Guía de F&EI, que se ha convertido en una referencia estándar en numerosos países para evaluar los posibles peligros por incendio y explosión. En la industria de procesos químicos su uso también se está extendiendo a los países en desarrollo por su carácter internacional de grandes proyectos que involucran financiación multinacional, así como las licencias de tecnología, diseño, fabricación, puesta en marcha y / o formación por parte de empresas extranjeras porque el índice DOW proporciona medios comunes de evaluación (ALChE, 1994; Gupta, 1997).

Como limitaciones más destacables se indican la no consideración de los incendios exógenos ni la propagación de un incendio a plantas vecinas (efectos dominó). Tampoco se hacen consideraciones relevantes con relación al riesgo de contaminación ambiental por escapes, fugas o generación de atmósferas tóxicas. La estimación de las consecuencias de una fuga se deja a criterio del analista y se renuncia a la aplicación de algún modelo de dispersión o técnica equivalente más objetiva (Gupta, 1997).

Como gran ventaja destaca el hecho de que el método ha venido aplicándose durante decenas de años con un resultado práctico que ha permitido su revisión y puesta al día (Gupta, 1997).

El índice Mond fue desarrollado por Imperial Chemical Industries (ICI) y la primera versión apareció en el año 1979. La exposición que se hace a continuación se basa en la segunda edición del método, publicada por ICI en 1985 (ICI, 1985).

Es un índice de riesgo de incendio y explosión aplicable a industrias de proceso de gran capacidad productiva. Sin embargo, la toxicidad de los materiales involucrados o de los que posiblemente se generen en un accidente, es contemplada únicamente como un factor agravante en las tareas de control y limitación de la incidencia y no como un posible riesgo en sí mismo (Carol, 2001).

La aplicación del método, a diferencia de los anteriores, es iterativa, por cuanto en primer lugar se divide la instalación objeto de estudio en unidades de proceso, se describen los materiales determinantes en el riesgo y se evalúa el peor caso. Una vez obtenido un primer resultado, se corrige con la modificación de los índices más determinantes (si ello es razonable) y por último se modifican los valores obtenidos mediante la aplicación de unos factores correctores que tienen en consideración aquellos aspectos que minimizan el riesgo, igual que se hacía en el método DOW (Carol, 2001).

El método no se complementa con cálculos sobre la pérdida de beneficios, el área afectada o los días de paralización. Sin embargo, se subdivide en varios factores indicadores de riesgos parciales, calculando las pérdidas de explosión e incendio por separado (Carol, 2001).

Resulta interesante destacar que hay unas semejanzas evidentes con el método DOW, en especial en lo que a los factores considerados se refiere. Sin embargo, la evaluación del índice de riesgo no se limita al producto de unos factores por otros, sino que introduce en la fórmula de cálculo exponentes fraccionarios y correcciones por temperatura o presión. No obstante, se desconocen las bases de cálculo utilizadas para el ajuste de los coeficientes, así como los casos estudiados para la obtención de los valores calculados (Carol, 2001).

El Índice de Mond en una guía más elaborada, explica varias características adicionales y también se puede utilizar para estimar los efectos de las variaciones o medidas preventivas y de seguridad. Aunque puede apreciarse algunas similitudes evidentes con el método de DOW. Los factores estudiados son casi los mismos y los pesos relativos asignados guardan una relación importante. El método de Mond constituye un desarrollo del F&EI de DOW que amplía el resultado aportando índices parciales para el incendio, la explosión aérea o la que se produce en situaciones de confinamiento (Gupta, 1997; Carol, 2001).

Como desventaja, no se contempla en lo absoluto otros riesgos presentes como derrames, fugas, contaminación de suelos y otros factores, y la estimación del área afectada no queda determinada (Carol, 2001).

El índice de la Unión des Chambres Syndicales de l'Industrie du Petrole (Método UCSIP) es un método desarrollado por la Unión des Chambres Syndicales de l'Industrie du Petrole en Francia. Sus objetivos son el análisis semicuantitativo de riesgos en términos de probabilidad y gravedad, que se integran en el cálculo del factor de seguridad. Se desarrolló para industrias petroleras, refinerías y plantas petroquímicas, aunque es de fácil adaptación a otras industrias del sector químico. Su compleja aplicación hace casi imposible su cálculo

sin apoyo informático. Incluso en ocasiones es preferible abordar un análisis cuantitativo de riesgos completo (Carol, 2001). Frente a los otros métodos antes descritos, en más detallado, especialmente por lo que se refiere a la evaluación de las consecuencias.

El Índice de riesgo de procesos químicos (INSHT) es elaborados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, pretenden la evaluación sistemática de todos los riesgos (tecnológicos y laborales) presentes en las plantas de tipo químico (por separado), con un enfoque muy similar al de los métodos específicos descritos anteriormente y sin embargo con aportaciones muy significativas en cuanto a las hojas de trabajo y la parametrización de los factores de riesgo (INSHT,:1995).

El INSHT es un método desarrollados específicamente para plantas de tipo químico. Sin embargo, no se limita a la evaluación de un índice de riesgo de incendio y/o explosión, sino que contempla una larga relación de peligros, incluidos los relacionados con el área de higiene y condiciones de salud laboral. En este sentido resulta muy útil para valorar riesgos toxicológicos o de accidentes graves no necesariamente de incendio (Carol, 2001).

Su aplicación requiere de un conocimiento especialmente detallado del riesgo analizado y de las condiciones de trabajo del mismo. También, se apoya de forma significativa y evidente en conceptos tratados por el índice de Mond y DOW, pero aportando criterios adaptados a otras normativas, por lo que permite la evaluación de la adecuación a normas de forma bastantes sencillas (Carol, 2001).

El Índice Chemical Exposure Index de DOW (CEI) tuvo la primera versión de este método en 1986 por DOW y contempla el riesgo de exposición a contaminantes químicos derivado de un accidente tecnológico agudo. Por lo tanto, no es un índice de riesgo de incendio como los anteriores y, en principio, si exclusivo para aplicar en industrias químicas o que manipulen sustancias tóxicas o peligrosas. No evalúa las probabilidades de ocurrencia del suceso y no valora la mayor o menor peligrosidad intrínseca del proceso, sino que únicamente estima la peligrosidad de manipular una sustancia peligrosa en un área determinada (Carol, 2001).

Para valorar el impacto de una fuga accidental, se consideran en el CEI cinco parámetros fundamentales: toxicidad, cantidad de materia emitida a la atmósfera, distancia al área sensible a la fuga, peso molecular de la sustancia y otras variables que influyen en la magnitud del daño (Carol, 2001).

Según Gupta, (1997) y Carol, (2001) pese a que los resultados obtenidos de la aplicación del índice se consideran buenos, se apuntan unas limitaciones importantes que han motivado la revisión del mismo. Por una parte, la selección de los escenarios era inconsistente de una planta a otra, provocando resultados totalmente dispares en instalaciones muy similares. Por otra, la poca sensibilidad del método a la descripción de la propia planta implica que la incorporación de medidas correctoras queda incorrectamente reflejada en la disminución del índice CEI.

## Conclusiones

El análisis histórico de los accidentes provocados por incendios y explosiones da una idea previa de los posteriores daños que se puedan producir en plantas de igual construcción y funcionamiento. La herramienta más aceptada para evaluar el impacto económico de accidentes provocados por incendios y explosiones es el Índice de Incendio y Explosión de Dow, porque este solamente contempla las pérdidas causadas por incendio y explosiones, además, los otros métodos presentan algunas limitaciones: el método IFAL es ideal pero las condiciones de diseño de una planta, que no es el caso de este trabajo; el método de Mond no se complementa con cálculos sobre la pérdida de beneficios, el área afectada o los días de paralización, el método UCSIP necesita para su aplicación el apoyo de soportes informáticos avanzados debido a la complejidad matemática que presenta y el índice CEI de Dow únicamente estima la peligrosidad de manipular una sustancia peligrosa en un área determinada.

## Referencias bibliográficas

ABBASI, S. A., ABASSI, T., POMPAPATHI, V. TAUSSEF, SM. a. *Case studies of 28 major accidents of fire/explosions in storage tank farms in the backdrop of available codes/standards/models for safely configuring such tank farms*. 2018, pp. 331-338.

ABBASI, S. A., ABBASI, T. PANDEY, S. TAUSEEF, S. M., VIPIN, K. 2018. b. *Pool Fires in Chemical Process Industries: Occurrence, Mechanism, Management*. [en línea]. [fecha de consulta: 4 enero 2020]. Disponible en: <http://doi/10.1007/s11668-018-0517-2>

ABBASI, S. A., ABBASI, T., MUKHIM, E. D., TAUSSEF, S. M. 2018. c. *Domino effect in chemical process industries triggered by overpressure. Formulation of equipment-specific probits*. [em línea]. [fecha de consulta: 15 diciembre 2019]. Disponible en: <http://doi/10.1016/j.psep.2017.01.004>

AGRAWAL, R., GHUGE, S. P., GURJAR, B. R., SHARMA, R. K., WATE, S. R. 2103. *Assessment of an accidental vapor cloud explosion: Lessons from the Indian Oil Corporation Ltd. Accident at Jaipur, India* [en línea]. India [fecha de consulta: 7 enero 2020]. Disponible en: <http://doi/10.1016/j.jlp.2012.09.009>

AHMADI, O y ZARRANEJAD, A. *Fire and explosion risk assessment in a chemical company by application of DOW fire and explosion index*. Iran: Tarbiat Modares University, 2016.

ALBRIDGE, T., CRUSE, H., MUNDAY, M., ROCHE, N. *Modelling the economic impacts of an accident at major hazard sites*. 2015.

AIChE. *Dow's fire and explosion index hazard classification guide*. 7th Ed. New York. Published by the American Institute of Chemical Engineers. New York, Unites States. 1994.

ALLEN, N. *Hazards of high flash point liquids in relation to the ATEX 137 Directive*. United Kingdom: Symposium, 2009.

ATKINSON, G., COLDRICK, S., CUSCO, L., GANT, S. 2105. *Flammable vapor cloud generation from overfilling tanks: Learning the lessons from Buncefield*. [en línea]. United Kingdom. [fecha de consulta: 7 enero 2020]. Disponible en: <http://doi/10.1016/j.jlp.2014.11.011>

BLENGINI, G.A., BLAGOEVA, D., DEWULF, J., TORRES DE MATOS, C., NITA, V., VIDALLEGAZ, B., LATUNUSSA, C. E. L., KAYAM, Y., TALENS PEIRÒ, L., BARANZELLI, C., MANFREDI, S., MANCINI, L., NUSS, P., MARMIER, A., ALVES-DIAS, P., PAVEL, C., TZIMAS, E., MATHIEUX, F., PENNINGTON, D., CIUPAGEA,

C. 2017. *Assessment of the Methodology for Establishing the EU List of Critical Raw Materials*. [en línea]. Luxembourg. [fecha de consulta: 20 diciembre 2019]. Disponible en: <http://doi/10.2760/73303.JRC106997>

CAROL, S. Tesis presentada para optar al grado de Doctor Ingeniero Industrial. *Una nueva metodología para la predicción de la gravedad de los accidentes industriales aplicando el análisis histórico*. Barcelona, Universidad de Barcelona. 2001.

CASAL, J., MONTIEL, H., PLANAS, E., VILCHEZ, J. Análisis del riesgo en instalaciones industriales. 2ª ed. Barcelona: Ediciones UPC. 2002.

CHAMBERLAIN, G., ORAN, E., PEKALSKI, A. 2019. *Detonations in industrial vapor cloud explosions*. [en línea]. [fecha de consulta: 7 enero 2020]. Disponible en: <http://doi/10.1016/j.jlp.2019.103918>

CHANG, J. I. y LIN, C. C. *A study of storage tank accidents*. 2005, pp. 51-59

CHEN, D., ZHAO, J., ZHAO, X., ZHOU, Y. 2016. *Research on fire and explosion accidents of oil depots* [en línea]. [fecha de consulta: 8 enero 2020]. Disponible en: <http://doi/10.3303/CET1651028>

CHEN, M. Y. y WANG, K. 2018. *A Bow-Tie model for analyzing explosion and fire accident induced by unloading operation in petrochemical enterprises* [en línea]. [fecha de consulta: 8 enero 2020]. Disponible en: <http://doi/10.1002/prs.11990>

CLARK, I., DE GROEVE, T., MARIN FERRER, M., POLJANŠEK, J. 2017. *Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less*. [en línea]. Luxembourg. [fecha de consulta: 15 diciembre 2019]. Disponible en: <http://doi/10.2788/688605>

CUI, H., HU, Y., MA, S., YUAN, C., ZHANG, Y., ZUO, T. 2019. *Analysis method for causal factors in emergency processes of fire accidents for oil-gas storage and transportation based on ISM and MBN*. [en línea]. [fecha de consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <http://doi/10.1016/j.jlp.2019.103964>

DEBERNARDI, M. L., DANZI, E., DI LOLLI, A., MARMO, L., RICCIO, D., SALZANO, E. 2019. *A case study of multiple explosions of chemicals under fire conditions*. [en línea]. [fecha de consulta: 17 enero 2020]. Disponible en: <http://doi/10.1016/j.jlp.2019.103932>

GUO, S., PENG, M., RUAN, J., WAM, W. *Caude analysisof the fire and explosion during crude oil desulfurization in China*. China. 2013, pp. 961-967.

GUPTA, J.P. 1997. *Application of DOW's fire and explosion index hazard classification guide to process plant in the developing countries*. [en línea]. Kampur [fecha de consulta: 7 enero 2020]. Disponible en: [http://doi/10.1016/S0950-4230\(03\)00044-5](http://doi/10.1016/S0950-4230(03)00044-5)

HAN, S. Q. 2010. *Accident process and cause analysis of "7.16" explosion and fire accident of pipeline in Dilan China Petroleum of Internatioa Logistics Company* [en línea]. China: Dilian [fecha de consulta: 7 enero 2020]. Disponible en: [http://refhub.elsevier.com/S0950-4230\(13\)00190-3/sref](http://refhub.elsevier.com/S0950-4230(13)00190-3/sref).

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. Public Report of the fire and explosion at the Conocophillips Humber Refinery on 16 april 2001. United States. 2001.

ICI. Imperial Chemical Industries. The Mond Index. Second edition. ICI, Winnington. 1985.

INSHT. Índices de riesgo de procesos químicos. INSHT, Barcelona. 1995.

LANG, X. Q., LIU, Q. Z., GONG, H., TAO, B. *Some thinking about a few major fire accidents in oil depot*. In: *China Occupational Safety and Health Association. Proceedings of the 2011 Annual Meeting of China Occupational Safety and Health Association*. Beijing. 2011.

LEES, F. P. *Loss prevention in the process industries: Hazard identification, assessment and control, fourth edition*. ED. Mannan S., Elsevier Butterworth-Heinemann. 2012.

MANNAN, M., SUARDIN, J., SAM, EH. *The integration of Dow's fire and explosion index (F&EI) into process desingn and optimization to achieve inherently safer design*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2006.

MARIOTTI, V., NOMEN, R., SEMPERE, J. 2014. *QRA including domino effect as a tool for Engineering Design*. [en línea]. [fecha de consulta: 3 enero 2020]. Disponible en: <http://doi/10.1016/j.proeng.2014.10.406>

NANDAN, A. SADDIQUI, N. A., SHARMA, V. *Study and analysis of storage tank hazard and its mitigation measures using bow tie diagram*. Uttarkhand. India. 2018

SENGUPTA, A. Tesis presentada para optar el título de Máster en Ciencias. *Industrial Hazard, Vulnerability and Risk Assessment for Landuse Planning A Case Study of Haldia, West Bengal, India*. India. NRSA, 2018.

SONG, W y WANG, J. *Fire and explosion index calculation method incorporating classified safety measura credits*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2013

WHITEHOUSE, H. B. IFAL: A new risk analysis tool. no. 93, 1995, pp. 309.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Manual for the public health management of chemical incidents. 2009.



---

*Monografías 2020*  
*Universidad de Matanzas* © 2020  
ISBN: