

IMPACTO SOCIAL Y ANÁLISIS HISTÓRICO DEL EFECTO DOMINÓ DE ACCIDENTES EN LA INDUSTRIA

MSc. Julio Ariel Dueñas Santana¹, Ing. Dainelys Febles Lantigua², Maylín Luis León¹

1. Universidad de Matanzas, julio.ariel@umcc.cu

2. Empresa de Producción de ácido sulfúrico en Matanzas

Resumen

Uno de los efectos más devastadores de los accidentes es precisamente su carácter continuado, denominado efecto dominó. Precisamente por eso, se hace necesario analizar dónde y por qué han ocurrido este tipo de eventos, además del impacto social que provocan los mismos. Por esa razón, esta investigación se basa en describir los eventos dominó que han ocurrido en el pasado, así como, las herramientas más utilizadas para determinar el impacto social de los mismos. La secuencia del efecto continuado de accidentes es más probable que se desarrolle como máximo hasta los posibles accidentes terciarios, según el análisis histórico de accidentes dominó. La literatura especializada concuerda en que la determinación de la probabilidad de escalado es un paso esencial para el pronóstico del efecto dominó. Las técnicas más empleadas son las curvas de isorriesgos, mientras que, para la cuantificación del riesgo social, son las curvas frecuencia-número de fatalidades.

Palabras claves: Efecto dominó; análisis histórico; impacto social; QRA.

Introducción

En el desarrollo de la industria petrolera, en todos los procesos de separación para la obtención de derivados del petróleo, así como su almacenamiento y transporte poseen un riesgo potencial. Sus procesos involucran una gran cantidad de sustancias peligrosas, debido a esto, junto con la rápida industrialización y el aumento de la población hacen que las personas, el medio ambiente, la economía sean altamente vulnerables a los accidentes derivados de dicha industria. Un análisis crítico de la bibliografía especializada muestra que la tendencia de accidentes recientes reafirma que el mundo está muy lejos de reducir el riesgo de accidentes industriales a niveles aceptables (Poljanšek et al., 2017). Lo que hace necesario el uso de herramientas que permitan cuantificar los daños por estos accidentes para, de esta forma, lograr una mejora significativa en la prevención de los mismos. En Cuba la industria petrolera se caracteriza por la existencia de refinerías, empresas de perforación de petróleo y empresas comercializadoras de combustibles que se encargan del procesamiento del petróleo crudo con distintos fines. Debido al elevado nivel de inflamabilidad y volatilidad de las sustancias manejadas en las mismas un alto riesgo de incendio y explosión. El objetivo de este trabajo es realizar un análisis histórico y así describir las técnicas más empleadas en la cuantificación del impacto social del efecto dominó de accidentes de incendio y explosión.

Desarrollo

El elemento principal que identifica a los escenarios donde un efecto dominó ocurre es el efecto de propagación. Dos elementos principales de un escenario dominaron que se pueden identificar en relación al elemento propagación son: la presencia de un escenario de accidente primario y uno o más escenarios de accidente secundarios (Casal et al., 2002; Lisia et al., 2014; Tabassum-Abbasi et al., 2018).

❖ Buncefield, 2005.

El depósito de Buncefield es un tanque de almacenamiento en una granja localizada a 3 millas del centro de Hemel, Hempstead (Reino Unido). El lugar está rodeado de áreas residenciales. Fue el quinto depósito de combustible más grande en el país. El depósito distribuyó combustibles a varios sitios a través de tres tuberías. El combustible de aviación (jet fuel) se distribuye a los aeropuertos Heathrow y Gatwick por otras dos tuberías.

La secuencia de accidentes se divide en las siguientes etapas (Abdolhamidzadeh et al., 2018):

- A. Pérdida de contención inicial: A aproximadamente, las 19:00 horas del sábado 10 de diciembre de 2005, se comenzó a suministrar gasolina (con un 10% de butano) al tanque 912. Alrededor de las 05:30 del 11 de diciembre, el tanque se llenó, pero fallaron los sistemas de seguridad para cerrar la válvula de entrada de combustible y se formó una cascada del combustible desde el tope del tanque. Se dispersó una

nube de vapor (una mezcla de fracciones volátiles del combustible y del aire) hacia el oeste y llegó hasta otra zona industrial, también se dispersó al norte y al sur. Se estima que se escaparon aproximadamente, 300 t de combustible del tanque, el 10% del cual se vaporizó y formó la nube de vapor.

- B. Primera explosión: El área cubierta por la nube fue entre 80 000 m² y 100 000 m² a una altura de aproximadamente 2 m. A las 06:01:32 del domingo 11 de diciembre, tuvo lugar una explosión masiva.
- C. Incendio y explosiones adicionales: La explosión fue seguida de un incendio inmenso, que envolvió a 20 tanques de almacenamiento. Hubo otras explosiones pequeñas, independientes de la primera (probablemente, dentro de los tanques afectados por el incendio).
- Secuencia dominó: Las principales etapas en la cadena de eventos fueron:
- Derrame de gasolina (desbordamiento de un tanque).
 - Desarrollo de una nube de vapor.
 - Ignición.
 - Explosión de una nube de vapor.
 - Incendios abrasando tanques.

Desde el punto de vista del accidente dominó, la secuencia se simplifica a: explosión de una nube de vapor-incendios-explosiones más pequeñas.

El origen del accidente fue la falla del sistema de bombeo. El tanque recibía un flujo de 550 m³/h. Siete minutos antes del accidente, el flujo se incrementó hasta 890 m³/h. se calcula que el tanque 912 se llenó completamente a las 05:20 aproximadamente. Esto significa que, en el momento de la explosión, más de 300 t de gasolina se derramaron. La onda expansiva y los efectos térmicos resultaron en una destrucción de una parte significativa del lugar, así como, en los sitios vecinos y parqueos de automóviles (Kadri et al., 2013).

❖ Naples, 1985.

Este accidente mayor fue similar al de Buncefield. Ocurrió en Naples en su zona de almacenamiento de combustibles en 1985: derrame del tanque y formación de una nube de vapor, explosión e incendio. La secuencia de eventos fue la siguiente:

- A. Pérdida de contención inicial: A finales de la tarde del 20 de diciembre, el flujo era de 780 m³/h de gasolina. A la 01:20 del 21 de diciembre, el flujo de combustible fue

dividido a los tanques 17 y 18 simultáneamente; este no fue el procedimiento adecuado; los operadores debieron vaciar previamente el tanque 17 y luego, el tanque 18, pero ellos decidieron arbitrariamente cambiar el procedimiento. Llenando los dos tanques a la vez, alrededor de las 04:00, el tanque 17 estaba completamente lleno y comenzó a derramarse a través del techo flotante por más de una hora: se derramaron acerca de 700 t de gasolina.

B. Explosión de una nube de vapor: Una suave brisa (2 m/s), unida a la ignición retardada favoreció la formación de una gran nube de vapor, que cubrió aproximadamente 20 000 m². Se estimó una masa evaporada total de 135 t, que formó 45 000 m³ de una nube de vapor inflamable equivalente a 4 t. La ignición se debió probablemente a un incendio pequeño fuera de la planta, cerca del área de bombeo.

C. Incendio: Siguiendo a la explosión, hubo un incendio extensivo que duró 1 semana. El área de almacenamiento fue casi totalmente destruida. La onda expansiva provocó cinco heridos dentro del área y efectos menores provocados hasta 5 km.

➤ Secuencia dominó: Las etapas en la cadena de eventos fueron:

- Derrame de gasolina.
- Desarrollo de una nube de vapor.
- Ignición.
- Explosión de una nube de vapor.
- Incendios abrasando tanques.

Estas etapas, desde el punto de vista del accidente dominó, se simplifica como: explosión de una nube de vapor-incendio.

❖ Valero (Texas), 2007.

El 16 de febrero a las 02:09 en una refinería en Texas, se produjo un chorro de un líquido de propano a partir de una tubería de alta presión, cerca de una torre de extracción (donde el líquido propano se utiliza, como solvente para separar el gas del asfalto). Cuando los operadores determinaron que el material liberado fue propano, la alarma de incendio se activó (12:10) y se evacuó el área. Se formó una nube de vapor y se produjo la ignición. El fuego retrocedió a la fuente de derrame. Las llamas engulleron a varias tuberías cerca del extractor, liberando chorros de propano adicionales, los cuales también se incendiaron. El fuego debilitó la estructura de la columna de soporte, lo cual no estaba previsto por el aislamiento a prueba de incendios. Una esfera de butano (1 600 m³) se afectó por la

radiación térmica y se liberó más de su contenido a la atmósfera. La refinería fue evacuada 15 minutos antes de iniciar el accidente. La secuencia del accidente se divide en las etapas siguientes:

- A. Pérdida de contención inicial: Derrame del propano líquido a partir de una falla relacionada a una alta presión (35,5 bar) en una tubería en una estación de control que no había estado en servicio durante 15 años. El agua contenida en el propano se acumuló en un punto bajo y se congeló durante el tiempo frío y provocó una rotura en la tubería. El propano inicial se derramó a una velocidad de 34 kg/s.
 - B. Incendio y chorros de fuego: Luego de las llamaradas iniciales, las llamas retrocedieron y formaron un chorro de fuego turbulento, con llamas que incidían en otras tuberías. Debido a los altos flujos de calor, fallaron las tuberías. Se formó un nuevo chorro de fuego de propano, con efectos térmicos directos en los equipos circundantes. Se dificultó el sistema contra incendios por vientos fuertes y un rápido crecimiento del fuego.
 - C. Nube tóxica: estuvieron sujetos al calor por radiación, tres contenedores de cloro y los tres liberaron su contenido. Uno de ellos ventiló completamente y los otros parcialmente. Más de 2,5 t de cloro se liberaron a la atmósfera. Hubo escapes de ácido sulfúrico.
- Secuencia dominó: Las etapas del evento fueron:
- Derrame de propano líquido presurizado.
 - Chorros de fuego y llamaradas.
 - Chorros de fuego múltiples.
 - Escape desde los tanques y rupturas.
 - Nube tóxica de cloro.

Y, como un accidente dominó de esta forma se representa como: chorros de fuego-incendios de chorro de fuego-nube tóxica.

El incendio fue finalmente, extinguido el 18 de febrero, 54 h después del primer incidente. Muchos de los equipos del área se destruyeron, y la refinería estuvo fuera de operación durante dos meses.

❖ Corbin (Kentucky), 2003.

El 20 de febrero de 2003 a las 07:30, un incendio originado de una explosión de polvo de resinas fenólicas. El accidente mató a siete operadores y hubo 37 perjudicados y más. A las explosiones les siguió un incendio. Este accidente mayor es un ejemplo de efecto dominó de explosión de polvo.

La secuencia dominó fue incendio-explosión-explosión + incendio. Las consecuencias del accidente fueron la muerte de siete empleados y 37 perjudicados. Hubo daños severos a la planta.

La aplicación de medidas de seguridad adecuadas reduce sustancialmente la frecuencia de este tipo de accidentes. Cualquier información que se derive de accidentes pasados es de suma importancia para implementar estas medidas.

El análisis cuantitativo de riesgos incluye, en los casos de seguridad, particularidades suficientes que demuestran que se han identificado todos los peligros con el potencial de causar un accidente mayor y para esto es indispensable el análisis de los accidentes provocados por efecto dominó que son crecientes en el mundo actual y tienen un alto impacto puesto que provocan contaminación ambiental, pérdidas monetarias, además, de daño a la salud y hasta la muerte (Dueñas, 2018).

Numerosas normativas internacionales obligan a realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgo (QRA) en instalaciones que manejen sustancias peligrosas. Dicho análisis se emplea en muchas áreas de aplicación, y en la literatura científica se han presentado numerosos modelos y aplicaciones específicas con el objetivo de implementar la seguridad tanto en el diseño como en la operación de procesos.

El análisis de accidentes dominó da la posibilidad de investigar fallas específicas de diversos escenarios de escalado: los eventos que más frecuentemente provocan un accidente dominó, las secuencias de escalado más frecuentes, las sustancias peligrosas que son más propensas a estar involucradas en este tipo de accidentes. El escenario dominó muestra, de forma general una mayor severidad con respecto a los escenarios convencionales (Nomen et al., 2014).

Existen distintas interpretaciones en la definición de un accidente dominó, (Bagster et al., 1991; Bozzolan et al., 2007; CCPS, 2000; Cozzani et al., 2006; Delvosalle, 1998; Gorrens et al., 2009; HSE, 1984; Khan et al., 1998; Less, 1996; Less, 2005; Post et al., 2003; Uijt et al., 1999; Vallee et al., 2002) pero la mayoría de los autores coinciden en que deben estar presentes tres factores:

- Un evento iniciador o evento primario en alguna unidad.
- La propagación de ese accidente a una o más unidades (eventos secundarios).

- Una intensificación de las consecuencias, generando un accidente más grave que el primario.

Un análisis realizado en 2011 evidencia que la mayoría de los accidentes dominó involucran sustancias inflamables y que los incendios han sido los accidentes más provocados en un record de 43%, dentro de los cuales el escenario más específico el charco de fuego resultando en un escalado 80% de accidentes dominó iniciados por el fuego (Dueñas, 2018).

La evaluación de posibles escenarios dominó comienza con la identificación de los objetivos secundarios que pueden ser alcanzados por un evento primario. Ello se realiza utilizando los valores límites de ciertas propiedades que pueden dañar a los equipos en el entorno. Estos “valores umbrales” dependen de dos factores; el vector escalado y el objetivo que es alcanzado por el evento primario (Cozzani et al., 2006). El vector de escalado es necesario en los accidentes de carácter continuado, que, no es más, que un vector de efectos físicos generados por el escenario de accidente primario, el cual causa su propagación (Necci et al., 2015).

La relación entre los efectos físicos del accidente primario y el daño potencial causado sobre las unidades cercanas y partes del equipamiento, referidas como modelos de vulnerabilidad tiene como objetivo calcular una probabilidad de daño como una función de la intensidad de los efectos físicos y de las características constructivas (ABOUD et al., 2008; Cozzani et al., 2006).

El efecto físico en el que se manifieste el escenario puede ser responsable del escalonado: onda expansiva calor de radiación y proyección de fragmentos (Kadri et al., 2013).

En accidentes industriales las ondas expansivas, pueden generarse a partir de diversos escenarios: roturas de tanques, explosiones de nubes de vapor, BLEVE y explosiones de vapores condensados. Junto a las ondas expansivas las explosiones pueden generar, además, proyección de fragmentos, es usualmente provocada por explosiones internas, causando la falla de equipos, siendo parte de la energía de la explosión empleada para proyectar fragmentos (Laurent et al., 2016; Cozzani et al., 2006; Michael et al., 2016).

Los incendios estacionarios como charcos de fuego son responsables de la gran mayoría de los eventos escalonados en accidentes industriales (Gómez et al., 2008). El escalado es usualmente retardado con respecto al evento inicial, por ser el efecto térmico dependiente, en gran medida, del tiempo. El lapso de tiempo entre el inicio del accidente de incendio y la falla en el equipo dañado por el fuego se denomina tiempo de falla (ttf por sus siglas en inglés time to failure). El tiempo de falla es necesario determinarlo y existen en la literatura correlaciones para estimarlo (Kusumkant et al., 2016; Nima et al., 2015).

Según Necci et al., (2015) los modelos de vulnerabilidad de equipos son las herramientas más usadas para permitir la evaluación de probabilidad e intensidad de escenarios

secundarios, debido a la necesidad de un análisis minucioso de las consecuencias del escenario primario y el daño estructural potencial causado por los recipientes secundarios.

La evaluación de posibles escenarios dominó comienza con la identificación de los objetivos secundarios que pueden ser alcanzados por un evento primario. Ello se realiza utilizando los valores límites de ciertas propiedades que pueden dañar a los equipos en el entorno. Estos “valores umbrales” dependen de dos factores: el vector de escalado y el objetivo que es alcanzado por el evento primario. Así los efectos físicos que pueden producir un escalado de las consecuencias son la radiación (w/m^2), la sobrepresión (Pa) y el alcance de los proyectiles (m). Este enfoque es bastante simple, pero la definición de umbrales no específicos da como resultado valores conservativos de los efectos físicos. Para alcanzar una aproximación más realista (Cozzani et al., 2006) presenta valores umbrales en función del mecanismo de propagación y del tipo de objetivo.

La determinación de valores umbrales confiables es clave para la selección de escenarios de propagación creíbles, los que resultan imprescindibles para cuantificar y evaluar accidentes considerando una serie de eventos sucesivos. Si el daño generado por un evento primario supera un cierto valor umbral, el efecto dominó es posible (Loayza et al., 2015; Kidam et al., 2013).

Un análisis detallado de todos los escenarios posibles dominó puede ser muy complicado. Por lo que, la evaluación dominó, debe ser llevada a cabo a diferentes niveles de detalle, dependiendo del contexto y del análisis (Nima et al., 2015).

Es posible el cálculo de la posibilidad de escalado mediante las metodologías antes expuestas las cuales están validadas científicamente por el análisis bibliográfico efectuado en el mismo. Se deben considerar los vectores de escalado para identificar los posibles accidentes secundarios y calcular la probabilidad de cada uno de forma individual. Se tienen en cuenta para esto, parámetros importantes en función del tipo de daño y que la magnitud de las consecuencias de los accidentes secundarios, es mucho mayor que la de los accidentes primarios.

Cozzani et al., (2013) definen las técnicas cualitativas como aquellas técnicas que basan su funcionamiento tanto en los procesos de estimación analítica como en la capacidad o habilidad de los directivos de seguridad, por otra parte, se define este tipo de análisis como aquel que brinda un listado de posibles causas y/o efectos de cada peligro. Analizando estas definiciones podemos concluir que las técnicas cualitativas deben brindar un listado de posibles causas y/o efectos de cada peligro basado ya sea en la experiencia del equipo de realización del análisis o en procesos de estimación analítica.

En la industria petroquímica el riesgo existe desde la extracción, procesamiento, almacenamiento y transporte del petróleo hasta la fase de utilización del producto. Los impactos sociales son principalmente sobre el capital humano, el bienestar humano, el patrimonio cultural, la economía y el comportamiento social (Hedlund et al., 2018).

Una evaluación holística del riesgo debe tener en cuenta, por una parte, el daño físico esperado en las infraestructuras, el número de víctimas, las pérdidas económicas y medioambientales (efectos de primer orden). Por otra parte, las condiciones relacionadas con la fragilidad social y la falta de resiliencia de las comunidades que favorecen que se produzcan los daños (efectos de segundo orden) (Dueñas, 2018).

La gestión de riesgo tecnológico depende de su medición y del grado de precisión con que sean determinadas las variables que lo condicionan y su sinergia. Esta permite calcular un índice de riesgo total, al evaluar el riesgo físico existente RF afectado por un coeficiente F, que depende de las condiciones de vulnerabilidad social ante un evento catastrófico dado.

En la ecuación original se considera la probabilidad de ocurrencia de un evento igual a uno y los descriptores utilizados alusivos a eventos catastróficos de origen natural. En otros estudios, son utilizadas escalas cualitativas para la evaluación de las variables (muy elevada, elevada, moderada, baja y muy baja), logrando de esta forma una mayor percepción del escenario probable.

Los descriptores de riesgo físico, de fragilidad y de falta de resiliencia utilizados en la evaluación holística del riesgo toman distintas unidades. Para estandarizar su valor bruto y transformarlo en valores conmensurables, Hurtado y Cardona en sus estudios optaron por el uso de funciones de transformación. Estas tienen como objetivo el cálculo de los factores de riesgo ($D\phi$) y los factores agravantes del impacto (I_f), a partir de sus correspondientes descriptores: daños físicos (D_i), fragilidad social (F_i) y falta de resiliencia (R_i). Los descriptores son datos que se han tomado a partir de estudios previos del riesgo, su valor es determinístico y no contempla el azar o incertidumbre (Blengini et al., 2017; Kusumkant et al., 2016).

El paso final del análisis es la recomposición del riesgo, que generalmente se dirige al cálculo de los índices de riesgo. Los dos índices más significativos utilizados para evaluar los riesgos industriales son LSIR y riesgo social (expresado por las curvas F y N). Los índices de riesgo numérico simplificados, como los PLL, se pueden obtener a partir de las curvas F – N (Cozzani et al., 2006).

Por lo tanto, el riesgo individual general en una ubicación determinada se puede calcular sumando el riesgo obtenido para cada evento primario, cada resultado relevante, cada condición meteorológica relevante y cada secuencia de dominó relevante. Se proporciona un ejemplo de un mapa de riesgos obtenido del procedimiento anterior utilizando el software Aripa-GIS. Si también hay datos disponibles para la distribución de la población en el área afectada por el accidente, el procedimiento permite el cálculo de las curvas de riesgo social. Se muestra un ejemplo (Cozzani et al., 2005). El enfoque descrito en esta sección y basado en el diagrama de flujo se aplicó en varios estudios piloto para la evaluación cuantitativa del efecto dominó, demostrando su validez en aplicaciones de la vida real. Los resultados más significativos se obtuvieron en el análisis del área industrial de Ravenna.

Riesgo (individual): La frecuencia esperada del daño de referencia que se produce como consecuencia de cualquier escenario de accidente considerado en el análisis, a una persona que está permanentemente presente (24 h por día por año) en un punto determinado del área considerada, sin protección y no hay posibilidad de ser refugiado o evacuado (Denat, 2017).

Riesgo (Social): El riesgo general para la comunidad local debido a la presencia de las fuentes de riesgo en cuestión, generalmente expresadas mediante gráficos de frecuencia-fatalidad (F – N) (Trotz et al., 2018; Denat, 2017).

Curva de isorriesgos: Representa los niveles de riesgo individual en torno a la instalación analizada. Una curva de isorriesgos conecta todas las ubicaciones geográficas alrededor de una actividad peligrosa con un riesgo individual igual, es decir, todas las ubicaciones con la misma probabilidad general de letalidad (Denat, 2017; Cozzani et al., 2013).

Al evaluar la aceptabilidad del riesgo en los seres humanos, generalmente se consideran dos formas de medirlo, distintas y complementarias: el juicio de aceptabilidad del riesgo social e individual.

Por riesgo individual entendemos la probabilidad anual de que un ser humano presente en un punto determinado del espacio muera por cualquier accidente que ocurra en la planta industrial estudiada. Según el marco de HSE "el riesgo social se define como la relación entre la frecuencia y el número de personas que sufren un nivel de daño específico en una población dada a partir de la realización de peligros específicos". En otras palabras, podríamos decir que el juicio de aceptabilidad del riesgo social cubre la consideración del riesgo inducido por uno, varios o todos los escenarios posibles en toda la sociedad, mientras que el juicio de aceptabilidad del riesgo individual cubre la evaluación de los riesgos inducidos por todos los escenarios posibles en punto dado del espacio (Trotz et al., 2018).

La forma más adecuada de cuantificar el impacto individual es a través de la confección de las curvas de isorriesgos o mapas de riesgo, siendo esto un paso previo en la determinación del impacto social. Para cuantificar el impacto social se hace necesario la elaboración de las curvas frecuencia-número de fatalidades (F-N).

Conclusiones

La secuencia del efecto continuado de accidentes es más probable que se desarrolle como máximo hasta los posibles accidentes terciarios, según el análisis histórico de accidentes dominó. La literatura especializada concuerda en que la determinación de la probabilidad de escalado es un paso esencial para el pronóstico del efecto dominó. Las técnicas más empleadas para la evaluación del riesgo individual son las curvas de isorriesgos, mientras que, para la cuantificación del riesgo social, son las curvas frecuencia-número de fatalidades (F-N).

Referencias bibliográficas

ABDOLHAMIDZADEH, BAHMAN; ABBASI, TASNEEM; RASHTCHIAN, D; ABBASI, S.A. Domino effect in process-industry accidents – An inventory of past events and identification of some patterns. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol 24, 2018, pp 575–593.

ABOUD, ALYAA. Planning of petrochemical industry under environmental risk and safety considerations. (Tesis en opción al grado de Máster de Ciencias Aplicadas en Ingeniería Química.). Universidad de Waterloo., Waterloo, Ontario, Canada, 2008.

BAGSTER, D.F; PITBLADO, R.M. The estimation of domino incident frequencies: an approach. *Process Safety Environment*, Vol 69,1991, p 196.

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. Assessment of the Methodology for Establishing the EU List of Critical Raw Materials. Publications Office of the European Union. Luxemburg, 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.2760/73303>

BOZZOLAN, J.-C; MESSIAS DE OLIVEIRA NETO, J. A. Study on Domino Effects in Nuclear Fuel Cycle Facilities, International Nuclear Atlantic Conference. 2007. Santos, Brazil.

CASAL, JOAQUÍN; MONTIEL, HELENA; PLANAS, EULALIA; VÍLCHEZ, JUAN. Análisis del riesgo en instalaciones industriales. 2da ed. Ediciones UPC, Barcelona, 2002, p 362.

CCPS, (CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY). Evaluating Process Safety in the Chemical Industry: A User's Guide to Quantitative Risk Analysis. American Institute of Chemical Engineers. New York (USA), 2000.

COZZANI, V; ANTONIONI, G; KHAKZAD, N; KHAN, F; TAVEAU, J; RENIERS, G. Quantitative Assessment of Risk Caused by Domino Accidents. Domino Effects in the Process Industries, Modeling, Prevention and Managing. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands, 2013.

COZZANI, V; GUBINELLI, G; SALZANO, E. Escalation thresholds in the assessment of domino accidental events. J. Hazard. Mater, Vol 129, 2006, pp 1–21.

DELVOSALLE, C. A Methodology for the Identification and Evaluation of Domino Effects. Rep. CRC/MT/003. Belgian Ministry of Employment and Labour, Bruxelles (B), 1998.

DENAT, T. Creation of a Biodiversity Severity Index to evaluate the risks of accidental pollutions in the industry : a multi-criteria sorting approach (Doctorado). Universidad de Ciencias y letras de Paris, Paris, 2017.

DUEÑAS, JULIO. Evaluación del impacto económico, ambiental y humano de posibles accidentes provocados por incendio y explosión y su efecto continuado en la Base de Crudos de la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas. (Trabajo de Diploma). Universidad de Matanzas Cede Camilo Cienfuegos, Matanzas, 2018.

GÓMEZ, M; ZÁRATE, L; CASAL, J. Jet fires and the domino effect. Fire Saf. Vol 43, 2008, pp 583–588.

GORRENS, B ; DE CLERCK, W ; DE JONGH, K ; AERTS, M. Domino effecten van en naar. 2009.

HEDLUND, HUESS, F. Carbon dioxide not suitable for extinguishment of smouldering silo fires: static electricity may cause silo explosion. Biomass Bioenergy, 2018.

HSE, (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE). The Control of Major Hazards, Third Report of the HSC Advisory Committee on Major Hazards. HMSO, London (UK), 1984.

KADRI, FARID; CHATELET, ERICK; LALLEMENT; PATRICK. The assessment of risk caused by fire and explosion in chemical process industry: A domino effect based study. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, no. 2, vol 3, 2013, pp 66–76.

KHAN, F.I., ABBASI, S.A. Models for domino effect analysis in chemical process industries. Process Safety Progress, vol 17, 1998, p 107.

KIDAM, KAMARIZAN; HURME, MARKKU. Analysis of equipment failures as contributors to chemical process accidents. Process Safety and Environmental Protection. [en línea]. Vol 91. Issues 1-2. January-March 2013. [en línea]. pp 61-78. [fecha de consulta: 23 diciembre 2018]. Disponible en www.elsevier.com/locate/psep. DOI: 10.1016/j.psep.2012.02.001.

KUSUMKANT, D; KROTHAPALLI, P; KIZHAKKEL, M; RAJAN; MAHESH, M; SUCHEENDRAN. Statistics of Fragment Dispersion by Explosion in a Fragment Generator Warhead. Cent. Eur. Journal. Energ. Mater, vol 13, 2016.

LAURENT, ANDRÉ ; PERRIN, LAURENT ; DUFAUD, OLIVER. Consequence Assessments of a Cold BLEVE. Can we do it better? Chemical Engineering Transactions. Vol 48, 2016, pp 211-216. DOI: 10.3303/CET1648036.

LEES, F.P. Loss Prevention in the Process Industries. 2^a ed. Butterworth-Heinemann. Oxford (UK), 1996.

LEES, F.P. Loss Prevention in the Process Industries. In: Mannan, S. (Ed.). 3^a ed. Butterworth-Heinemann, Oxford (UK), 2005.

LISIA, R; CONSOLOB, G; MASCHIOC, G; MILAZZO, M. F. Domino Effects Due to the Projection of Fragments: Estimation of the Impact Probability Using a Monte Carlo Simulation. Chemical Engineering Transactions, 2014, pp 361–366.

LOAYZA, J; SILVA, M; BERZOY, C; VILLANUEVA, C; CASTILLO, J; LAOS, R. Design of a methodology for the investigation of chemical accidents at industrial level. Quimica Ing Quimica, vol 18, 2015, pp 45–58.

NECCI, AMOS. Cascading events triggering industrial accidents: Quantitative Assessment of NaTech and Domino Scenarios. (Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.). Universidad de Bologna., Bologna, 2015, p 204.

NIMA, KHAKZAD; RENIERS, GENSERIK. Using graph theory to analyze the vulnerability of process plants in the context of cascading effects. Reliab. Eng. Syst. Saf, 2015, pp 63–73. DOI: 10.1016/j.ress.2015.04.015.

NOMEN, ROSA; SEMPERE, JULIA; MARIOTTI, VALERIA. QRA including domino effect as a tool for Engineering Design. Procedia Eng, vol 84, 2014, pp 23–32. [fecha de consulta 5 enero 2019]. Disponible en www.elsevier.com/locate/procedia. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.406.

POLJANŠEK, K; FERRER, M; DE GROEVE, T; CLARK, I. Science for disaster risk management: knowing better and losing less. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, DOI: 10.2788/688605.

POST, J.G; BOTTELBERGHS, P.H; VIJGEN, L.J; MATTHIJSEN, A.J.C.M. Instrument Domino Effecten. RIVM, Bilthoven (The Netherlands), 2003.

TROTZ, M; PH.D; ISAACS, V; PROUTY, C. Environmental and Social Assessment. Water Sect. Resil. Nexus Sustain. Barbados WSRN S- Barbados, 2018.

UIJT DE HAAG, P.A.M; ALE, B.J.M. Guidelines for Quantitative Risk Assessment (Purple Book). Committee for the Prevention of Disasters, The Hague (NL), 1999.

VALLEE, A; BERNUCHON, E; HOURTOLOU, D. MICADO: Méthode pour l'identification et la caractérisation des effets dominos. Rep. INERIS-DRA-2002-25472, Direction des Risques Accidentels, Paris (France), 2002.