



WHITE PAPER

¿Quién se ha llevado mi queso? Cómo el cambio climático puede tener impactos imprevistos en la seguridad de procesos

Autor: Dr. Arturo Trujillo, Director Global de Seguridad de Procesos

Estamos observando un aumento gradual en los incidentes de seguridad de procesos causados por causas naturales. La prevención tradicional, las buenas prácticas de ingeniería y las bases de diseño de plantas y procesos parecen estar fallando. En este artículo analizamos las causas y recomendamos una posible actuación para volver a niveles aceptables de seguridad.

¿Son las “Natech” la próxima gran amenaza?

La atmósfera es una capa de gas que rodea al planeta Tierra. No tiene un límite definido: su densidad disminuye con la altura hasta desvanecerse sin solución de continuidad en el espacio interplanetario, pero podemos considerar que solo los 10 km inferiores son respirables. Para tener una idea de la delgadez extrema de esta capa, si visualizamos la Tierra como un balón de fútbol, la atmósfera respirable sería más fina que su pintura exterior. Sin embargo, pesa alrededor de 5.500 billones ($5,5 \times 10^{15}$) de toneladas. Esto significa que aumentar su temperatura promedio en un grado centígrado requerirá $5,5 \times 10^{21}$ Joules, o la energía liberada por 100 millones de armas nucleares como la detonada sobre Hiroshima en 1945. Esta energía estará disponible para alimentar fenómenos como vientos fuertes, huracanes y tornados. La situación es aún peor en los océanos, cuya temperatura está íntimamente ligada a la de la atmósfera y cuya masa es varios

órdenes de magnitud mayor. Y aumentar constantemente la temperatura de la atmósfera y los océanos es precisamente lo que la humanidad ha estado haciendo durante las últimas décadas.

Como consecuencia, estamos observando cada vez más lo que los científicos llaman “clima extremo”: sequías, pero también inundaciones; calor abrasador, pero también frío extremo; incendios forestales, tormentas eléctricas, huracanes ... Por nombrar algunos ejemplos, la temporada de tormentas del Atlántico de 2017 fue una de las más intensas jamás registradas, incluido el huracán Harvey que inundó extensas áreas de Texas; las temporadas de incendios forestales de 2018, 2019 y 2020 afectaron gravemente a Europa; durante febrero de 2021, una penetración de aire polar provocó temperaturas por debajo de -10°C en la mayor parte de Texas, lo que causó más de 20 muertes y graves interrupciones de los servicios públicos.

En paralelo, estamos observando un mayor número y gravedad de incidentes de seguridad de procesos cuya causa puede estar directamente relacionada con condiciones climáticas anormales. Así, por ejemplo:

- > El huracán Harvey inundó una planta de Arkema en Crosby (Texas), donde se almacenaban peróxidos orgánicos a bajas temperaturas para evitar su descomposición exotérmica. Como la mayoría de las salvaguardias también fallaron debido a las inundaciones, hubo varias reacciones descontroladas. No hubo víctimas mortales, pero la planta y sus alrededores tuvieron que ser evacuados¹.
- > Las lluvias torrenciales inundaron una acería en la prefectura de Saga (Japón) a fines de agosto de 2019. El agua inundó varios tanques de aceite lubricante, liberando el contenido al medio ambiente².
- > La oficina francesa de análisis de riesgos industriales y contaminación (BARPI) informó recientemente que el número de accidentes causados en instalaciones industriales francesas como consecuencia directa de eventos naturales se ha más que duplicado en el período 2010-2019³.

Como resultado de esta tendencia, en 1994 se acuñó el neologismo inglés “Natech” para definir los accidentes tecnológicos provocados por peligros naturales. Por cierto, las Natech también incluyen eventos como el fallo de refrigeración de la central nuclear Fukushima Dai-ichi debido al Gran Terremoto y Tsunami del Este de Japón (GEJET, por la expresión inglesa “Great East Japan Earthquake and Tsunami”) el 11 de marzo de 2011, obviamente no relacionado con la emergencia climática.

¿Estamos protegidos contra las Natech?

El modelo de queso suizo (Figura 1), muestra de forma gráfica (y deliciosa) la relación entre peligro, consecuencia (pérdida) y salvaguardas. Fue introducido por primera vez en 1990 por Dante Orlandella y James T. Reason de la Universidad de Manchester⁴, y desde entonces ha ganado una amplia aceptación. Las salvaguardias se conciben como lonchas de queso que se interponen entre el peligro y el daño. Siempre que podamos trazar una línea recta entre ambos, se producirá un daño. Sin embargo, esta línea puede ser

interceptada por una salvaguarda / loncha, con lo que concluimos que el daño se ha evitado. Cada loncha tiene agujeros, al igual que cualquier salvaguarda tiene una probabilidad de fallar (por ejemplo, una válvula de seguridad podría atascarse, el operador de la planta podría no escuchar la alarma, etc).

Como se muestra en la figura, podemos agrupar nuestras salvaguardas / lonchas en tres categorías principales, dependiendo de quién o qué tiene la responsabilidad de prevenir el daño:

- > Tecnología: en esta loncha recogemos todos los dispositivos que ayudan a mantener segura la planta, como válvulas de seguridad, discos de ruptura, enclavamientos, sistemas de control, etc.
- > Proceso: en esta loncha recogemos las características del propio proceso que contribuyen a su seguridad: **productos químicos y reacciones** involucradas, prácticas de ingeniería
- > Personas: finalmente, en esta loncha recogemos todas las salvaguardas que dependen de la acción del ser humano: respuesta a alarmas, planificación de emergencias, etc.

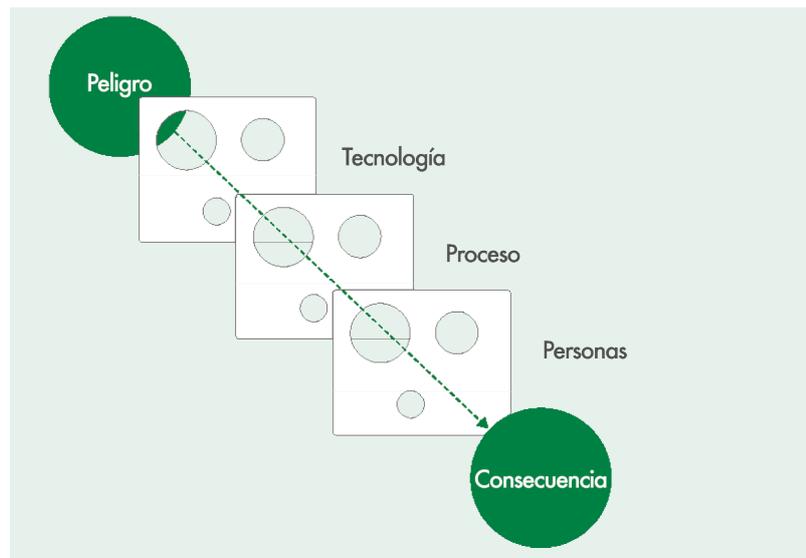


Gráfico 1 El modelo de queso suizo

Los buenos diseñadores de plantas industriales se han basado en las llamadas buenas prácticas de ingeniería⁵ para conseguir una loncha de proceso compacta. Una de las decisiones importantes siempre ha sido la definición de las “bases de diseño”; es decir, la colección de principios, suposiciones, fundamentos, criterios y consideraciones

1 Carson, Ph. and R. Abhari. “Rain starts fire.” Loss Prevention Bulletin 277, 29-32.

2 Misuri, A., A.M. Cruz and V. Cozzani. “Understanding the risk posed by complex industrial accidents brought by natural hazards – a milestone to develop effective climate change adaptation strategies.” Loss Prevention Bulletin 277, 15-18.

3 Vaysse, G. “The impact of climate events on French industrial facilities between 2010 and 2019.” Loss Prevention Bulletin 277, 19-22.

4 Reason, James (1990-04-12). “The Contribution of Latent Human Failures to the Breakdown of Complex Systems”. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences. 327 (1241): 475-484.

5 Más formalmente se emplea la sigla RAGAGEP, acrónimo de la expresión inglesa “Recognized and Generally Accepted Good Engineering Practices”.

que se utilizan para los cálculos y decisiones requeridos durante el diseño. Entre ellos, siempre se encuentran condiciones climáticas extremas y otras condiciones ambientales que deben tenerse en cuenta en el diseño. Así que ya tenemos nuestro problema resuelto: definimos las temperaturas máxima y mínima, la humedad, la velocidad del viento, la precipitación y tal vez un par de parámetros adicionales para el emplazamiento y ya hemos terminado. ¡En absoluto! Esta práctica puede fallar al menos de dos maneras.

En primer lugar, es posible que nuestra base de datos meteorológica no sea suficiente para estimar con la precisión requerida los parámetros que necesitamos. Consideremos, por ejemplo, las inundaciones. ¿Es suficiente considerar un período de retorno de 100 años? ¿500 años? ¿1000 años? Como casi siempre en seguridad de procesos, la respuesta depende de la gravedad de las consecuencias: si se trata de una pérdida de producción y tal vez un daño ambiental menor, entonces podemos conformarnos con el período de retorno de 100 años. Si, por otro lado, las consecuencias de exceder nuestras bases de diseño son catastróficas (pensemos en Fukushima, por ejemplo), entonces es posible que debamos tener en cuenta períodos de retorno más largos ... cuyas estimaciones pueden tener enormes incertidumbres. Tomemos, por ejemplo, el incidente reciente en la planta de Arkema en Crosby. La planta fue construida en la década de 1960, antes de que se elaborase el



mapa de zonas inundables de la región y, por lo tanto, antes de que se pudiera anticipar la magnitud de las inundaciones causadas por Harvey⁶.

Por otro lado, la climatología del planeta está cambiando y, como consecuencia, las condiciones locales también pueden cambiar. Así, lo que hace 40 años se consideraba la temperatura máxima absoluta jamás registrada puede superarse hoy. El mismo fenómeno ocurre, por supuesto, con otros parámetros como la velocidad del viento, las precipitaciones, etc.

Gestionando el riesgo de Natech en tiempos de cambio climático

Si queremos ceñirnos al modelo de queso suizo, parece que alguien ha movido nuestra “loncha de proceso”, o se ha comido una parte de ella, de modo que sus agujeros ahora son más grandes de lo que solían ser. Eso, por supuesto, trae a colación de inmediato la fábula empresarial motivadora “Quién se ha llevado mi queso”⁷. ¿Qué papel vamos a representar, el de Fisgón y Escurridizo, que comienzan a buscar queso nuevo, o el de Kif y Kof, que se enfadan por la injusticia de la situación y, esencialmente, no hacen nada para corregirla?

Una **buena gestión de la seguridad de procesos** proporciona tanto una respuesta a esta pregunta como su guía de implantación. La respuesta es, sin duda, “tenemos que buscar queso nuevo” o, en otras palabras, tenemos que restaurar la robustez de nuestra loncha de “proceso”. Para entender cómo, volvamos a tomar el ejemplo de la planta de Arkema, cuando se dispuso de nueva información sobre el potencial de inundaciones, ¿no fue esto un cambio? Sí, lo fue, aunque uno de un tipo muy raramente capturado por las prácticas actuales de gestión del cambio (MOC, acrónimo de “Management Of Change”). De hecho, el Center for Chemical Process Safety dice que “*un sistema MOC debería abordar todos los tipos de cambios que se pueden prever razonablemente. Los tipos de cambios anticipados se pueden identificar mediante (1) la búsqueda de registros históricos, como archivos de órdenes de trabajo de mantenimiento, informes de incidentes, estudios de peligros / riesgos, auditorías y revisiones de diseño...*”⁸ Mirando hacia atrás, podemos concluir que la planificación de inundaciones y las auditorías de las aseguradoras son posibles fuentes de cambio y deberían haber sido identificadas como tales. Pero, por supuesto, todo parece evidente después del hecho.

6 Sin embargo, los aseguradores de la planta advirtieron en 2007 y 2016 que la planta estaba construida en terreno inundable, lo que era desconocido para el personal de Arkema. Véase CSB, Mayo de 2018, ‘Organic Peroxide Decomposition, Release, and Fire at Arkema Crosby Following Hurricane Harvey Flooding Crosby, Texas’, https://www.csb.gov/assets/1/20/final_arkema_draft_report_2018-05-23.pdf?16272

7 Johnson, S. . ¿Quién se ha llevado mi queso? Cómo adaptarnos a un mundo en constante cambio. Empresa Activa, 1998.

8 Center for Chemical Process Safety. Guidelines for Risk Based Process Safety. Wiley, 2007.

Por lo tanto, concluimos que los operadores de plantas peligrosas deben revisar sus procedimientos de gestión del cambio para incluir en la definición de cambio cualquier información nueva o diferente que esté disponible con respecto al clima extremo y otras condiciones ambientales de sus emplazamientos. Además, dado que a menudo las bases del diseño se establecieron hace varias décadas y nunca se revisaron, recomendamos encarecidamente revisarlas lo antes posible a la luz de la información actual.

Conclusión: Mitigación y Prevención

Durante los últimos años estamos observando un crecimiento sostenido de Natechs, o accidentes industriales provocados por causas naturales; específicamente, los debidos a cambios en la climatología de la Tierra. En términos muy estrictos, esto debería englobarse en los procedimientos y prácticas de gestión del cambio, pero esto es muy poco frecuente. Recomendamos a los operadores de plantas industriales que revisen sus procedimientos de gestión del cambio para incluir cambios en las bases del diseño y a que

revisen éstas lo antes posible para asegurarse de que todavía están actualizadas.

La **investigación de incidentes** y las lecciones aprendidas de ellos son también principios clave de la seguridad de procesos (y de la seguridad en general). Específicamente, investigar no solo las causas inmediatas de un incidente, sino también sus causas raíz nos ayuda a prevenir el incidente que ya sucedió y muchos otros que tienen las mismas causas raíz. También actuar sobre las causas fundamentales tiende a ser más preventivo, mientras que actuar sobre las causas inmediatas tiende a ser más mitigador, lo que es menos deseable. De hecho, la revisión de las bases de diseño de las plantas existentes parece claramente una acción de mitigación. ¿No podríamos actuar sobre las causas fundamentales y revertir el cambio climático? Al hacerlo, no solo podríamos preservar el medio ambiente, sino también salvar vidas, tanto directamente (las pérdidas por eventos meteorológicos catastróficos) como indirectamente (las pérdidas por eventos de seguridad de procesos causados por cambios en las bases de diseño).

DR. ARTURO TRUJILLO

El Dr. Arturo Trujillo es Director Global de Consultoría de Seguridad de Procesos. Su principal área de trabajo son diversos tipos de análisis de seguridad de procesos (HAZOP, What-if, HAZID), análisis de consecuencias y análisis cuantitativo de riesgo. Ha participado en numerosos proyectos en los últimos 35 años, especialmente en las áreas de refino, energía, química, petroquímica y farmacia.



Seguridad de procesos y seguridad química DEKRA

La amplitud y profundidad de nuestra experiencia en seguridad de procesos nos convierte en especialistas y asesores de confianza reconocidos a nivel mundial. Ayudamos a nuestros clientes a comprender y evaluar sus riesgos, y trabajamos juntos para desarrollar soluciones pragmáticas. Nuestro enfoque práctico y de valor agregado integra la gestión, la ingeniería y las pruebas de seguridad de procesos especializados. Buscamos educar y aumentar la competencia del cliente para proporcionar una mejora del desempeño sostenible. Al asociarnos con nuestros clientes, combinamos la experiencia técnica con la pasión por la preservación de la vida, la reducción de daños y la protección de activos. Como parte de la organización de expertos líder mundial DEKRA, somos el socio global para un mundo seguro.

[¿Desea más información?](#)

[Contáctenos](#)