

Terminal de Regasificación GNL Escobar

Evaluación Integral y Comparativa entre los Estudios de Riesgos, Medidas Mitigatorias y los Informes que Versan sobre la Terminal Portuaria Escobar. Resolución Judicial dictada en Octubre de 2020



Centro de Aplicaciones Informáticas y Modelado en Ingeniería (CAIMI)

Dto. Ing. Química, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario.

Noviembre 2020

Grupo de trabajo

Responsable: Dr. Ing. Nicolás J. Scenna

Integrantes: Dra. Ing. Patricia L. Mores

Ing. Paola S. Biscotti

Ing. Santiago Orellano

Ing. Romina A. Kraft

Ing. Amalia Rueda

Resumen ejecutivo

Dadas las conclusiones divergentes acerca de la evaluación del riesgo de las instalaciones de la Terminal Portuaria de Regasificación de GNL ubicada en Escobar y de las operaciones de aprovisionamiento; realizadas en distintas etapas temporales y con objetivos diversos, y por distintas instituciones; *el objetivo de este trabajo ha sido realizar un análisis comparativo a los efectos de identificar las causas que explican u originan tales discrepancias, y concluir respecto a las inconsistencias de las conclusiones en el caso de existir.*

La metodología de trabajo ha consistido, en primer lugar, en determinar el conjunto básico de documentación a analizar, llamado conjunto de referencia, el cual comprende principalmente el informe de evaluación de riesgo realizado por el grupo de la UNLZ, el dictamen pericial Terminal GNL Escobar, ANEXO I, M. F. Schopflocher, Ing Mecánico; A. M. Dominguez, Licenciado en Seguridad e Higiene; en el marco de la causa Nro. 75001619/2011, Juzgado Federal de Primera Instancia de Campana, y los estudios realizados por encargo de YPF a las consultoras especializadas (Análisis Cuantitativo de Riesgo) Estudio Solano S.A. y Lloyd's Register. En segundo lugar, se han identificado las divergencias/antagonismos, a los efectos de concluir sobre las eventuales causas que puedan originarlas.

A partir de un análisis global, se concluye que existen profundas divergencias en la evaluación y caracterización del riesgo según lo informado por el grupo de trabajo de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora (UNLZ), identificando eventos accidentales con niveles de riesgo "no aceptable"; en contraste con los estudios presentados por la consultora *Lloyd's Register* y el informe realizado por *Estudio Solano S.A*; en los cuales tanto a nivel de riesgo individual como a nivel de riesgo social (representado por las típicas curvas F-N), el máximo nivel de riesgos identificado es "Aceptable si ALARP", tanto con respecto a la población externa a la terminal portuaria como con respecto a los trabajadores. Además, es de mencionar que, según lo informado por YPF, estos últimos estudios mencionados han sido generados para la aprobación y el mantenimiento de certificaciones y habilitaciones para la operación de la terminal portuaria; por parte de las autoridades competentes en la materia.

Identificadas las divergencias respecto de las conclusiones acerca del nivel del riesgo asociado a la terminal portuaria, y luego de un exhaustivo análisis comparativo, teórico y



tecnológico; tomando como marco de referencia “el estado del arte”, se obtuvieron las conclusiones correspondientes. En particular, el análisis se ha focalizado principalmente en los niveles de riesgo “no aceptables” estimados por el grupo de la UNLZ.

Cabe destacar las siguientes observaciones respecto del estudio de UNLZ:

En general, el informe es, desde el aspecto metodológico, confuso, muy difícil de seguir en cuanto a la presentación en general de los cálculos y los resultados. En otras palabras, complejo para verificar, homologar o reproducir los resultados obtenidos.

Desde el punto de vista formal, por ejemplo, el título del informe presentado por el grupo de la UNLZ, “*Análisis de Riesgos de Operación, de la Terminal Portuaria para la regasificación de Gas Licuado de Petróleo GNL – Escobar UTE REPSOL/YPF/ENARSA*”, induce a interpretaciones erróneas, ya que en la realidad se debe remarcar que la Terminal Escobar opera solamente con GNL o Gas Natural Licuado y Gas Natural Regasificado y no con Gas Licuado de Petróleo.

Además, desde el punto de la notación o nomenclatura utilizada, se recurre a la notación simbólica “VCE/BLEVE” en numerosos apartados del informe. Si bien esto permite referirse indistintamente a ambos eventos/ escenarios accidentales, desde el punto de vista técnico, se debe remarcar que los eventos iniciadores y su frecuencia, la dinámica de la propagación del evento accidental, las posibles consecuencias (por ejemplo, la provocación de misiles (proyección de fragmentos), alcance de los efectos, producción o no de “bola de fuego” o “jet fire”, entre otros) resultan completamente diferentes. Esto implica entonces, a priori, una endeblez importante respecto a la comprensión, reproducibilidad y homologación de los resultados; y por ende las conclusiones reportadas. En efecto, los escenarios accidentales VCE y BLEVE son cruciales, e inciden enormemente en el cálculo riguroso del riesgo y la interpretación de los resultados obtenidos para la toma de decisiones.

Desde un punto de vista metodológico y procedural, si bien se identifican los escenarios iniciadores que en el estudio se consideran más relevantes, y se mencionan las cadenas de eventos que conforman los distintos escenarios accidentales, no se informa explícitamente para cada uno de ellos el desarrollo de árboles de eventos, o los árboles de fallas utilizados; los operadores lógicos que los conforman y las respectivas frecuencias asignadas a



las distintas cadenas de eventos secuenciales, entre otros considerandos. Luego, dentro de este contexto, las conclusiones a las que se puedan llegar lucen no homologables o no reproducibles.

Por otro lado, no se observa a lo largo del informe presentado por la UNLZ, en adición a la carencia ya mencionada acerca de datos sobre los árboles de eventos y sus respectivas probabilidades asignadas; la explicitación o enumeración de las salvaguardas de seguridad existentes en el diseño. Esto impide evaluar correctamente sus influencias sobre las frecuencias de ocurrencias de todos y cada uno de los eventos y escenarios accidentales identificados y evaluados. Igualmente, sobre las consecuencias de los eventos accidentales y la vulnerabilidad del entorno. Dentro de este contexto, si bien las sobreestimaciones de frecuencias de ocurrencia y vulnerabilidades del entorno que se consignan en el informe presentado por el grupo de trabajo de la UNLZ se deben a diversos factores; uno importante es el hecho de no contemplar/disponer de datos reales de operación de planta, y más aún, información de las capas de protección o seguridad previstas en el diseño.

Por otra parte, y además de lo expresado más arriba, desde un punto de vista formal y metodológico, se identifican *otras causales debido a las cuales el grupo de trabajo de la UNLZ, a nuestro juicio, ha sobreestimado las frecuencias de ocurrencia de los principales escenarios accidentales, y las consecuencias de los mismos, como así también la vulnerabilidad del entorno.* Discernir en esta cuestión es muy importante porque conlleva a la sobreestimación del riesgo y la valoración realizada, en particular en las calificaciones “riesgo no aceptable”, según la metodología utilizada para tal calificación. Ciertamente, para las evaluaciones del nivel de riesgo a los efectos de tomar decisiones, deben utilizarse modelos rigurosos y herramientas de cálculo/software específicas, validadas según el estado del arte y/o referenciadas por instituciones de prestigio. Además, son imprescindibles una gran cantidad de datos realistas y fiables respecto de las instalaciones que se evalúan.

Dentro de este contexto, en el trabajo presentado por el grupo de trabajo de la UNLZ estas herramientas no se indican, o se lo hace en forma genérica y sin especificar caso por caso. La mayoría de los cálculos y las hipótesis adoptadas en el estudio presentado no son explicitados adecuadamente. Además de carecer de los árboles de eventos para caracterizar el desarrollo de los escenarios accidentales críticos, que deben ser enumerados y reportados, para su homologabilidad/ reproducibilidad, no se reportan los datos ni las herramientas de cálculo utilizados, y/o resultados parciales, o bien una discusión de la sensibilidad de los mismos a



ciertas hipótesis fundamentales. Por otra parte, y como consecuencia (o relacionado con) lo expresado en el párrafo anterior, un gran número de conclusiones presentadas parecieran basarse en datos/ valores reportados en publicaciones de literatura abierta (citados o no en la bibliografía/ literatura que se referencia en el informe).

Si bien tales datos podrían ser utilizados a modo comparativo, no resulta prudente, bajo ningún punto de vista, emplearlos para sustentar criterios para la toma de decisiones sobre instalaciones específicas, en el contexto de cualquier sistema de gerenciamiento del riesgo; sin reproducirlos especificando concretamente las ecuaciones, hipótesis, software utilizado, entre otros considerandos, según el estado del arte. En efecto, es notorio que frecuentemente, a lo largo del informe, se utilicen datos cruciales sobre frecuencias de ocurrencia y vulnerabilidad del entorno tomados/ inferidos de diversas fuentes publicadas en la literatura científica o tecnológica abierta, según se expresara más arriba (algunos trabajos se recogen de las citas que figuran en el informe -y en otros casos se detectan de una búsqueda bibliográfica propia, por lo que en estos casos solo se infiere que hayan sido relacionados a modo de conjetura).

Luego, la inconsistencia que se genera en la mayoría de los resultados reportados se debe a que el contexto de aplicación original ha sido distinto; ya sea por las hipótesis subyacentes asumidas por los autores de la fuente citada -verificable si se mencionan- ya sea por involucrar escalas diferentes, o bien por situaciones meteorológicas o datos estadísticos distintos al caso particular que aquí nos ocupa, entre otros considerandos. *En síntesis, desde lo formal, el reproducir o tomar datos sin la debida homologación o análisis detallado cuando se aplican a casos particulares, se constituye en una fuerte razón para dudar de las conclusiones obtenidas a lo largo de todo el informe realizado por la UNLZ, según está detallado en profundidad a lo largo de este trabajo. En los casos en que se ha podido verificar las fuentes (las más importantes, y críticas), y analizadas las hipótesis subyacentes de la publicación original, y comparados con los datos reales correspondientes a la terminal portuaria Escobar, se infiere o se muestra que los resultados son diferentes a los reportados por la UNLZ; en general mostrando una fuerte tendencia a la sobreestimación de frecuencias, consecuencias, vulnerabilidad del entorno y, por ende, sobreestimación del riesgo, y su valoración / calificación final.*

Solo a modo de ejemplificar los casos más relevantes, existe un fuerte consenso (según el estado del arte) acerca que la frecuencia de ocurrencia del fenómeno de BLEVE en tanques



de GNL operando a presión atmosférica o cercana a la misma, es despreciable, por ser en la mayoría de los casos físicamente imposible. De incorporarse estos escenarios en un estudio de cuantificación del riesgo, la frecuencia a utilizar debe reflejar que es un hecho extremadamente poco frecuente; tanto para las instalaciones fijas como para buques de transporte de GNL, contrariamente a los criterios implícitos adoptados por el grupo de trabajo de la UNLZ. Idéntica afirmación puede hacerse acerca de explosiones catastróficas involucrando el fenómeno VCE. E igualmente, con respecto a los eventos iniciadores relacionados con colisión en navegación o sabotaje, los cuales tienen en general una muy baja probabilidad de ocurrencia. En el caso de la terminal portuaria, una colisión se corresponde con una muy baja probabilidad de ocurrencia; y la probabilidad de provocar un accidente de consecuencias muy graves, es remota. Todo ello, en contraste con las frecuencias utilizadas por el grupo de trabajo de la UNLZ.

Por último, en el informe presentado por el grupo de trabajo de la UNLZ, se observa la aplicación de métodos de análisis de riesgos cualitativos y/o semicuantitativos simplificados, por sobre los cuantitativos y rigurosos (según se establece y es habitual en el estado del arte para la toma de decisiones relevantes). En efecto, se han utilizado métodos de evaluación agregados (Índice Dow – F&EI), métodos de evaluación del riesgo cualitativos híbridos, o bien se hace referencia a guías o procedimientos que son análisis preliminares, brindando información indicativa del riesgo en forma aproximada. En otras palabras, todos estos métodos simplificados no son apropiados para la toma de decisiones en un proceso complejo como el aquí analizado; a diferencia de los métodos cuantitativos sistemáticos de análisis de riesgo, tales como los utilizados en los reportes del Estudio Solano S.A. y el realizado por la consultora Lloyd's Register.

Además, es importante destacar que, aun aplicando tales métodos agregados o simplificados, se ha mostrado a lo largo del informe que los resultados presentados por el grupo de trabajo de la UNLZ son sobredimensionados, al calificar al riesgo asociado a ciertos eventos accidentales "no aceptable". En efecto, utilizando datos e información realista acerca de la operación y el diseño de la terminal portuaria Escobar, se concluye que todas las valoraciones "Riesgo no Aceptable" reportadas en el informe de la UNLZ; como máximo, resultan "Riesgo Aceptable si ALARP".



En este sentido, y desde un punto de vista integral, se puede concluir que los resultados obtenidos del Análisis de Riesgos de la Terminal Portuaria para la regasificación de GNL, en el estudio presentado por el grupo de trabajo de la UNLZ no tienen validez, entendida por tal, brindar sustento para la toma de decisiones acerca del gerenciamiento del riesgo en el contexto de la operación de tal instalación.

Nicolás J. Scenna
Ing. Químico
Dr. Ing. Química
Prof. Titular – Dedicación Exclusiva
CAIMI-UTN-FRRO



I. INTRODUCCIÓN	1
I.1 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES.....	1
I.2 SISTEMAS AUXILIARES.....	3
I.1.1 Sistema de Gas Combustible y Generación.....	3
I.1.2 Sistema de Venteos.....	4
I.1.3 Sistema de Aire de Instrumentos.....	4
I.1.4 Sistema de Nitrógeno.....	5
I.1.5 Sustancias y Productos Manipulados.....	5
I.1.6 Sistema de Prevención y Protección contra Incendios.....	5
I.1.7 Sistema de Detección y Alarmas.....	8
I.1.8 Sistema de Shut Down.....	9
I.1.9 Sistemas de Indicación Visual y Auditiva.....	10
I.1.10 Pulsadores de Emergencia.....	10
II. OBJETIVOS DEL PRESENTE TRABAJO	11
III. ANÁLISIS DE SITUACIÓN RESPECTO A LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LA TERMINAL PORTUARIA POR PARTE DE DIVERSOS ACTORES Y SUS DIVERGENCIAS	12
III.1 PRIMERA ETAPA. ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN QUE CONFORMA EL CONJUNTO BÁSICO DE REFERENCIA, RESPECTO AL ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA TERMINAL DE GNL.....	17
III.2 SEGUNDA ETAPA. ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN QUE CONFORMA EL CONJUNTO BÁSICO DE REFERENCIA, RESPECTO AL ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA TERMINAL DE GNL. DISCREPANCIAS EN LAS CONCLUSIONES.....	19
III.2.1 Identificación de Eventos Accidentales.....	28
III.2.2 Estimación de Frecuencias de Ocurrencia de los Eventos y su Desarrollo en Escenarios Accidentales. Aspectos Relevantes.....	32
III.2.3 Estimación de las Consecuencias, Vulnerabilidad del Entorno y Evaluación del Riesgo.....	37
III.2.3.1 Algunas Definiciones, Normativas y Estado del Arte.....	37
III.3 TERCERA ETAPA. ANÁLISIS DE LAS CAUSAS QUE ORIGINAN LAS DIVERGENCIAS EN LAS CONCLUSIONES POR PARTE DE LOS INFORMES DE LA UNLZ Y EL ANEXO PERICIAL, CON LOS INFORMES (DOC_1 LL R) Y (DOC_2 SOLANO)	40
III.3.1 Aspectos Técnico-formales.....	41
III.3.1.1 Acerca de las Metodologías y Procedimientos.....	41
III.3.1.2 Evento BLEVE. Instalaciones Fijas o Buque en Navegación. Acerca de la Estimación de Frecuencias de tal Evento Involucrando GNL.....	47
III.3.1.3 Acerca de los Potenciales Eventos de Sabotaje y sus Frecuencias.....	56
III.3.1.4 Escenarios de Explosión de Nubes de Vapor. Fugas en Tanques y Conexiones. Frecuencias.....	60
III.3.1.5 Análisis de Consecuencias, Vulnerabilidad en el Interior de la Planta Industrial y del Entorno....	67
III.3.1.6 Aplicación de Metodologías de Evaluación Cualitativa del Riesgo.....	72



III.3.1.7	Acerca del Índice de DOW	78
III.3.1.8	Acerca de la Aplicación del Método RSN- TNO (1979).....	79
III.3.1.9	Acerca de la Estimación de Distancias de Impacto. Evento Bola de Fuego	81
III.3.1.10	Análisis Factor de Vulnerabilidad	85
III.3.1.11	Verificación de Distancias de Seguridad.	87
IV.	CONCLUSIONES GENERALES.....	90
ANEXO I	98
	NORMATIVAS NACIONALES E INTERNACIONALES, LINEAMIENTOS/GUÍAS, REFERENCIAS A MODELOS.....	98
ANEXO II	102
	DEFINICIONES BÁSICAS, MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS	102
	MÉTODOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS	102
ANEXO III	122
	ÍNDICE DE RIESGO "FIRE AND EXPLOSION INDEX" (DOW'S F&EI).....	122
REFERENCIAS	130



I. INTRODUCCIÓN

I.1 Descripción de las instalaciones

La Terminal Portuaria de GNL Escobar, se encuentra ubicada en el km. 74-75 de la progresiva de la Hidrovía del Río Paraná de Las Palmas sobre su margen derecha en la primera sección de Islas de Escobar, en la Provincia de Buenos Aires. El puerto de descarga se encuentra a 11 km de Belén, a 48 km al Norte de la Ciudad de Bs. As y a 200 km de mar abierto.

La terminal se encuentra emplazada en un predio de 120 hectáreas donde se aloja el muelle de atraque. En el mismo se encuentra amarrado, en forma permanente, la unidad flotante de almacenamiento y regasificación o buque re-gasificador (FRSU -Floating Storage Regasification Unit-), el cual tiene como función, tal como su nombre lo indica, regasificar el GNL proveniente de buques metaneros (LNGC -LNG Carrier-) y mediante el brazo de alta presión realizar la inyección al gasoducto Escobar-Cardales (presiones de 56 a 75 bar); mediante el cual se realiza el transporte del gas natural (regasificado) hasta la red troncal de TGN (Transportadora de Gas del Norte). Luego, se debe remarcar que la corriente que se inyecta por el brazo de carga de alta presión es gas natural regasificado, no GNL, cuestión importante a remarcar a los efectos de caracterizar sectores y sustancias manipuladas en el análisis de riesgos.

Los buques metaneros o buques "LNG Carrier" no son parte de la terminal, sino simplemente buques que realizan el transporte de GNL. Usualmente tienen una capacidad máxima de carga de hasta 145.000 m³, con carga limitada para la navegación de acercamiento y operaciones de alijo "ship to ship" en la Terminal de hasta unos 95.000 m³ de GNL almacenado a -162 °C. Para el trasvase de GNL se usan mangas conectoras criogénicas, generalmente de 8" en arreglos de 4 a 8 mangas, según el buque LNG Carrier ingresado.

Existen regulaciones de Prefectura Naval Argentina (PNA) para la navegación y para las maniobras de acercamiento a la Terminal Portuaria de GNL Escobar, tanto en la Hidrovía como en el tramo de acercamiento final en el canal de navegación del Río Paraná de las Palmas.

En la **Fig. 1** se muestra una vista aérea de la instalación portuaria.



En la Terminal Escobar se pueden identificar las siguientes instalaciones:



Fig. 1. Imagen de la terminal portuaria (extraída de Google Earth)

- Un muelle de inflamables ubicado en el km. 74-75 del Paraná con brazo de alta presión para la inyección de gas natural.
- Una unidad flotante de regasificación (FSRU) amarrada en el muelle.
- Una unidad de brazos criogénicos (Ship to Ship) de transferencia entre el buque de LNGC y el FSRU; adicionalmente se dispone de una estructura para permitir el amarre en paralelo de los barcos.
- Sistema de cañerías para la recepción, transporte y medición del Gas Natural en tierra (incluyendo el gasoducto Escobar-Cardales y la estación de medición, filtración y regulación Cardales).
- Instalaciones complementarias, tales como: tanques de gas oil, sistema de lucha contra incendios, generadores y obras civiles.

En general, se pueden identificar cuatro procesos principales de la terminal:

- Transporte de GNL, trasvase y regasificación (realizado por terceros).

- Descarga y recepción de GNL regasificado.
- Transporte a punto de inyección.
- Medición, regulación y entrega.

La Terminal de GNL se conecta al buque FSRU mediante un brazo de descarga con acople. El brazo LA-1001 es un sistema de cañerías adaptable para la conexión del buque y el sistema fijo de cañerías. El brazo permite que todas las cargas sean transferidas hacia la estructura de soporte y que sus componentes resistan las cargas térmicas asociadas a las contracciones y expansiones por cambios rápidos de temperatura.

El GNL almacenado en el buque regasificador (FRSU) y en los LNGC se encuentra a presión atmosférica. En operación normal, el brazo LA-1001 descarga 20 MM SM3/D de gas natural y puede llegar a picos máximos de 22 MM SM3/D.

El buque LNGC, metanero o "carrier", no forma parte de la terminal portuaria, son buques que traen su carga, la despachan al regasificador y siguen su marcha programada. En cuanto a los procedimientos para la navegación, son determinados exclusivamente por PNA. Por último, la corriente que se inyecta por el brazo de carga de alta presión es gas natural regasificado, no GNL, cuestión importante a remarcar a los efectos de caracterizar sectores y sustancias manipuladas en el análisis de riesgos.

Posteriormente, el *gas natural* es conducido a través del gasoducto Escobar-Cardales, en cuyos extremos se encuentran las trampas lanzadora y receptora de scraper. El gasoducto, de 30", posee una longitud aproximada de 31 km. Hacia el extremo final del gasoducto se localiza la Estación de Medición y Recepción de Cardales donde se implanta la trampa receptora y facilidades para el filtrado y medición fiscal del Gas Natural transportado. Cabe destacar que, por requerimiento de TGN, la presión máxima de entrega en Cardales deberá ser de 58,06 barg con una temperatura asociada de 12,3 °C.

I.2 Sistemas Auxiliares

I.1.1 Sistema de Gas Combustible y Generación

La terminal cuenta con motogeneradores (G-1901A/B) los cuales son utilizados en caso de cortes en el servicio de la distribuidora, con lo cual el sistema de gas combustible se



encuentra presurizado, pero no es utilizado en operación normal. El combustible utilizado es gas natural proveniente de la regasificación.

Las condiciones de ingreso de gas al sistema de gas combustible son de 58 bar y 12 °C, aproximadamente. La presión de suministro requerida por los motogeneradores G-1901A/B es de 0,8 bar lo cual se logra a través de dos ramas autorreguladoras en serie; inicialmente las válvulas PCV-1070/1071 regulan a 9 bar y luego las válvulas PCV-1072/1073 regulan a 0,8 bar. Cabe destacar, que las ramas de regulación mencionadas operan en forma simultánea con el objetivo de no interrumpir el suministro ante cualquier desperfecto en alguna de las válvulas que la componen.

Aguas arriba de las válvulas reguladoras, y con el fin de compensar la caída de temperatura asociada al Efecto Joule-Thomson debido a la expansión producida en la reducción de presión, el gas ingresa a los calentadores HE-1001A/B para alcanzar una temperatura de 45°C.

Adicionalmente, y en línea con la premisa de asegurar suministro de gas combustible, el cuadro de válvulas autorreguladoras dispone de un by-pass compuesto por una válvula aguja y un manómetro, los cuales deben abrirse hasta alcanzar un valor dentro del rango deseado.

I.1.2 Sistema de Venteos

La Terminal dispone de un sistema de venteos, solo para ser utilizado en caso de contingencias, conformado por un colector que culmina en la chimenea L-1701. La chimenea está compuesta por una base y una conducción vertical que se encuentra abierta a la atmósfera.

I.1.3 Sistema de Aire de Instrumentos

El sistema de aire de instrumentos consta de un compresor de tornillo K-1501 y dos filtros de acondicionamiento y desecadores de adsorción con regeneración automática. Asimismo, se dispone de un pulmón de aire de instrumentos V-1501 el cual opera a una presión de 10 bar. Con el fin de asegurar el consumo de aire de instrumentos el sistema cuenta con dos válvulas autorreguladoras PCV-1510/1511 que regulan a un valor de 9 bar y 8,5 bar, respectivamente.

I.1.4 Sistema de Nitrógeno

Cabe destacar que en el brazo de descarga se conecta una línea de Nitrógeno a ser utilizada en las operaciones de inertizado del equipo, habilitando el paso de gas de barrido y purga hacia el brazo de descarga.

I.1.5 Sustancias y Productos Manipulados

La Terminal GNL Escobar trabaja principalmente en la regasificación de GNL que se efectúa a bordo, por lo que la única sustancia inflamable es el Gas Natural. La Terminal GNL Escobar recibe GNL de diferentes productores con composiciones disímiles.

I.1.6 Sistema de Prevención y Protección contra Incendios

Se describen a continuación las principales características y componentes de los Sistemas de Prevención y Protección de la instalación de acuerdo a la información suministrada por YPF S.A. La Terminal cuenta con su propio sistema de lucha contra incendios.

El sistema está compuesto por dos bombas Diesel principales J-1601/02 que permiten abastecer de agua a los elementos del sistema contra incendios, un tanque de agua TK-1603 y dos bombas Jockey eléctricas J-1603A/B.

- Monitores telecomandados M-A/B: Los mismos se localizan en la zona del muelle a una altura aproximada de 15 m; en su diseño contemplan un caudal de descarga de 175 m³/h con un alcance de hasta 60 m y son activados a través de sus respectivas válvulas diluvio. Poseen rotación vertical y horizontal; que pueden ser comandados de manera remota desde paneles dedicados en la zona de filtros de DCI y la sala de control.
- Cortina de Agua L-1601: Está ubicada sobre el muelle y se compone por dos ramas paralelas, una ubicada a nivel del suelo y otra ubicada a 8 m de altura. La cortina de agua tiene como objetivo proveer una barrera entre el buque EBRV y las instalaciones de superficie. La cortina de agua puede ser activada en forma automática desde ESD a través de su válvula diluvio y desde el panel de monitores ubicados en sala de control o botoneras ubicadas en la zona de filtros de DCI.
- Rociadores RA-1601/1602: Se ubican sobre los tanques de diesel TK-1601/1602 de las motobombas de incendio. Tienen como función proveer de refrigeración a los tanques

mencionados y se pueden activar desde una única válvula diluvio desde el panel de monitores ubicados en sala de control o botoneras en la zona de utilidades.

- Rociador RA-1603: Se ubica sobre las estructuras que sirven de soporte del monitor telecomandado M-A y tiene como objetivo mantener las estructuras refrigeradas. El mismo se puede activar de manera remota o local mediante una única válvula diluvio desde el panel de monitores ubicados en sala de control o botoneras ubicadas en la zona de filtros de DCI.
- Hidrantes: H-0/1/2 cubren la zona del muelle y se habilitan de forma local y manual previa conexión con manguera. H-6/7/8 cubren la zona de utilities y se habilitan de forma local y manual previa conexión con manguera. H-4/5 cubren la zona de motobombas de incendio y se habilitan en forma local y manual previa conexión con manguera.
- Extintores portátiles: Se dispone de veinte extintores portátiles de polvo triclase (ABC) y cinco extintores portátiles de dióxido de carbono. Las características y distribución se detallan en la **Tabla 1**.
- La red de agua presurizada del sistema de lucha contra incendios está diseñada para abastecer el funcionamiento de los monitores telecomandados, punto crítico de la red por su mayor consumo, a una presión de 7,35 bar. Para evitar que los sedimentos contenidos en el agua del río obstruyan los elementos del sistema, tales como monitores, rociadores, cortinas de agua y válvulas diluvio, se dispone de los filtros tipo canasto Y-1601A/B e Y-1602A/B.

Tabla 1. Distribución de extintores portátiles

UBICACIÓN	Nº DE EXTINTORES	TIPO DE EXTINTORES	
ESCOBAR	MUELLE PRINCIPAL	2	ABC de 70 kg
	SCRAPER	1	ABC de 70 kg
	UTILITIES	1	ABC de 70 kg
		2	ABC de 10 kg
	ENTRADA SC	2	ABC de 5 kg



	SALA JEFATURA	1	CO ₂ de 5 kg
	SALA DE CONTROL	1	CO ₂ de 5 kg
	SALIDA ER SC	1	CO ₂ de 5 kg
	CCM	1	CO ₂ de 5 kg
	ACCESO SC	1	ABC de 10 kg
	PUESTO 1	2	ABC de 10 kg
	PUESTO 2	1	ABC de 10 kg
	ESTACIONAMIENTO	1	ABC de 5 kg
	JER	1	CO ₂ de 5 kg
	ENTRADA SB	2	ABC de 10 kg
CARDALES	SCRAPER	1	ABC de 70 kg
	FILTROS	1	ABC de 70 kg
	MED Y REG	2	ABC de 70 kg
	COMUNICACIONES	1	ABC de 70 kg

Cabe destacar que las bombas verticales J-1601/1602 se ubican en una estructura montada sobre el río Paraná de las Palmas. Las mismas poseen un caudal de diseño de 795 m³/h y una presión diferencial de 13,8 bar. Las bombas cuentan con un sistema de rejas que las protegen de la succión de potenciales elementos sólidos provenientes del río. En la estructura de las bombas también se alojan los tanques de almacenamiento de combustible para cada bomba TK-1601/1602, los mismos poseen un recinto de contención de derrames.

Con el fin de acondicionar el agua de río y ser utilizada en la red de incendio, se dispone en toda la instalación de la red del Sistema contra Incendio una serie de filtros tipo canasto Y-1603A/B.

El tanque TK-1603 posee una capacidad de 40 m³ y constituye la reserva de agua para las bombas jockey J-1603A/B. El mismo dispone de inyección de químicos Q-1650 el cual aporta un biocida, inhibidor de corrosión y secuestrante de O₂.



Las bombas jockey J-1603A/B tienen como función mantener presurizada a la red de incendio a 8 bar y poseen un caudal de diseño de 15 m³/h. La bomba J-1603A entra en funcionamiento a una presión de 5 bar, y si la presión del sistema alcanzara una presión de 4 bar, la bomba J-1603B entrará en funcionamiento.

Cuando la red alcance una presión de 8 bar, las bombas se detendrán. Las bombas mencionadas previamente pueden activarse adicionalmente de manera local mediante pulsadores de marcha y paradas independientes.

I.1.7 Sistema de Detección y Alarmas

El sistema de Fire&Gas de la Terminal está compuesto por detectores de mezcla explosiva de tipo infrarrojo y por detectores de llama del tipo infrarrojo multibanda (triple banda). Los mismos se encuentran distribuidos a lo largo de la Terminal.

Los detectores de mezcla explosiva se activan en función de la concentración de gas natural en aire expresado en función del límite de explosividad del mismo. La distribución de estos detectores en la terminal es:

- Brazo de descarga LA-1001 (AT-1004).
- Patín de recepción sobre cuadro de válvulas SDV-1029 y SDV-1031 (AT-1005).
- En trampa lanzadora de scraper TSL-1100 sobre la tapa de apertura rápida (AT-1101).
- En utilities sobre el skid de gas combustible (AT-1009) y en el skid de motogeneradores G-1901A/B (AT-1900).

La distribución de los detectores de llama en la terminal es como se muestra a continuación:

- En brazo de descarga LA-1001 (AT-1010).
- En patín de recepción, cubriendo el cuadro de válvulas SDV-1029 y SDV-1031 (AT-1006).
- En zona de bombas principales contra incendio, cubriendo los tanques de Diesel TK-1601/1602 (AT-1600).
- En "utilities", cubriendo los skids de motogeneradores G-1901A/B (AT-1901).



La detección de mezcla explosiva y de llama en los sistemas descritos previamente desencadena acciones como bloqueo y venteo de las instalaciones involucradas.

I.1.8 Sistema de Shut Down

La terminal cuenta con un sistema de válvulas de shut down distribuidas a lo largo del proceso, las mismas se describen a continuación:

- SDV-1014 aguas abajo del punto de acople del brazo de descarga.
- SDV-1029 y SDV-1031 aguas abajo del brazo de descarga y del punto de inyección de nitrógeno.
- SDV-1060 aguas abajo del skid de medición de presión y temperatura y aguas arriba de la trampa lanzadora TSL-1100.
- SDV-1111 aguas arriba de los calentadores eléctricos HE-1001A/B y aguas debajo de la derivación de gas combustible a motogeneradores.

Asimismo, se cuenta con un sistema de válvulas de blowdown dispuestas a modo de poder realizar el venteo de la terminal en caso de contingencia, las mismas se describen a continuación:

- BDV-1013 en línea de inyección de nitrógeno para la inertización del brazo. Cabe destacar que esta válvula es utilizada en la operación de barrido y purga con nitrógeno del brazo de descarga.
- BDV-1024/1025 en línea hacia la chimenea de venteo L-1701 para despresurización del sistema de gas natural y línea de nitrógeno en patín de recepción.
- BDV-1058 en línea hacia la chimenea de venteo L-1701 para despresurización de línea aguas abajo de la medición de presión y temperatura y aguas arriba de la trampa lanzadora TSL-1100.
- BDV-1010 en línea hacia la chimenea de venteo L-1701 para despresurización de línea de gas combustible aguas arriba de los calentadores eléctricos HE-1001A/B.



I.1.9 Sistemas de Indicación Visual y Auditiva

Ante un escenario de contingencia en la Terminal y con el fin de alertar a los operadores, se dispone de sirenas y balizas para indicación visual y auditiva. Su ubicación, listada a continuación, tiene como objeto resguardar a los operadores y permitirles tomar medidas correspondientes y/o la pronta evacuación de la terminal.

- Brazo de descarga (YA-1070).
- Muelle (YA-1071).
- Sala de control (YA-1072).
- Chimenea de venteo L-1701 (YA-1701).

I.1.10 Pulsadores de Emergencia

Se dispone de pulsadores distribuidos estratégicamente a lo largo de la Terminal. Los mismos tienen como fin permitir a los operadores de campo y sala de control iniciar los procedimientos de emergencia con los que cuenta la planta y activar señales de alarma, enclavamientos y/o el sistema contra incendio. Los últimos incluyen la apertura de los monitores tele-comandados, cortinas de agua y rociadores.

La distribución de los pulsadores, detallada a continuación, tiene como objetivo facilitar la maniobra de los operadores en caso de emergencia en función de las rutas de escape y la cercanía a los equipos potencialmente involucrados en el siniestro o a las instalaciones de incendio respectivas.

- Handswitch locales HS-1036/37 en zona de muelle.
- Handswitch locales HS-1038/39 en zona de pasarela.
- Handswitch remoto HS-1001 en panel de ESD.
- Handswitch remotos HS-1002/1003/1074 en Sala de Control.
- Handswitch local HD-1050 en zona de utilities.
- Handswitch local HD-1100 en zona de trampa lanzadora TSL-1100.
- Handswitch HS-1611/1690/1691 locales en zona de válvulas diluvio y remotos en zona de Sala de Control.



- Handswitch HS-1692 local en zona de válvulas diluvio y remoto en zona de Sala de Control y panel de comando de monitores.
- Handswitch HS-1693/1694 locales en zona de válvulas diluvio y remotos en zona de Sala de Control y Panel de comando de monitores.
- Handswitch HS-1695 remoto en zona de Sala de Control y Panel de comando de monitores.

II. OBJETIVOS DEL PRESENTE TRABAJO

Dadas las conclusiones divergentes en aspectos relevantes acerca de la evaluación del riesgo de las instalaciones mencionadas en el punto anterior, realizadas en distintas etapas temporales y con objetivos diversos, y por distintas instituciones; se pretende realizar un análisis comparativo a los efectos de identificar las causas que originan y explican tales divergencias.

En particular, se procederá a establecer un diagnóstico analizando la documentación relacionada con el estudio de riesgos de la terminal portuaria (y documentación complementaria a medida que surja la necesidad), para identificar los factores que expliquen las divergencias existentes en las conclusiones alcanzadas según distintas fuentes.

Específicamente, se resalta la existencia en un documento, entre los citados, producido por un grupo de trabajo perteneciente a la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, que (a diferencia de los demás existentes) identifica en las conclusiones vertidas factores de riesgo que ameritan categorizar la operación de la terminal portuaria de GNL ubicada en Escobar (según el modo en que se la ha operado hasta la fecha, desde su habilitación y puesta en marcha); con el nivel "riesgo no aceptable" en función de ciertos eventos accidentales identificados en dicho estudio.



III. ANÁLISIS DE SITUACIÓN RESPECTO A LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LA TERMINAL PORTUARIA POR PARTE DE DIVERSOS ACTORES Y SUS DIVERGENCIAS

El análisis que aquí se propone, consiste en primer lugar en identificar los factores que explicitan las diferencias de criterios, metodologías y conclusiones obtenidas en la evaluación del riesgo, por parte de diversos analistas.

Se pretende obtener conclusiones específicas con relación a cada uno de los principales puntos que concluyen niveles de riesgo "no aceptable" para ciertos eventos accidentales, en particular en el informe de la Universidad de Lomas de Zamora, que forma parte del conjunto de documentación a analizar. Esto es importante, dada la divergencia manifiesta con otros estudios del proyecto y operación de la planta GNL Terminal Escobar. Algunos de los estudios referenciados, se generaron con el objetivo (y fueron la base) para la aprobación y el mantenimiento de certificaciones y habilitaciones para la construcción y operación de la terminal portuaria, por las autoridades competentes.

En los casos que resulte necesario, se realizará e intentará, con la información disponible, y el tiempo asignado a este trabajo, la re-evaluación de tales escenarios/conclusiones divergentes, siguiendo los criterios utilizados por los diversos documentos en los que se originan, tomando como referencia al "estado del arte" del análisis riesgos en la industria.

A continuación, se menciona la documentación relevante a analizar, relacionada con el análisis de riesgos de las instalaciones objeto de estudio, *y que conforman el conjunto básico de referencia, objeto de análisis, en función de la documentación aportada por YPF.*

Muy sucintamente, describimos brevemente los objetivos, alcances y autores/actores relevantes respecto a la documentación citada.

- 1) Terminal GNL Escobar, Análisis Cuantitativo de Riesgos, Reporte Nro: 50102652 Rev 01, Fecha de emisión, 07 August 2015, Lloyd's Register London Energy Operations, (DOC_1 LL R).

Pág. ii de (DOC_1 LL R)¹

¹ Se toma de los párrafos el texto que considera los criterios definidos en el "Health and Safety Executive" (HSE)



“Resumen Ejecutivo

Se ha realizado un análisis exhaustivo de riesgo cuantitativo (“ACR”) de la Terminal de Escobar de GNL y para ello se utilizó el software de riesgo PHAST (versión 6.72). La comparación de los resultados publicados muestra que:

- Los niveles de Riesgos Geográficos (“RG”) fuera de las instalaciones/Terminal son generalmente bajos y cercanos al nivel “mayormente aceptables” del HSE
- En las poblaciones residenciales más cercanas, los riesgos individuales son muy bajos y se encuentran dentro de la “región mayormente aceptable” del HSE
- Dentro de la Terminal/instalaciones, los riesgos individuales se encuentran entre la región “Tolerable si se son tan bajos como sea razonablemente practicable” (“ALARP”) del HSE o, por debajo, aun cuando la fracción de tiempo que el personal está presente no sea tomado en cuenta
- Los riesgos individuales en el Nuevo Edificio Administrativo y el Nuevo Centro Médico son muy bajos y se encuentran en la región “aceptable” del HSE
- Los riesgos sociales a los trabajadores también se encuentran entre la región “tolerable si son tan bajos como sea razonablemente practicable” del HSE
- El riesgo social al público se encuentra en la región “mayormente aceptable...”

2) Terminal GNL Escobar, Análisis Cuantitativo de Riesgos, Memoria Técnica, Fecha de emisión, 03/01/20, Estudio Solano S.A. (DOC_2 Solano).

Pág. 4 de DOC_2 Solano²: “Objeto

Realizar la actualización y adecuación del Análisis Cuantitativo de Riesgos de la Terminal GNL Escobar, cuya última revisión fue ejecutada por la compañía Lloyds Register EMEA en el mes de agosto de 2015 (documento 50102656R01 Rev 01). Para ello se deberá identificar todo evento potencialmente peligroso, realizar una selección de posibles Hipótesis Accidentales y determinar los niveles de Riesgo Individual y el Riesgo Social, mediante la estimación de la frecuencia de ocurrencia y de la magnitud de las consecuencias de eventos potencialmente

² Se toma de los párrafos el texto que considera los criterios definidos en el “Health and Safety Executive” (HSE)



peligrosos, capaces de ocasionar daños a las personas, los bienes físicos, al medio ambiente y a la producción, como consecuencia de fugas de sustancias inflamables, combustibles y/o tóxicas.

Asimismo, los niveles de riesgo obtenidos deberán ser contrastados con los umbrales de tolerabilidad de la norma británica del HSE (Health and Safety Institute) ...”

Pág. 4 de DOC_2 Solano: “Alcance

Lo mencionado en el objeto precedente, se ha desarrollado para la Terminal de GNL Escobar, perteneciente a YPF S.A., la cual se encuentra ubicada en la margen derecha del río Paraná de las Palmas, dentro de los límites del Partido de Escobar, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.

Se considerarán dentro del alcance de este estudio las instalaciones del muelle de descarga de gas natural re-gasificado, y todos los equipos de planta ubicados en la costa, hasta la trampa lanzadora de scraper del gasoducto Escobar – Cardales inclusive, quedando el gasoducto fuera del alcance. Adicionalmente, y siguiendo el criterio establecido por el Análisis Cuantitativo Anterior, se considerarán eventos en el buque re-gasificador (FSRU) y el buque metanero (LNGC).

Los trabajos han sido efectuados considerando a las instalaciones en condiciones de máxima operatividad. El presente documento y sus conclusiones son válidos en tanto no se modifiquen las características y/o parámetros de las instalaciones y su entorno que han sido considerados para su realización. De producirse cambios en los mismos, deberá procederse a la actualización de este documento. ...”

3) Terminal GNL Escobar, Pericia realizada por la Universidad Nacional de Lomas de Zamora (UNLZ), en el marco de la causa Nro. 75001619/2011, Juzgado Federal de Primera Instancia de Campana, y su Anexo adjunto, octubre de 2020 (DOC_3 UNLZ).

Pág. 1-2 de DOC_3 UNLZ: “... Análisis de riesgo de la Terminal Portuaria de GNL Escobar, con foco en los principales aspectos y escenarios que podrían derivar en accidentes mayores y/o catastróficos, así como las consecuencias para la población.

Para el mismo se ha utilizado toda la información disponible que obra en el Expte 1619, así como bases de datos, normas y literatura altamente especializada aplicable a dicho análisis. En



todos los casos donde ha sido posible se han analizado múltiples escenarios y se han aplicado varios métodos y/o normas reconocidas internacionalmente, aplicando la mayor amplitud de criterios posible en la elaboración del informe.

Las instalaciones bajo análisis incluyen: A) las instalaciones on-shore y B) las instalaciones off-shore, con un buque FSRU (Floating Storage Regasification Unit) amarrado al jetty, con capacidad máxima de almacenamiento de aproximadamente 150.000 m³ de Gas Natural Licuado (GNL o LNG por sus siglas en inglés), donde el GNL es re-gasificado e inyectado al gasoducto mediante brazos de descarga de alta presión, y un buque tanque abarloado LNG Carrier, con capacidad máxima de carga de hasta 145.000 m³ y con carga limitada para la navegación de acercamiento y operaciones de alijo "ship to ship" en la Terminal de hasta unos 95.000 m³ de GNL almacenado a -162 °C...

...El análisis realizado consistió en la identificación de las fuentes de descarga de GNL y/o GN re-gasificado en la Terminal Portuaria de GNL Escobar y los eventos y/o incidentes iniciadores de tal descarga, en particular aquellas que conllevan a los mayores niveles de riesgo asociados con accidentes mayores...

4) Terminal GNL Escobar, ANEXO I. Dictamen Pericial, Martín Federico Schopflocher, Ingeniero Mecánico; Alberto Martín Dominguez, Licenciado en Seguridad e Higiene; en el marco de la causa nro. 75001619/2011, Juzgado Federal de Primera Instancia de Campana (DOC_4 Peritos)

Pág. 1 de DOC_4 Peritos:

"I. -Antecedentes

La presente consiste en la evaluación del Informe Pericial efectuado por el Dr. Ing. Fernando Massaro, Representante Técnico de la Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Lomas de Zamora".

Este informe comprende consideraciones técnicas acerca de los distintos puntos que han sido abordados en el estudio pericial de análisis de riesgos, presentado por la Universidad Nacional de Lomas de Zamora (en nuestro trabajo referenciada UNLZ o bien documento *DOC_3 UNLZ*) mostrando en general concordancias acerca de distintos aspectos del mismo. Por ejemplo:

Pág. 1 de DOC 4 Peritos:

“...resulta adecuado el material, la bibliografía, las normas técnicas, los modelos utilizados, las bases de datos y fuentes consultadas.”

Es necesario remarcar que, de corresponder, se desarrollarán los diferentes aspectos considerados en cada uno de los puntos de este documento.

5) Terminal GNL Escobar, Auditorías integrales de Seguridad efectuadas por Universidades Nacionales en el Marco de la Resolución 338/12 SEN: por ejemplo, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Bahía Blanca, Universidad Nacional de Avellaneda.

6) Escrito de apelación presentado por YPF S.A. en la causa mencionada, en lo relativo a Pericia indicada en el punto (4) precedente, y la documentación allí referenciada.

Denotado el conjunto de documentación básica relacionada con el Análisis de Riesgos (y someras descripciones de objetivos y/o algunas conclusiones) sobre la terminal portuaria y la zona potencialmente vulnerable durante la navegación del buque de aprovisionamiento; para arribar a los objetivos propuestos se desarrollará, *en una primera etapa*, un análisis integral de la documentación existente y se analizarán las conclusiones obtenidas, especialmente enfatizando las divergencias existentes.

En la *segunda etapa*, se identificarán los factores que expliquen las divergencias existentes en las conclusiones alcanzadas. En particular, se analizarán en detalle las conclusiones acerca de eventos específicos que se mencionan en un solo documento (dentro del conjunto básico de análisis arriba citado) producido por un grupo de trabajo perteneciente a la Universidad Nacional de Lomas de Zamora; en el cual se identifican situaciones de riesgos “*no aceptables*” en la terminal portuaria de GNL (*DOC_3 UNLZ*).

En la *tercera etapa*, e identificados los factores que influyen en las divergencias respecto de las conclusiones acerca del nivel del riesgo asociado a la terminal portuaria, se obtendrán las conclusiones correspondientes, realizando si es necesario, la re-evaluación de tales escenarios, siguiendo los criterios utilizados por los diversos documentos que los originan, y/o por métodos alternativos, de ser necesario.

En general, la documentación utilizada ha sido provista por YPF S.A.



III.1 Primera Etapa. Análisis de la Documentación que Conformar el Conjunto Básico de Referencia, Respecto al Análisis de Riesgos de la Terminal de GNL

Realizado un análisis preliminar de la citada documentación, que conforma el conjunto de referencia acerca del estudio de riesgos de la terminal portuaria, se puede concluir lo siguiente:

Se observan diversos criterios de análisis y distintos objetivos, obviamente según sea la etapa del proyecto o la motivación /objetivos del estudio.

- Habilitaciones para la construcción.
- Habilitaciones para la operación.
- Estudios de rutina para el cumplimiento de lo impuesto por el sistema de gestión o por el cumplimiento de la Res 338/12 [1], auditorías y otras normas, incluyendo el Sistema de Gerenciamiento del Riesgo de YPF.
- Análisis y motivaciones y/o puntos de vista externos a la empresa.

En cualquier caso, y a partir de un análisis preliminar, se pueden considerar dos ejes relevantes:

- Análisis de la instalación de la terminal portuaria en sí misma.
- Análisis de las vías navegables de acceso, integralmente.

Por otra parte, pueden citarse el uso coincidente de un núcleo central de normativas (por parte de los informes/documentos que conforman el conjunto de referencia) de aplicación nacional o internacional, y al mismo tiempo existen diferencias ya que en algunos estudios, según se detallará en la sección III, se mencionan o utilizan métodos, guías, criterios, procedimientos para el cálculo e interpretación de los valores de riesgo, que están débilmente (o no lo están) ligados a las exigencias o criterios exigidos por las autoridades nacionales con competencia en la materia. Asimismo, se nota la utilización de metodologías de evaluación diferentes en algunos de los estudios que componen el conjunto de referencia, ya que en unos únicamente se emplean métodos cuantitativos, rigurosos y en otro grupo se utilizan métodos cualitativos/semi-cuantitativos.



Además, se observan distintas hipótesis para el cálculo. Por ejemplo, merecen citarse los criterios/ procedimientos empleados (que resultan relevantes para las conclusiones) acerca de:

- Hipótesis asociadas al peor caso, por ejemplo, relacionadas con variables tales como:
 - a. Caudales máximos.
 - b. Tamaños de agujeros asociados a las fugas accidentales y su frecuencia.
 - c. Tiempos de fuga, entre otras variables determinantes.
- Consideración de las salvaguardas contempladas en el diseño.
- Contemplar sólo el riesgo inherente al complejo (sin las medidas de seguridad).
- Considerar globalmente el riesgo residual, es decir, teniendo en cuenta los elementos de seguridad previstos en cada diseño concreto, en base a obra terminada y en operaciones reales.

Si bien estos aspectos serán a continuación considerados en más detalle (en función de los objetivos de este trabajo), se enumeran brevemente algunos de los puntos relevantes mencionados en los documentos incluidos en el conjunto de referencia, acerca de la metodología empleada para el análisis de riesgo asociado a la terminal portuaria. Esto es importante, ya que resultan fundamentales al aplicar cualquier metodología de análisis de riesgos; entre otros aspectos:

- La identificación de los eventos peligrosos y accidentales posibles, y las causas que los originan.
- Metodologías/criterios para el cálculo de Riesgo sobre el objeto de estudio.
- Métodos de evaluación cuantitativa utilizados.
- Evaluación de las frecuencias de ocurrencia de cada evento /escenario considerado.
- Evaluación de las consecuencias. Metodologías utilizadas.
- Vulnerabilidad del Entorno. Metodologías utilizadas.
- Cálculo del riesgo individual. Metodologías y herramientas de cálculo.
- Cálculo del riesgo social. Metodologías y herramientas de cálculo.



- Herramientas computacionales utilizadas para estimar el riesgo y “graficarlo”.

Según se ha especificado en las secciones anteriores, si bien este análisis pretende ser integral, el principal aspecto a considerar es la detección del conjunto de factores que expliquen las divergencias entre las conclusiones que se derivan según los distintos informes que conforman el conjunto de referencia. En efecto, según la metodología de trabajo aquí adoptada, en la segunda etapa (Sección III.2), se analizarán exhaustivamente las divergencias existentes en las conclusiones alcanzadas. Esto es, relacionar las mismas a la luz de los criterios, metodologías y herramientas computacionales que hacen al estado del arte, y someramente descritas más arriba.

Más específicamente, se analizará en profundidad (Sección III.2 y III.3), las conclusiones acerca de eventos específicos accidentales que se mencionan en un solo documento (dentro del conjunto básico de análisis arriba citado) producido por un grupo de trabajo perteneciente a la Universidad Nacional de Lomas de Zamora (DOC_3 UNLZ); en el cual se identifican situaciones de riesgos “no aceptables” en la terminal portuaria de GNL. Se asocia a éste, además, el documento Pericial denotado DOC_4 Peritos en el conjunto de referencia analizado.

III.2 Segunda Etapa. Análisis de la Documentación que Conformar el Conjunto Básico de Referencia, Respecto al Análisis de Riesgos de la Terminal de GNL. Discrepancias en las Conclusiones

A los efectos de identificar las principales discrepancias observables a partir de un análisis de la documentación que conforma el conjunto de referencia aquí adoptado, seguidamente se resumen brevemente aspectos acerca de las principales conclusiones obtenidas en los distintos documentos sobre el riesgo asociado a la terminal portuaria objeto de análisis.

Como se ha mencionado en la introducción, entre otros, se ha realizado un Análisis Cuantitativo de Riesgos de la Terminal GNL Escobar, Reporte Nro: 50102652 Rev 01, con fecha de emisión, 07 de agosto de 2015 (DOC_1 LL R). Este estudio se realizó como una actualización del estudio original realizado en el 2013 con el objeto de reflejar las nuevas obras en construcción de la terminal portuaria.



Posteriormente, y con una metodología de análisis similar, se realizó un nuevo estudio de Análisis Cuantitativo de Riesgos, cuya Memoria Técnica tiene fecha de emisión 03/01/20, realizada por Estudio Solano S.A., la cual se identifica en el conjunto de referencia como (*DOC_2 Solano*).

A continuación, se reproducen las conclusiones más relevantes a las que arriba dicho estudio de Análisis de Riesgos, siendo el más reciente (los números indican la sección correspondiente según están identificadas en el documento referido):

Pág. 76 de DOC_2 Solano: “8 RIESGO RESULTANTE – CONCLUSIONES

A continuación se detallan los niveles de riesgo obtenidos para las instalaciones en estudio:

8.1 RIESGO INDIVIDUAL

Se define el Riesgo Individual como la frecuencia, expresada en número de ocurrencias por año, para la cual un individuo, con una exposición potencial continua, podría sufrir una herida seria o mortal. El Riesgo Individual se representa gráficamente en la forma de curvas de Iso-Riesgo, sobre el plano de las instalaciones en estudio. Estas curvas unen todos los puntos que presentan igual riesgo...”

“...Podemos concluir que los valores de riesgo individual, para los trabajadores, obtenidos en el presente estudio se ubican en la zona de Riesgo Tolerable si ALARP, lo que implica que el nivel es aceptable siempre y cuando se disponga de medidas para mantenerlo en el valor más bajo posible.”

Pág. 77 de DOC_2 Solano: “Asimismo, los valores de riesgo individual, para terceros se ubican en la zona de Riesgo Ampliamente Aceptable, ya que las curvas no se extienden por fuera de los límites de la terminal y no se espera presencia de público en la misma.”

Pág. 78 de DOC_2 Solano: “8.2 RIESGO SOCIAL – DIAGRAMA FN

8.2.1 RIESGO SOCIAL PARA EL PERSONAL EN PLANTA

Como puede observarse en las siguientes curvas F-N, para los trabajadores de la empresa tanto para la jornada diurna como para la nocturna, la frecuencia de accidentes con víctimas fatales múltiples en la Terminal se ubicaría en la zona TOLERABLE SI ALARP...”



Pág. 80 de DOC_2 Solano: "8.2.2 RIESGO SOCIAL PARA EL PÚBLICO"

... Se puede observar que no existe riesgo a los fines prácticos para el público que circula, las viviendas que están establecidos en las cercanías de la Terminal y en el Barrio Privado, dado que las curvas de Iso-riesgo no llegan a los sectores donde se encuentran las mismas.

Por otra parte, *en el informe de la UNLZ (DOC_3 UNLZ)* se desarrollaron otros enfoques para la estimación del riesgo, tanto en lo que refiere la estimación de la vulnerabilidad del entorno como para las frecuencias de ocurrencia. Se analizaron las instalaciones fijas de la Terminal Portuaria de GNL Escobar y la ruta de navegación de los Buques GNL Carrier (hidrovía y tramo de acercamiento). Según se indica en dicho informe, se han utilizado cuatro métodos distintos para cuantificar el riesgo y los daños en la Terminal Portuaria de GNL Escobar y su entorno, incluyendo la navegación de los buques LNG Carrier en la ruta de acceso/acercamiento a dicha Terminal (considerando, según se indica, en todos los escenarios una carga de almacenamiento de 95.000 m³ de GNL).

En la Pág. 24 de DOC_3 UNLZ se mencionan los siguientes "Métodos de cuantificación de riesgos": 1) "índice de DOW", 2) "Res N°338 SEN - norma³ GRI 89/0242 (Gas Research Institute)", 3) "norma holandesa RSN TNO-1999" y 4) "método ILO (International Labour Organization)".

El *primer método (Índice DOW F&EI, ver Anexo III)* según lo detallado en DOC_3 UNLZ, se aplica para identificar, analizar y evaluar los peligros de fuego y/o explosión derivados de una falla o rotura en los tanques y/o tuberías en las propias instalaciones on-shore y off-shore de la Terminal Portuaria de GNL Escobar, así como la gravedad de sus consecuencias, la probabilidad de ocurrencia y el nivel de riesgo en dichas instalaciones. Según lo mencionado en el informe de la UNLZ:

Pág. 24 de DOC_3 UNLZ: "...el índice de riesgo de fuego y explosión DOW F&EI alcanza un valor máximo de 168 puntos, equivalentes a una criticidad muy alta (supera los 159 puntos) según la escala de dicho índice.

³ Si bien a lo largo del texto se hará referencia a esta nomenclatura, en 2) GRI 89/0242 es un reporte y en 3) RSN TNO-1999 se infiere que el año correcto es 1979 [2].



En el caso de un fallo que derive en un fuego y/o explosión, según este índice, el radio considerado como la zona de máximo daño, con “reducción a escombros del 83% de las instalaciones”, es de 127,9 metros, contados a partir del lugar donde se origina la pérdida o fallo en las instalaciones de GNL, aunque el radio se incrementa hasta los 240,6 metros en caso de no utilizar el factor de atenuación del índice (una vez superado un umbral de riesgo el índice considera un valor constante, de no utilizar dicho factor de atenuación el índice DOW F&EI sería de 608,37 puntos”).

El segundo método utilizado en la evaluación del riesgo VCE -explosiones de nubes de vapores- se basa en el cálculo de la dispersión de vapor proveniente de fugas, en este caso originados por fallas en tanques y/o tuberías de las instalaciones off-shore y/u on-shore. *Según el informe de la UNLZ:*

Pág. 24 de DOC_3 UNLZ: “...se realiza de acuerdo al método establecido por la Res 338 SEN - Argentina Anexo III, sección 7.2.11.3 para el cálculo de la dispersión de vapor de gas inflamable de GNL ante fallas en los citados tanques y/o tuberías (conforme norma del Gas Research Institute GRI 89/0242 y complementarias PHMSA - NFPA Research Foundation FPRF 2016-25, MSU/2016/27 del H&S - Health & Safety Lab del Reino Unido y DEGADIS - PHAST Method -Det Norske Veritas 2013).

El tercer método utilizado según lo reportado por el grupo de *trabajo de la UNLZ:*

Pág. 26 de DOC_3 UNLZ: “Alternativamente, se aplicó como tercer método la normativa holandesa RSN TNO-1979, de aceptación internacional, mediante la cual se puede calcular, en caso de producirse una explosión de dicha nube de vapor (VCE), el alcance de diferentes niveles de daños incluyendo distancias que van más allá del límite de las instalaciones propias del buque LNG Carrier o FSRU y/o la Terminal Portuaria de GNL Escobar”.

Por último, el *cuarto método* que se menciona en el informe de la UNLZ (DOC_3 UNLZ):

Pág. 26 de DOC_3 UNLZ: “Adicionalmente, se aplicó un cuarto método de evaluación para una explosión del tipo BLEVE *de acuerdo a la metodología ILO (International Labour Organization)*, donde el daño producido a las personas se expresa en función del impacto que produce la radiación térmica, debido a la explosión, y el tiempo de exposición a la misma, además del daño originado por la onda expansiva en sí misma, bajo lineamientos del método



establecido por la Res 338 SEN - Argentina Anexo III, sección 7.2.11.2 para la protección por radiación térmica en Terminales de GNL (conforme norma del Gas Research Institute GRI 89/0176 y complementarias del US Department of Energy - Federal Energy Regulatory Commission Doc AD13-4-000 /2013 – LNGFire3 Parameters), siendo más detallado el método ILO en cuanto al daño a las personas.”

Se afirma, además:

Pág. 27-28 de DOC 3 UNLZ: “Cada uno de los métodos analizados anteriormente se complementaría con los otros. Los dos primeros métodos se focalizan en las zonas de mayor daño, es decir aquellas con destrucción total que son “reducidas a escombros”, incluyendo en el segundo método los gradientes de daños a personas e instalaciones conforme su distanciamiento al epicentro de la explosión y al tamaño de la nube de gas VCL, mientras que el tercer y cuarto método incluye el daño a las personas, considerando todos los efectos de la onda expansiva, sumando en el cuarto método los daños producidos por los llamados proyectiles (trozos de las instalaciones y equipos que salen despedidos en forma aleatoria por dicha onda expansiva), los efectos de la radiación térmica y los tiempos de exposición a la misma.”

Por otra parte, entre otros, se analizan los siguientes cuatro escenarios accidentales:

Pág. 37 de DOC 3 UNLZ:

“...a) VCE/BLEVE en la Terminal Portuaria de GNL Escobar (instalaciones on-shore y off-shore), considerando el riesgo combinado de todos los eventos iniciadores así como la hipótesis de sabotaje...”

“...b) VCE/BLEVE en Buque LNG Carrier por hipótesis de sabotaje, con desvío a Puerto Buenos Aires, Puerto Dock Sud ó Puerto La Plata...”

“...c) Colisión durante la navegación del Buque LNG Carrier en la ruta de acceso (Hidrovía), con posible VCE/BLEVE...”

“...d) Colisión durante la navegación del Buque LNG Carrier en el tramo de acercamiento (Canal de navegación del Río Paraná de las Palmas), con posible VCE/BLEVE...”

Según lo reportado en el informe de la UNLZ, se han obtenido las siguientes distancias de impacto:

Pág. 26 de DOC 3 UNLZ: “el radio de la bola de fuego producido por un BLEVE en la Terminal Portuaria de GNL Escobar, según este método [método ILO y considerandos arriba mencionados], para las condiciones ambientales y condiciones de mezcla GNL-aire especificadas, es de 1.004,2 metros con una duración de 154,4 segundos para una carga de 95.000 m³ de GNL (caso conservador, sin BLEVEs adicionales) ...”

En la pág. 27 se presentan dos figuras: “Figura 18. Flujo de radiación térmica (kW/m²) según la distancia al epicentro del BLEVE para un buque LNG Carrier /FSRU, con 95.000 m³ de GNL, amarrado en la Terminal Portuaria de GNL Escobar (incluyendo la navegación del LNG Carrier en la ruta de acceso / salida en la Hidrovía) y “Figura 19. Daños causados al entorno por el flujo de radiación térmica según la distancia y el tiempo de exposición para un buque LNG Carrier/ FSRU, con 95.000 m³ de GNL, amarrado en la Terminal Portuaria de GNL Escobar (incluyendo la navegación del LNG Carrier en la ruta de acceso / salida en la Hidrovía).

En las pág. 28 a 31 se presentan valores de impacto en las tablas y figuras: “Tabla 20 (y Figura 21). Principales zonas afectadas por un VCE y/o BLEVE con epicentro en las Instalaciones on-shore y off-shore de la Terminal Portuaria de GNL Escobar (Buque LNG Carrier / FSRU amarrado, con 95.000 m³ de GNL). Distancia al epicentro de la explosión”, “Tabla 22. Principales zonas afectadas por un VCE y/o BLEVE con epicentro en un Buque LNG Carrier transportando 95.000 m³ GNL durante la navegación en la ruta de acceso a la Terminal Portuaria de GNL Escobar.”, “Figura (23). Principales áreas impactadas conforme el Código NVIC 01-11 para Buques LNG Carrier (con 95.000 m³ de GNL) navegando en el tramo de acercamiento de 25 km a la Terminal Portuaria de GNL Escobar, “Figura (24). Terminal Portuaria de GNL Escobar: Ruta de acceso / salida para Buques LNG Carrier (con 95.000 m³ GNL)”.

Por otra parte, se estima la vulnerabilidad del entorno, según:

Pág. 34 de DOC 3 UNLZ: “Análisis de Vulnerabilidad:

Entorno de la Terminal Portuaria GNL Escobar y la ruta de navegación de Buques GNL Carrier (Hidrovía y tramo de acercamiento).

También se ha realizado un análisis de vulnerabilidad del entorno para la Terminal Portuaria de GNL Escobar y la ruta de navegación de los Buques GNL Carrier (hidrovía y tramo de



acercamiento), conforme la Directiva del Parlamento Europeo 2012/18/UE SEVESO III, relativa al control y planificación ante el riesgo de accidentes mayores y/o explosiones catastróficas donde intervienen sustancias peligrosas, incluido el GNL.

La citada Directiva, incorporada en España bajo el Real Decreto RD 840/2015 (año 2015) y complementarias, establece la metodología de cálculo del llamado "factor de vulnerabilidad" de dicho entorno, estableciendo un índice numérico y una escala: entorno poco vulnerable: $FV < 10$, entorno vulnerable $10 \leq FV \leq 30$, entorno muy vulnerable $FV \geq 30$ ".

En la pág. 35 se presentan los valores obtenidos en la "Tabla 25. Factor de Vulnerabilidad calculado para el entorno de la Terminal Portuaria de GNL Escobar y los Buques LNG Carrier (con 95.000 m³ GNL) en la ruta de navegación a la Terminal Portuaria de GNL Escobar (Hidrovia y tramo de acercamiento de 25 km)".

En lo que respecta al riesgo, que en definitiva es el valor más importante para la toma de decisiones ya que pondera frecuencia de ocurrencia con vulnerabilidad del entorno, se dice:

Pág. 35-36 de DOC 3 UNLZ: "Cálculo de Riesgos y Criterios de Aceptación"

Para la determinación del riesgo se combinan los diferentes resultados obtenidos en los análisis precedentes, calculando el riesgo asociado a cada uno de los escenarios e hipótesis de accidentes mayores y/o catastróficos, expresado como el producto de su frecuencia y las consecuencias que pueden ocasionar, así como el número de víctimas asociado para un Probit determinado. Las llamadas "matrices de riesgo" facilitan la clasificación de los resultados obtenidos en el cálculo antes mencionado, conforme una escala de valoración cuali-cuantitativa para las frecuencias (asociadas a cada escenario e hipótesis) así como para las consecuencias y víctimas que estos escenarios provocarían en caso de ocurrencia.

El IMO (International Maritime Organization) ha establecido criterios para la valoración de las frecuencias y consecuencias (valores índice), así como la matriz de riesgo de aplicación internacional para las instalaciones off-shore, y en particular para aquellas que almacenan y/o procesan GNL, mientras que la Directiva de la Comunidad Europea (Directiva 2012/18/UE SEVESO III), establece criterios tanto para instalaciones off-shore como para terminales portuarias e instalaciones on-shore para sustancias peligrosas, entre ellas el GNL. La combinación de criterios para las matrices de riesgo de instalaciones off-shore y on-shore se muestran a continuación: ..."



En la pág. 36 de DOC_3 UNLZ se presenta la “Tabla 26. Valor Índice de Frecuencia (Criterios combinados IMO MSC Circ 1023 / SEVESO III)” y la “Tabla 27. Valor Índice de Severidad de Consecuencias (Criterios combinados IMO MSC Circ 1023 / SEVESO III).”

Se muestra a continuación la “Tabla 28. Nivel de Riesgos aplicable sobre la matriz de riesgos (Criterios combinados IMO / SEVESO III)” y la “Tabla 29. Matriz de Jerarquización de Riesgos: Resultados del cálculo de riesgo para la Terminal Portuaria de GNL Escobar y la ruta de navegación del Buque LNG Carrier (Hidrovia y tramo de acercamiento) (Criterios combinados IMO / SEVESO III)” que, según lo reportado por la UNLZ, permiten evaluar el riesgo.

Tabla 2. “Tabla 28. Nivel de Riesgos aplicable sobre la matriz de riesgos (Criterios combinados IMO / SEVESO III)” (DOC_3 UNLZ; pág. 38)

RANGO (resultados del cálculo de riesgo)	NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÓN
1, 2, 3, 4, 5 y 6	Normal	Riesgo bajo en relación a los parámetros de aceptación mundial para la actividad
8, 9, 10 y 12	ALARP (As Low As Reasonable Practicable)	Se deben adoptar medidas correctivas para mitigar el riesgo hasta un nivel aceptable
15, 16, 20 y 25	No aceptable	Riesgo no tolerable por la gravedad de las consecuencias / simultaneidad de víctimas fatales

Tabla 3. “Tabla 29. Matriz de Jerarquización de Riesgos: Resultados del cálculo de riesgo para la Terminal Portuaria de GNL Escobar y la ruta de navegación del Buque LNG Carrier (Hidrovia y tramo de acercamiento) (Criterios combinados IMO / SEVESO III)” (DOC_3 UNLZ; pág. 38)

Índice de Riesgo		Consecuencia					
		Ninguno	Menor	Significativo	Grave y/o severo	Catastrófico	
		1	2	3	4	5	
Frecuencia	Improbable	1	1	2	3	4	5
	Extremadamente remota	2	2	4	6	8	10 (B)
	Remota	3	3	6	9	12 (C)	15 (D)
	Razonablemente Posible	4	4	8	12	16	20 (A)
	Frecuente	5	5	10	15	20	25

Específicamente, luego de aplicar el método de evaluación del riesgo descrito a los cuatro escenarios (a, b, c y d) anteriormente explicitados, en la Tabla 3 se observan los valores de “Índices de Riesgos” obtenidos. Al respecto, en el informe de la UNLZ se enuncia lo siguiente:

Pág. 38 de DOC_3 UNLZ: “... los resultados obtenidos para el cálculo del riesgo y su clasificación dentro de la matriz de riesgos, según los antes mencionados criterios, son los siguientes:



Para el escenario -a) **VCE/BLEVE en la Terminal Portuaria de GNL Escobar (20 puntos)**, así como para el escenario -d) **una Colisión durante la navegación del Buque LNG Carrier en el tramo de acercamiento** - Canal de navegación del Río Paraná de las Palmas con posible VCE/BLEVE (15 puntos), ambas se clasifican como **no aceptables**;

Mientras que para el escenario -c) **una Colisión durante la navegación del Buque LNG Carrier en la ruta de acceso (Hidro vía), con posible VCE/BLEVE** (12 puntos), y para el escenario -b) **hipótesis de sabotaje, con un VCE/BLEVE en Buque LNG Carrier con desvío intencional a Puerto Buenos Aires, Puerto Dock Sud ó Puerto La Plata** (10 puntos), ambas se clasifican en el nivel ALARP..."

Que un escenario en particular se encuentre en el nivel ALARP, implica que se deben adoptar medidas correctivas y/o de mitigación de dichos riesgos salvo los parámetros que se definen (y se imponen) en el criterio ALARP (ver Anexo II).

A partir del análisis de la documentación que conforma el conjunto de referencia detallado en la sección *III.1.*, se observa la existencia de divergencias significativas en las conclusiones acerca del nivel de riesgo asociado a la terminal portuaria de GNL Escobar de YPF S. A. En efecto, mientras que en el informe DOC_3 UNLZ se afirma que: "los escenarios a) **VCE/BLEVE** en la Terminal Portuaria de GNL Escobar, y d) **una Colisión durante la navegación del Buque LNG Carrier** en el tramo de acercamiento - Canal de navegación del Río Paraná de las Palmas con posible **VCE/BLEVE**, *ambos se clasifican como "no aceptables", en el informe realizado por "Estudio Solano" (DOC_2 Solano), en el que se evalúa el riesgo total en la terminal portuaria integrando la sumatoria de todos los eventos accidentales considerados en dicho estudio, se determinan valores aceptables tanto para el riesgo individual como el social.*

Dentro de este contexto, dadas las divergencias en las calificaciones/conclusiones presentadas en el documento *DOC_ UNLZ* (y las opiniones vertidas en el "Dictamen Pericial" (DOC_4 Peritos) -en cuanto a diversos aspectos metodológicos utilizados en dicho documento que directa o indirectamente avalan-); contrastando con las conclusiones sobre el análisis de riesgos acerca de la misma terminal portuaria que se plasman en los estudios *DOC_2 Solano*, *DOC_1 LL R*, y los considerandos técnicos de la presentación "Escrito de apelación" presentado por YPF S.A. en la causa mencionada, en lo siguiente se procederá a realizar un



análisis integral, tomando como punto de partida el estado del arte para este tipo de estudios, realizando un contraste respecto de las metodologías utilizadas en los mismos. Además, se explicitarán los fundamentos teóricos y/o empíricos que sienten las bases que permitan discriminar entre determinadas conclusiones cuando existan opciones antagónicas.

En general, según el estado del arte, se pueden mencionar etapas fundamentales dentro de un estudio de riesgos: identificación de peligros, estimación de eventos incidentales y las dinámicas de propagación conformando escenarios accidentales, evaluación de las frecuencias de ocurrencia y de las consecuencias/ vulnerabilidad del entorno, para finalmente proceder al cálculo del Riesgo, con las respectivas conclusiones. Estas etapas son en general aplicables para todos los sistemas objeto de estudio.

A continuación, y muy brevemente, nos referiremos a las mismas, teniendo siempre en cuenta el objetivo principal de este trabajo.

III.2.1 Identificación de Eventos Accidentales

Según lo mencionado en la sección III.1, a partir de un análisis preliminar y genérico de la documentación relacionada con los estudios de riesgos de la terminal portuaria, se destacarán algunos aspectos/puntos (según se concluye a priori), que son necesarios pormenorizar, y que se corresponden con el estado del arte en este tipo de análisis.

En los estudios de riesgos que conforman el conjunto de referencia, se identifican los escenarios accidentales de interés. Específicamente, los escenarios peligrosos relevantes son:

- 1) Navegación (con y sin desvío del buque de la ruta prevista hasta la Terminal Portuaria de GNL Escobar)
- 2) Instalaciones fijas (on-shore y off-shore)

Con respecto al punto 1), a partir de los análisis de los documentos, se destacan los siguientes eventos (según criterios e hipótesis adoptadas en cada caso), con y sin desvío del buque de la ruta prevista hasta la Terminal Portuaria de GNL Escobar:

- Varadura.
- Colisión menor.
- Colisión mayor con ruptura del casco y derrame de GNL.



- Actos de terrorismo que provoquen un desvío de la ruta habitual con intencionalidad manifiesta.

Con respecto al punto 2) Instalaciones fijas (on-shore y off-shore), de la misma manera que en el punto 1, en general del análisis de la documentación de referencia se observa que se han identificado (según las hipótesis y metodologías empleadas en cada caso en particular) las áreas críticas en las cuales potencialmente podrían suceder eventos de fugas mayores de GNL y/o GN; siendo las más relevantes las que se mencionan a continuación:

- Brazos de carga: incluye al embarcadero y los brazos de carga del Buque LNG Carrier (prismáticos de membrana GTT y esféricos tipo MOSS) y Buque FSRU, incluyendo las tuberías fijas de conexión de los sistemas de almacenamiento, regasificación e inyección de gas natural.
- Tanques de almacenamiento de GNL, incluye a las bombas sumergidas en los mismos.
- Sección de regasificación: incluye las torres de absorción, los vaporizadores, las bombas y accesorios del sistema.
- Sistema de frío: incluye los compresores y demás componentes del mismo.
- Otras instalaciones, sistemas auxiliares, sistemas de regulación, automatización, supervisión y seguridad, entre otras.

Por otra parte, se destaca que los eventos iniciadores identificados en este tipo de instalaciones, en general se relacionan con pérdida de estanqueidad de manera de originar fugas accidentales de GNL y/o GN re-gasificado. Se identifican dos tipos principales de estas causas:

- Por fallas estructurales en los sistemas de almacenamiento y/o transporte (on-shore y off-shore).
- Por el traspaso/vertida accidental del GNL / GN a partir de alguno de los componentes que conforman el sistema operacional (válvulas, sistemas de limpieza, purgas, etc.).

Dentro de este contexto, en el informe presentado por la UNLZ se afirma:



Pág. 22-23 de DOC 3 UNLZ: "... Los escenarios de roturas y/o fallas utilizados para determinar las frecuencias de accidentes y los daños mayores resultantes han sido los siguientes:

a) Escenario de rotura de tanque debido a una sobrepresión, sobrellenado o vacío parcial. Se considera una falla estructural tal que la misma produce una pérdida de GNL que origina un incendio en forma inmediata o retardada. En el caso de un incendio inmediato se deberá a un "pool fire" y en uno retardado a una nube de vapores de GNL que se dispersará en el ambiente hasta que algún factor externo inicie la ignición del mismo, dependiendo de las cantidades vaporizadas y las condiciones ambientales (temperatura, vientos, humedad). Si esta nube de vapores alcanza los límites de inflamabilidad (5 al 15% en volumen) la mezcla GNL-aire al entrar en contacto con cualquier fuente de ignición podrá dar comienzo a un incendio "flash fire" y/o un VCE/BLEVE. En este caso de falla estructural se evaluaron distintos escenarios, para tamaños y ubicación de las fisuras/roturas (agujeros de 50 mm de diámetro), con caudales máximos de pérdidas de GNL de hasta 75 m³/h y durante 30 minutos (CPR18E-PGS3, CPR14 YB).

b) Escenario de rotura de tuberías de descarga de GNL e inyección a gasoducto (off-shore y/u on-shore). Para la evaluación del daño se considera una rotura de tuberías mientras se producen las maniobras de descarga, regasificación y/o inyección a gasoducto, con un caudal máximo estándar de 4000 m³/h (GNL), y hasta 9.600 m³/h (gas natural re-gasificado), según se trate de GNL almacenado o de GN re-gasificado e inyectado al gasoducto respectivamente, con agujeros de 10 mm de diámetro y que la pérdida ocurre durante un máximo de 10 minutos hasta la detención del sistema (CPR18E-PGS3, CPR14 YB). En este caso, una ignición inmediata producirá un "pool fire", o un "jet fire" si la misma se trata de una tubería con mayor presión, mientras que una retardada producirá una nube de vapores de gas VCL que se dispersará en el ambiente hasta que algún factor externo inicie la ignición del mismo, dependiendo de las cantidades vaporizadas y las condiciones ambientales (temperatura, vientos, humedad). Si esta nube de vapores alcanza los límites de inflamabilidad (5 al 15% en volumen) la mezcla gas-aire al entrar en contacto con cualquier fuente de ignición podrá dar comienzo a un incendio "flash fire" y/o un VCE/BLEVE.

c) Escenario de rotura de tanques y/o tuberías (off-shore) por eventos externos. En el caso de una falla estructural en los tanques por colisión y/o sabotaje, la misma producirá una



pérdida de GNL que podrá originar un “pool fire” si hay una ignición en forma inmediata, o un “flash fire” y/o explosión VCE y/o BLEVE si es retardado, al producirse una dispersión de nube de vapores de gas VCL hasta que algún factor externo inicie la ignición del mismo, dependiendo de las cantidades vaporizadas y las condiciones ambientales (temperatura, vientos, humedad). En el caso de una falla en las tuberías por eventos climáticos extremos, colisión y/o sabotaje, una ignición inmediata producirá un “pool fire”, o un “jet fire” si la misma se trata de una tubería con mayor presión, mientras que se producirá un “flash fire” y/o explosión VCE y/o BLEVE en una retardada, al producirse una nube de vapores de gas VCL que se dispersará en el ambiente hasta que algún factor externo inicie la ignición del mismo, dependiendo de las cantidades vaporizadas y las condiciones ambientales (temperatura, vientos, humedad).

En todos estos casos de fallas estructurales se evaluaron distintos escenarios para tamaños y ubicación de las fisuras/roturas, sobre y debajo de la línea de flotación del buque para el caso de los tanques, incluyendo el ingreso de agua en este último, con agujeros de 50 mm de diámetro para el caso de tuberías, con escenarios de 10 minutos de pérdidas, y agujeros de un máximo de 250 mm de diámetro en los tanques para el escenario de colisiones y de 1.500 mm en los tanques para el escenario de hipótesis de sabotaje, con caudales máximos de pérdida de GNL de 2.770 m³/h para colisiones (10 minutos) y 10.000 m³/h para sabotaje (60 minutos)”.

Es de notar que los dos escenarios rotulados como “no aceptables”, según el informe *DOC_3 UNLZ*, involucran el evento VCL Vapour Cloud Leak -fuga y la posterior ignición y sus efectos- y/o el evento explosiones BLEVE.

Es importante remarcar que los eventos que se originan en instalaciones fijas y durante la navegación suceden en situaciones diferentes, y por lo tanto los mecanismos que determinan la evolución de las fallas accidentales -desde el evento iniciador hasta el desenlace final (evolución del escenario accidental)- son distintos. Lo mismo puede afirmarse respecto a los fenómenos VCE y BLEVE. Luego, si bien ciertos marcos metodológicos para el modelado y el cálculo de riesgo no difieren, es importante definir en cada caso las herramientas de cálculo y los datos utilizados, para la correcta interpretación de los resultados obtenidos.

Conclusiones



Si bien se identifican los escenarios más relevantes, en el caso del informe denotado DOC_3 UNLZ no se presenta explícitamente para cada escenario considerado el desarrollo de árboles de eventos, o los árboles de fallas utilizados, los operadores lógicos que los conforman y sus respectivas frecuencias asignadas a los eventos de falla en cada componente/ acción humana, entre otros considerandos. Esto lleva a una redacción confusa describiendo la dinámica de propagación de los escenarios accidentales, y sumado a la notación utilizada, se induce/ infiere una confusión entre explosiones BLEVE y de otro tipo, por ejemplo.

Luego, dentro de este contexto, las conclusiones a obtener lucen "a priori", como mínimo, no homologables o no reproducibles.

Por otra parte, en los informes denotados como DOC_2 Solano y DOC_1 LL R, se explicitan los árboles de eventos accidentales a evaluar, se asignan las respectivas frecuencias a cada rama indicativa de los posibles eventos accidentales, desde el evento iniciador hasta los eventos finales, por lo cual resultan claramente establecidos los escenarios evaluados, y la posibilidad de reproducir los resultados.

III.2.2 Estimación de Frecuencias de Ocurrencia de los Eventos y su Desarrollo en Escenarios Accidentales. Aspectos Relevantes

A continuación, se reproducen los siguientes párrafos del informe presentado por la UNLZ:

Pág. 1-2 de DOC_3 UNLZ: "El análisis realizado consistió en la identificación de las fuentes de descarga de GNL y/o GN re-gasificado en la Terminal Portuaria de GNL Escobar y los eventos y/o incidentes iniciadores de tal descarga, en particular aquellas que conllevan a los mayores niveles de riesgo asociados con accidentes mayores, incendios y/o explosiones de consecuencias catastróficas (VCE y BLEVEs por sus siglas en inglés). El tipo de explosión (VCE y BLEVE) es de particular atención para sustancias como el GNL, y las instalaciones que operan con ella, por su elevado poder destructivo, capaz de reducir a escombros varios miles de metros cuadrados de superficie alrededor de su epicentro. En el análisis se ha incluido la identificación de riesgos y eventos iniciadores, el análisis histórico de accidentes de instalaciones similares y/o equivalentes a nivel mundial y en la Hidrovía de acceso, sumando como factores externos que afectan a las instalaciones bajo análisis en el emplazamiento actual a las condiciones climáticas y atmosféricas, los eventos climáticos extremos, fenómenos de



anegamientos y sequías en la zona, con bajantes extremas que afectan el calado disponible en la Hidrovía, e incendios forestales de gran magnitud, así como las condiciones de hidronavegabilidad y maniobrabilidad en los canales navegables de acceso a dicha Terminal, el tráfico de buques en la zona, incluyendo el cruce con buques de transporte de sustancias peligrosas (hidrocarburos y/o químicos), y diferentes hipótesis de sabotaje con desvío intencional del buque LNG Carrier hacia el Puerto Buenos Aires, Dock Sud o La Plata. También se ha incluido el análisis de los principales eventos iniciadores y principales daños, la modelización de la secuencia de accidentes, la identificación y evaluación de los principales diagramas de árboles de fallas, la evaluación de datos, parámetros y las frecuencias de ocurrencia de los principales eventos para las instalaciones on-shore y off-shore, incluyendo la navegación en la ruta de acceso/ salida a la Terminal Portuaria de GNL Escobar (Hidrovía y tramo de acercamiento en el canal navegable del Río Paraná de las Palmas), clasificando los riesgos principales, la secuencia de accidentes y la cuantificación de daños mayores resultantes ante distintos escenarios de roturas y/o fallas, en particular las derivadas de VCE y BLEVEs.

En el análisis de consecuencias se aplicaron diversos métodos de cuantificación de riesgos y de daños resultantes, identificando y cuantificando a las personas e instalaciones afectadas ante un escenario de VCE y/o BLEVE, con epicentro en las Instalaciones on-shore y off-shore de la Terminal Portuaria de GNL Escobar (Buque LNG Carrier / FSRU amarrado, con 95.000 m³ de GNL), y con epicentro en un Buque LNG Carrier (con carga de 95.000 m³ de GNL) durante la navegación en la ruta de acceso a las instalaciones de la Terminal Portuaria de GNL Escobar.

Adicionalmente se realizó una verificación de distancias de seguridad y un Análisis de Vulnerabilidad calculado para el entorno de la Terminal Portuaria de GNL Escobar y los Buques LNG Carrier (con 95.000 m³ GNL) en la ruta de navegación a la Terminal Portuaria de GNL Escobar (Hidrovía y tramo de acercamiento). Finalmente, los resultados obtenidos en el cálculo del riesgo fueron analizados considerando el riesgo de pérdidas de vidas para el entorno de la Terminal Portuaria de GNL Escobar así como para la ruta de acceso de los Buques LNG Carrier a la misma (societal risk). Bajo los escenarios y condiciones analizados, se identificaron once áreas o zonas afectadas ante un VCE y/o BLEVE con epicentro en las instalaciones de la Terminal Portuaria de GNL Escobar, con afectaciones de diversa magnitud de acuerdo a las distancias a dicha Terminal.”

Luego, los aspectos referidos a la modelización de la secuencia de accidentes y la evaluación de datos, parámetros y frecuencias de ocurrencia de los principales eventos se resaltan en los siguientes párrafos:

Pág. 19-21 de DOC 3 UNLZ: "Modelización de secuencia de accidentes.

La modelización se ha realizado siguiendo los pasos correspondientes al método de identificación de peligros (HAZID): modelización de secuencia de eventos, modelado del sistema (instalaciones), análisis de los procedimientos manuales y supervisión de sistemas, y los daños posibles a partir de la clasificación de las secuencias de accidentes. El resultado ha permitido identificar y evaluar los 19 principales eventos iniciadores antes mencionados (según tabla 13) y evaluar los riesgos a través de los principales 27 diagramas de árboles de falla de las instalaciones, listados a continuación:

Tabla 15. Principales diagramas de árboles de falla evaluados para las instalaciones on-shore y off-shore (Buque LNG Carrier, buque FSRU y gasoducto)

Evaluación de datos, parámetros y frecuencias de ocurrencia de los principales eventos.

Para cuantificar los modelos anteriormente mencionados se estimaron las frecuencias de ocurrencia según tres categorías principales de parámetros: A- frecuencias de eventos iniciadores, B- frecuencias de fallas de componentes y C- probabilidades de errores humanos. La frecuencia de eventos iniciadores y la frecuencia de falla de componentes se establecen a partir de una combinación de datos históricos, el detalle de los Diagramas Lógicos Maestros, y el análisis técnico de la ingeniería de las instalaciones principales (Buques LNG Carrier, FSRU y gasoducto), de acuerdo a los procedimientos establecidos por ONU- FSA IMO (Formal Safety Assessment, Doc MSC80/7, MSC78/19/3), y las bases de datos de OREDA (Off-shore Reliability Data Handbook, Det Norske Veritas), y las de RIVM99, IPORNM y CPR18E PGS3 (QRA "Purple Book", Quantitative Risk Assessment, The Netherlands).

Los escenarios utilizados consideran los valores estándar de pérdidas y tiempos: para tuberías de procesos con diámetros de 50 a 250 mm, tasas variables de vaciamiento (intermedias) y tiempo máximo de pérdidas de 600 segundos, elementos de bloqueo "fully automated" con tiempo de detección / señal de control y accionamiento de 2 minutos máximo, para elementos de automatización estándar se consideran 10 minutos máximos y para sistemas manuales un máximo de 30 minutos (IPRNM y CPR18E PGS3).



En todos los casos se considera la cantidad promedio de buques al año que operan en la Terminal Portuaria de GNL Escobar y/o en la ruta de acceso / salida a la misma (máximo 60 buques LNG Carrier al año, un buque FSRU y gasoducto permanente), transportando y/o almacenando 95.000 m³ de GNL, con una operación promedio de 100 días al año.

Las probabilidades de los errores humanos son consideradas durante las operaciones, o a partir de intervenciones de supervisión con errores de detección, y en particular aquellas que corresponden a tareas no rutinarias cuyas respuestas de acción no están incluidas en la operatoria normal de las instalaciones, y donde la probabilidad de error depende del tiempo disponible por el operador para dar respuesta en la acción de corrección y/o supervisión, incluyendo los procedimientos de operaciones y medidas estándar de seguridad, niveles estándar de capacitación del personal y contratistas, integridad mecánica y estructural estándar (con certificaciones y auditorías vigentes / nacional - internacional), y planificación estándar de respuestas ante emergencias, de acuerdo a los procedimientos y bases de datos antes mencionadas.

Tabla 16. Frecuencias de ocurrencia de los principales eventos/incidentes para las instalaciones on-shore y off-shore, incluyendo la navegación en la ruta de acceso / salida a la Terminal Portuaria de GNL Escobar (Hidrografía).”

Nota:

El desarrollo de este trabajo, específicamente en la sección III, se centrará en la compatibilidad de los objetivos y alcances, metodologías y disponibilidad/ necesidad de datos expresados en el texto anterior extraído del informe de la UNLZ. A priori, entre otros aspectos críticos, se observa que no existe la explicitación de los datos utilizados con respecto a las salvaguardas de seguridad existentes en el diseño, ni respecto a los datos y modos reales de operación, rutinas, procedimientos, procedimientos ante contingencias y emergencias, entre otros de los mencionados, -a los efectos de evaluar correctamente las frecuencias de ocurrencia de todos y cada uno de los eventos y escenarios accidentales identificados-. Se observa, además, la aplicación de métodos de análisis de riesgos cualitativos y/o semicuantitativos simplificados, por sobre los cuantitativos y rigurosos (según se establece y es habitual en el estado del arte para la toma de decisiones relevantes en los estudios de análisis de riesgos). No se menciona -o no se identifica claramente- la utilización de software y presentación de los



correspondientes resultados y datos utilizados a los efectos de la homologabilidad y reproducción de los resultados obtenidos, entre otros factores de importancia.

Tampoco se identifican, según ya se ha mencionado, el desarrollo de árboles de eventos, o los árboles de fallas utilizados, los operadores lógicos que los conforman y las respectivas frecuencias concretas asignadas a los eventos de falla en cada componente /acción humana, entre otros considerandos para la caracterización de los eventos indicadores, el desarrollo del conjunto de trayectorias falla/evento iniciador/ escenario accidental final, y la evaluación del riesgo asociado a cada uno de los escenarios accidentales considerados.

Por último, y a modo de un ejemplo más de la dificultad para el seguimiento del informe, se extrae el siguiente párrafo del texto citado más arriba: *“La modelización se ha realizado siguiendo los pasos correspondientes al método de identificación de peligros (HAZID)...”* Es importante remarcar, que el método HAZID (Hazard Identification) tiene como principal objetivo identificar eventos/ escenarios de peligros, y no modelar y/o evaluar escenarios accidentales. *En cualquier caso, es un método multidisciplinario, que metodológicamente se basa en una “tormenta de ideas”, debiendo participar especialistas de las distintas áreas (operadores, procesos, seguridad y medio ambiente, instrumentistas, entre otros, con profundo conocimiento del proceso bajo análisis, y en particular en el proceso concreto, objeto de estudio). Resulta evidente que todas estas características difícilmente hayan sido cumplidas, de haberse aplicado tal método de análisis.*

Luego, dentro de este marco, y en función de los considerandos arriba mencionados, las conclusiones a las que se puedan llegar resultan alejadas de la realidad del objeto de estudio específico; y más importante, no homologables o reproducibles. Por otra parte, y a la postre, aquí se mostrará, en función de un análisis exhaustivo, que los resultados obtenidos presentan sobredimensionamientos exagerados en las frecuencias asignadas a los eventos accidentales y, en muchos de ellos, también en las vulnerabilidades del entorno estimadas. Esto conlleva obviamente a sobredimensionar el riesgo evaluado y, por lo tanto, a *invalidar los resultados obtenidos respecto a eventos calificados como “de riesgo no aceptable” en base a dichas magnitudes*. Y, luego, consecuentemente, *cualquier decisión de gerenciamiento del riesgo que se derive a partir de dichas conclusiones.*



En el Anexo I de este informe se presentan someramente las distintas normativas/ procedimientos que son referenciadas en los documentos que conforman el conjunto de referencia aquí analizado, mientras que en el Anexo II, se resumen los conceptos básicos y los distintos criterios e hipótesis habitualmente utilizados según el estado del arte, para la evaluación del riesgo, la estimación de la frecuencia de ocurrencia de los eventos accidentales, la evaluación de las consecuencias, la vulnerabilidad del entorno, los criterios para el gerenciamiento del riesgo (ampliamente difundidos y aceptados), los métodos de análisis cualitativos y cuantitativos, entre otros conceptos/ métodos relevantes.

III.2.3 Estimación de las Consecuencias, Vulnerabilidad del Entorno y Evaluación del Riesgo

III.2.3.1 Algunas Definiciones, Normativas y Estado del Arte

Es sabido que el riesgo es por definición el producto de la frecuencia por la consecuencia, medidas en una métrica homogénea. También, que toda falla/ evento incidental, desde su evento iniciador hasta el desenlace, posee una dinámica que depende de muchos factores, en general estocásticos (meteorología, presencia de personas en los alrededores) y también determinísticos como, por ejemplo, el diseño específico de cada instalación.

Está claro que el diseño incide determinantemente en la magnitud de la frecuencia asociada al desarrollo de la falla accidental hacia las consecuencias más extremas, o catastróficas. En el estado del arte tecnológico, se ha consolidado el enfoque de las capas de protección independientes (IPLs) -independent protection layers-, de tal forma de lograr diseños que, mediante la adición de medidas de protección o capas de protección independientes entre sí, logren reducir tanto la frecuencia de ocurrencia como las consecuencias de tales accidentes (vulnerabilidad del entorno). Todos estos factores que deben ser muy claramente considerados, son función única de cada objeto de estudio, de su diseño. Esto es, si bien los bancos de datos de fallas son válidos al proveer estadísticas generales, y son las que se reflejan en los árboles de eventos, árboles de fallas utilizados en cada estudio; también es relevante considerar los diseños concretos (números de capas de protección independientes, diseño de las funciones integradas de seguridad, entre otros aspectos que resultan específicos para cada instalación analizada (ver Anexo II).



En general, una vez calculado el riesgo, los resultados se presentan en forma gráfica, mediante curvas de iso-riesgo. Además, existen distintos enfoques que cubren objetivos diferentes. Por ejemplo, el Riesgo Individual, el Riesgo Colectivo o Social, entre otros. Por último, dado el crecimiento exponencial de los recursos computacionales y de datos necesarios, existen diversas metodologías de cálculo del riesgo: las cualitativas y las cuantitativas. Ambas son ampliamente utilizadas, aunque el grado de exactitud en cuanto a la estimación obviamente es bastante diferente. Las metodologías cualitativas, exigen menos datos, son más fáciles de utilizar, pero son menos exactas. Dado que en general los proyectos ingenieriles de diseño implican distintas etapas, los métodos cualitativos o semicuantitativos son utilizados en las primeras fases de diseño, desde el laboratorio y los primeros bosquejos/ diagramas del proceso; comenzando a introducir métodos cuantitativos (más rigurosos) a medida que se pasa a escalas banco, planta piloto, y planta industrial final (ver Anexo II). Para la toma de decisiones racionalmente basadas, en el sentido de su poder explicativo, evaluando el riesgo asociado a sistemas complejos, siempre deben utilizarse los métodos cuantitativos rigurosos.

Estimación del Riesgo. Aspectos Relevantes

La empresa YPF S.A. desde el inicio del proyecto de la Terminal Portuaria Escobar ha debido cumplimentar una serie de requisitos, tanto por parte de los distintos estamentos del estado en cuanto organismos competentes de aplicación, o de supervisión, ya sea para los permisos de construcción, habilitación de la operación, y durante la operación en sí misma, así como en cuanto a la navegación, o la operación en las instalaciones de la terminal portuaria. De la misma manera, existen en el conjunto de referencia, documentos producidos en base a lo impuesto por el sistema corporativo de gerenciamiento del riesgo, y otros ajenos a la intervención de la empresa.

A partir del análisis de la documentación que conforma el conjunto de referencia para este trabajo, y según las conclusiones mencionadas en las secciones anteriores, principalmente se identifican dos eventos accidentales asociados a la Terminal Portuaria Escobar y su aprovisionamiento rotulados como “no aceptables”, a saber:

- a) VCE/ BLEVE en la terminal Portuaria de GNL Escobar

- d) Una colisión durante la navegación del buque LNG Carrier en el tramo de acercamiento – Canal de navegación del Río Paraná de las Palmas con posible VCE/ BLEVE.



Según se ha comentado, dentro del conjunto de documentación bajo análisis, en los informes denotados DOC_1 LL R y DOC_2 Solano, se concluye que el riesgo individual y el riesgo social (curvas F-N) contemplando todos los eventos asociados a la terminal portuaria y su operación nunca alcanza el nivel de riesgo “no aceptable”. En ambos casos, se observa que los procedimientos para el análisis son estandarizados, siguen normas específicas y el estado del arte, utilizan software ampliamente reconocido y de referencia mundial, al igual que la identificación clara de los datos utilizados y las hipótesis para su estimación. Lo mismo puede afirmarse para la presentación de los resultados tanto en tablas como mediante curvas producidas por dicho software. Por último, los criterios para rotular el nivel de riesgo obtenido responden a normativas precisas, y simultáneamente, a cálculos perfectamente homologables.

En función de lo descrito en los puntos precedentes, las principales discrepancias no solo se identifican en las conclusiones, sino en lo metodológico, tomando como referencia al estado del arte. En efecto, tanto la estimación de las frecuencias, como la evaluación de las consecuencias, y el riesgo mismo, son muy diferentes. Asimismo, los criterios para la toma de decisiones y la calificación de los niveles de riesgo obtenidos se basan en normativas, criterios, procedimientos muy claros en un caso, y basados en criterios híbridos en el otro.

Nota:

En general, los criterios utilizados para el análisis de riesgo tecnológico se basan en considerar fatalidades (muerte). Al utilizar metodologías de cálculo de riesgo cuantitativas, se detalla muy precisamente, mediante modelos matemáticos, los cálculos realizados. El riesgo asociado a cada escenario accidental es el producto de la frecuencia por la vulnerabilidad. El riesgo total es la sumatoria de los riesgos de cada escenario accidental considerado. Debido a que se emplean modelos que permiten el cálculo de ambos factores, todos los cálculos son perfectamente homologables. En el caso que los escenarios accidentales posean una frecuencia extremadamente baja (“no creíbles o extremadamente poco posibles de suceder”), en ocasiones no son calculados, debido a que por la multiplicación por un número extremadamente bajo, el riesgo asociado a dichos escenarios contribuye marginalmente, despreciablemente, al riesgo total, que es el que importa. En cualquier caso, todos los resultados obtenidos son perfectamente homologables e identificables.

Por otra parte, los métodos cualitativos, dado que son más simples en cuanto a los “modelos matemáticos” empleados, permiten más fácilmente incorporar diversos factores de



vulnerabilidad del entorno, incluyendo dimensiones diversas acerca del ecosistema. La contrapartida, es que la asignación de las frecuencias y las vulnerabilidades del entorno, se deben calcular con precisión, aún en escalas “cualitativas/ semi-cuantitativas”. Dado que, además, para la toma de decisiones debe “explicarse” cada factor utilizado, *la justificación tarde o temprano implica acudir a métodos cuantitativos para estimar consecuencias, y modelos/ métodos de cálculo para justificar frecuencias asignadas.*

Esto implica en definitiva que, de utilizar métodos híbridos sea como sea el juicio de valor acerca de la metodología utilizada para generarlos; la debilidad intrínseca radica en que sus resultados -valoración del riesgo-, son fuertemente dependientes de las frecuencias y las vulnerabilidades asignadas para el cálculo de riesgo asociado a cada escenario analizado. Luego, la toma de decisiones basadas en los mismos, *tarde o temprano implica una justificación racional de ambos factores, para cada escenario accidental evaluado, a costa de carecer de potencia explicativa para la toma de decisiones.*

III.3 Tercera Etapa. Análisis de las Causas que Originan las Divergencias en las Conclusiones por parte de los Informes de la UNLZ y el Anexo Pericial, con los informes (DOC_1 LL R) y (DOC_2 Solano)

A continuación, y en función de lo desarrollado en las secciones o etapas de análisis precedentes, se enfocará en el estudio de las causas que puedan explicar las discrepancias en cuanto a los resultados obtenidos por parte de los informes *denotados como DOC_3 UNLZ y DOC_4 Peritos* con los informes *DOC_1 LL R y DOC_2 Solano*.

A grandes rasgos, se puede resumir los puntos discordantes y relevantes en el valor “no aceptable” que se determina en el informe DOC 3 UNLZ para dos escenarios identificados y evaluados (en cuanto al nivel de riesgos y para la toma de decisiones) por el grupo de trabajo de la UNLZ.

Además, en el informe de la UNLZ se presentan conclusiones identificando eventos o situaciones de potenciales incumplimientos o peligros o riesgos asociados, aplicando diversas metodologías, que se detallarán más adelante en este apartado. No obstante, a priori, puede mencionarse según las conclusiones vertidas en las secciones precedentes, que ninguna de las conclusiones rotulando “riesgo no aceptable” resulta válida o apropiada para la toma de



decisiones según un sistema de gerenciamiento de riesgos racional – en el sentido de poder explicativo a las decisiones adoptadas-, para una planta de la complejidad aquí analizada.

En efecto, dichas conclusiones, o bien surgen de la aplicación de metodologías simplificadas (según el estado del arte en cuanto a estudios de evaluación del riesgo de instalaciones industriales o transporte) o bien debido a que para utilizarlas se necesitan datos que surgen de otras metodologías rigurosas (que exigen software y/o posibilidad de realizar cálculos rigurosos o del conocimiento exacto de la situación operacional y/o de diseño de la terminal portuaria). Esto último, no necesariamente puede cumplirse por parte de todos los actores que han presentado informes respecto a la terminal portuaria. Por último, del conjunto de normas que han sido generalmente mencionadas, resulta importante destacar lo impuesto por las instituciones nacionales con responsabilidad en materia relacionada con el diseño, construcción, operación, de la terminal portuaria objeto de estudio.

A continuación, se detallarán una serie de considerandos que se centran en los cuestionamientos ya bosquejados, acerca de la metodología utilizada y la justificación de los resultados “riesgo no aceptable” reportados en el informe DOC_3 UNLZ. El análisis se enfocará en aspectos formales y/o técnicos, generales y/o también muy específicos, según corresponda. Se tratará en lo posible, de establecer un agrupamiento según tipologías homogéneas.

III.3.1 Aspectos Técnico-formales

III.3.1.1 Acerca de las Metodologías y Procedimientos

En el informe DOC_3 UNLZ se presentaron diversos enfoques para la estimación del riesgo, tanto en lo que refiere la estimación de la vulnerabilidad del entorno como para las frecuencias de ocurrencia, y el cálculo del riesgo en sí mismo. Según se indica en dicho informe, y se comenta en secciones anteriores, se han utilizado cuatro “métodos” distintos para cuantificar el riesgo y los daños en la Terminal Portuaria de GNL Escobar y su entorno, incluyendo la navegación de los buques LNG Carrier en la ruta de acceso/ acercamiento a dicha Terminal (considerando en todos los escenarios una carga de almacenamiento de 95.000 m³ de GNL).



1) "Índice de DOW", 2) "Res N°338 SEN - norma GRI 89/0242 (Gas Research Institute)", 3) "Norma holandesa RSN TNO-1999" y 4) "Método ILO (International Labour Organization)".

Según lo detallado en DOC_3 UNLZ, el "Índice de DOW F&EI" (ver Anexo III) se aplica para identificar, analizar y evaluar los peligros de fuego y/o explosión derivados de una falla o rotura en los tanques y/o tuberías en las propias instalaciones on-shore y off-shore de la Terminal Portuaria de GNL Escobar, así como la gravedad de sus consecuencias, la probabilidad de ocurrencia y el nivel de riesgo en dichas instalaciones.

Cabe mencionarse, en primer lugar, que esta metodología se realiza en general para estimar un nivel de riesgos de las instalaciones industriales, en forma agregada, sin tener en cuenta aspectos relevantes y específicos de cada caso, por lo cual no es un método aconsejable para la toma de decisiones fundamentales en un sistema de gerenciamiento del Riesgo. Además, existen reportes en la bibliografía, que ponen en duda la utilización de este método general, *al caso particular del GNL*, en cuanto al formato operacional de la terminal portuaria que aquí se estudia.

El siguiente es un texto tomado del informe:

Pág. 23-24 de DOC_3 UNLZ: "Primero se ha utilizado el método del Índice de DOW para identificar, analizar y evaluar los peligros de fuego y/o explosión derivados de una falla o rotura en los tanques y/o tuberías en las propias instalaciones on-shore y off-shore de la Terminal Portuaria de GNL Escobar, así como la gravedad de sus consecuencias, la probabilidad de ocurrencia y el nivel de riesgo en dichas instalaciones. El índice de riesgo de fuego y explosión (índice DOW F&EI) depende de los materiales involucrados (GNL), el estado de mantenimiento y confiabilidad de las instalaciones on-shore y off-shore (pérdidas, corrosión, sistemas de frío, sistemas de detección y alarmas, sistemas anti-incendio), presión (atmosférica), temperatura de almacenamiento (-162 °C), cantidades almacenadas (un máximo de 95.000 m³ de GNL) almacenados en un buque LNG Carrier / FSRU (tipo Moss y/o prismático GTT, de hasta 145.000 m³ y 150.000 m³ de capacidad máxima respectivamente), el entrenamiento y las capacidades del personal involucrado en la operación y supervisión de las mismas, y los factores ambientales y externos propios del entorno de la Terminal Portuaria de GNL Escobar y la citada ruta de acceso en la Hidrovía, considerando en todos los casos



condiciones de operación “estándar” para todos los componentes y los estados de mantenimiento en las instalaciones involucradas.

En este caso, para buques LNG Carrier (tipo Moss y/o prismáticos de hasta 145.000 m³ de capacidad) como los utilizados en la Terminal Portuaria de GNL Escobar, el índice de riesgo de fuego y explosión DOW F&EI alcanza un valor máximo de 168 puntos, equivalentes a una criticidad muy alta (supera los 159 puntos) según la escala de dicho índice.

En el caso de un fallo que derive en un fuego y/o explosión, según este índice, el radio considerado como la zona de máximo daño, con “reducción a escombros del 83% de las instalaciones”, es de 127,9 metros, contados a partir del lugar donde se origina la pérdida o fallo en las instalaciones de GNL, aunque el radio se incrementa hasta los 240,6 metros en caso de no utilizar el factor de atenuación del índice (una vez superado un umbral de riesgo el índice considera un valor constante, de no utilizar dicho factor de atenuación el índice DOW F&EI sería de 608,37 puntos).”

Dentro de este contexto, cabe mencionar que la metodología para calcular el Índice Dow es muy concreta, y exige seguir los pasos/etapas de cálculo adecuadamente, con datos específicos y realistas. En el caso de aplicar esta metodología a la terminal portuaria bajo análisis, el resultado difiere sustancialmente respecto del que se concluye en el informe DOC_3 UNLZ.

Conclusiones

El Índice DOW es una metodología no aconsejable para aplicar en este caso, para la toma de decisiones para el gerenciamiento del riesgo, por lo que los resultados obtenidos serían solo una guía general. Además, en caso de utilizarse adecuadamente, el resultado sería “riesgo tolerable” y no el indicado en el reporte DOC_3 UNLZ.

En cuanto a los métodos 2) *Res N°338 SEN – Norma GRI 89/0242 (Gas Research Institute)*, 3) *RSN TNO-1999 (Holanda)* y 4) *método ILO*, se podrían denotar como procedimientos para el cálculo de consecuencias y vulnerabilidad del entorno, o bien criterios específicos para interpretar los resultados respecto de distancias de afectación, niveles de daño, entre otros. No obstante, no son métodos integrales y homologados de análisis de riesgos para ser utilizados en la toma de decisiones.



Por último, según se desprende del informe presentado por la UNLZ, se introduce un enfoque híbrido para el cálculo del riesgo, que utiliza una matriz cualitativa, de la cual se derivan los dos resultados que rotulan “riesgo no aceptable” a dos eventos accidentales a saber: a) VCE/BLEVE en la Terminal Portuaria de GNL Escobar (20 puntos), y d) una Colisión durante la navegación del Buque LNG Carrier en el tramo de acercamiento- Canal de navegación del Río Paraná de las Palmas con posible VCE/BLEVE (15 puntos).

Conclusiones

Los procedimientos y métodos empleados como se verá en los próximos puntos, en general no son adecuados para la toma de decisiones en el contexto aquí analizado. En particular, los métodos basados en la Matriz de Riesgos, son métodos de análisis de riesgo cualitativos/ semi-cuantitativos, los cuales según el estado del arte; corresponden al grupo de métodos preliminares de análisis de riesgos, en el sentido que no toman en cuenta rigurosamente los elementos básicos estructurales del diseño y la operación de los sistemas. En el caso de brindar resultados en la frontera entre valores de riesgo que deben ser discriminados para la toma de decisiones, se impone una validación cuantitativa utilizando métodos más rigurosos.

Por otra parte, de utilizarse las frecuencias sin sobreestimaciones, recurriendo tanto a inferencias empíricas como teóricas adecuadas, para luego emplearlas en la evaluación del riesgo asociado a los eventos accidentales, los resultados que se obtienen para la terminal portuaria y su operación, según la aplicación del método descrito, son distintos a los presentados por el grupo de trabajo de la UNLZ. En efecto, resultan “*riesgo aceptable si ALARP*”, en vez de “riesgo no aceptable” como el obtenido, por ejemplo, mediante la aplicación de la matriz de riesgos (ver en detalle desde III.3.1.2 a III.3.1.6)

En referencia a la denotación y nomenclatura utilizada, es pertinente resaltar que el título del informe *DOC_3 UNLZ: “Análisis de Riesgos de Operación, de la Terminal Portuaria para la regasificación de Gas Licuado de Petróleo GNL – Escobar UTE REPSOL/YPF/ENARSA”*, induce a interpretaciones erróneas al denotar “Análisis de Riesgos de Operación, de la Terminal Portuaria para la regasificación de Gas Licuado de Petróleo “GNL – Escobar”. En realidad, se debe destacar que la Terminal Escobar opera solamente con GNL o Gas Natural Licuado y Gas Natural Regasificado y no con Gas Licuado de Petróleo; siendo



muy conocido que esta última sustancia posee características totalmente diferentes del GNL. Esto es muy relevante ya que muchos de los eventos iniciadores y los escenarios finales que se derivan, las frecuencias de ocurrencia y las consecuencias que se asumen son totalmente diferentes.

Por otra parte, en varias ocasiones a lo largo del informe *DOC_3 UNLZ* se rotulan o denotan escenarios accidentales con la simbología VCE/BLEVE. Esto conlleva a interpretar el símbolo “/” como 1) el operador lógico “y/o” implicando que es válido para los dos indistintamente, en forma simultánea y también para cada uno de los eventos por separado o bien, 2) que es válido para ambas indistintamente en algunos casos particulares, pero no en todos.

Esto es un problema, ya que como recurso formal para facilitar la escritura permite referirse genéricamente a varias situaciones, pero desde el punto de vista técnico genera importantes confusiones. En efecto, tomando en consideración el siguiente párrafo:

Pág. 2 de DOC 3 UNLZ: “En el análisis de consecuencias se aplicaron diversos métodos de cuantificación de riesgos y de daños resultantes, identificando y cuantificando a las personas e instalaciones afectadas ante un escenario de *VCE -Vapor Cloud Explosion- y/o BLEVE*, con epicentro en las Instalaciones on-shore y off-shore de la Terminal Portuaria de GNL Escobar (Buque LNG Carrier / FSRU amarrado, con 95.000 m³ de GNL), y con epicentro en un Buque LNG Carrier (con carga de 95.000 m³ de GNL) durante la navegación en la ruta de acceso a las instalaciones de la Terminal Portuaria de GNL Escobar”.

Hay que notar que, según el informe *DOC_3 UNLZ*, los dos escenarios rotulados como “no aceptables”, (esto es: a) VCE/ BLEVE en la terminal Portuaria de GNL Escobar y d) colisión durante la navegación del buque LNG Carrier en el tramo de acercamiento – Canal de navegación del Río Paraná de las Palmas con posible VCE/ BLEVE) relacionados a la terminal portuaria y su operación se asocian/ involucran a los eventos VCL Vapour Cloud Leak -fuga y la posterior ignición y sus efectos- y/o el evento explosiones BLEVE, valiendo todas las consideraciones arriba realizadas.

Por otra parte, en el mismo documento se afirma:

Pág. 2 de DOC_3 UNLZ: “Así mismo, ante un escenario de VCE y/o BLEVE con epicentro en un Buque LNG Carrier (con carga de 95.000 m³ de GNL) durante la navegación en la ruta



de acceso a las instalaciones de la Terminal Portuaria de GNL Escobar, se identificaron diez áreas o zonas con afectaciones de diversa magnitud de acuerdo a las distancias del buque a dichas zonas, incluyendo las hipótesis de sabotaje (con desvío intencional del Buque hacia el Puerto Buenos Aires, Puerto Dock Sud ó Puerto La Plata.”...

“...En particular, para los escenarios analizados de VCE/BLEVEs los resultados muestran un elevado número de víctimas fatales en la población circundante, por los efectos de la onda expansiva, sumado a los daños producidos por los llamados “proyectiles” (trozos de las instalaciones y equipos que salen despedidos en forma aleatoria por dicha onda expansiva), los efectos de la radiación térmica y los tiempos de exposición a la misma, y cuyo número de víctimas dependerá del escenario y del sitio donde el mismo tenga lugar, ya sea en la propia Terminal Portuaria de GNL Escobar así como en la ruta de acceso de los buques LNG Carrier o en la hipótesis de sabotaje con desvío intencional de los mismos hacia los Puertos Buenos Aires, Dock Sud o La Plata.

Conclusiones

Si bien el recurso simbólico “VCE/BLEVE” permite referirse indistintamente a ambos eventos/ escenarios accidentales; y ello no genera inconvenientes interpretativos para ciertos efectos comunes (tales como estar asociados ambos a posibles explosiones o incendios) *por el contrario*, desde el punto de vista técnico, debe remarcarse que los eventos iniciadores y su frecuencia, la dinámica de la propagación del evento accidental, las posibles consecuencias (por ejemplo la posibilidad de producción de misiles -proyección de fragmentos-, alcance de los efectos, producción o no de “bola de fuego” o “jet fire”, entre otros) resultan completamente diferentes (para definiciones básicas ver Anexo II).

En definitiva, la asociación de fenómenos que son propios de sustancias con propiedades sustancialmente diferentes, o bien eventos accidentales completamente diferentes, no permite seguir claramente los mecanismos de cálculo, la estimación de las consecuencias, la vulnerabilidad del entorno, la estimación del riesgo, para cada evento accidental analizado. Esta situación se extiende, además, al cálculo/estimación de frecuencias y el de consecuencias, como se hace notar a lo largo de las siguientes secciones. Esto implica entonces, a priori, una endeblez importante en los resultados obtenidos, ya que todos los factores mencionados son la



base misma del cálculo riguroso del riesgo y la interpretación de los resultados obtenidos para la toma de decisiones y su homologación.

III.3.1.2 Evento BLEVE. Instalaciones Fijas o Buque en Navegación. Acerca de la Estimación de Frecuencias de tal Evento Involucrando GNL

En la Pág. 2 del informe *DOC_3 UNLZ* se identifica y considera al escenario accidental BLEVE en instalaciones de GNL. No obstante, es aceptado ampliamente en la bibliografía científica y en el estado del arte técnico u operacional de este tipo de plantas y en la práctica del transporte fluvial/marítimo que, si bien la BLEVE es un evento muy bien conocido en la industria del GLP, su correlato con el GNL ha sido generalmente descontado, por considerarlo prácticamente imposible o altamente improbable.

En cuanto a esta aseveración, es importante destacar que existen dos tipos de argumentos: a) los que proceden de datos empíricos y b) los que surgen de análisis teóricos.

a) *Estimación de Frecuencias de Ocurrencia. Análisis Histórico. Evidencia Empírica.*

En cuanto al primer punto (evidencia empírica), existen reportes acerca de frecuencias de accidentes en el transporte de sustancias inflamables de relevancia en la literatura que conforma el estado del arte. Si se toma como referencia a los tres (muy posiblemente mayores) estudios de riesgos en transmarino en el año 2004, realizados por Sandia Laboratory, American Bureau of Shipping, y Det Norske Veritas [3]–[5], es importante remarcar que en ninguno de ellos se identificó a la BLEVE como una amenaza analizando eventos ocurridos y reportados en las actividades industriales relacionadas con instalaciones o buques transportando GNL (análisis considerados en la etapa del diseño, aportados por YPF). Por lo tanto, debería descartarse esta hipótesis por carecer de sustento empírico (o de considerarse, se impone asignarle una frecuencia de ocurrencia muy pequeña, remota, tendiendo a cero).

Por otra parte, y respecto de la búsqueda de evidencia empírica acerca de accidentes históricos relacionados con el caso que nos ocupa, (ver Pág. 5 de *DOC_3 UNLZ*, Informe Análisis Históricos de Accidente) es importante remarcar que una regla del estado del arte es el hecho que la búsqueda se realice siguiendo lo más ajustadamente posible a la instalación bajo estudio. En este caso se presentan en una misma lista de eventos históricos de accidentes que involucran tanto Gas Natural Licuado (GNL o en inglés LNG - Liquefied Natural Gas)



como datos correspondientes a eventos ocurridos en instalaciones de Gas Licuado de Petróleo (GLP o en inglés LPG - Liquefied Petroleum Gas). Técnicamente, desde el punto de vista del riesgo existen notables diferencias entre dichos productos y las instalaciones que los manipulan. Las instalaciones de GNL presentan criterios normativos, de diseño, y de seguridad mucho más exigentes que el GLP, dado su mayor riesgo inherente.

Por lo tanto, la asignación de frecuencias en base a datos empíricos puede ser problemática si no se diferencia un “evento BLEVE en general” de un “evento BLEVE involucrando solamente LNG”. Esto es así, ya que la diferencia involucra órdenes de magnitud menores en este último caso.

Se puede apreciar esta problemática en detalle a continuación, tomando como base la “Tabla 1. Incidentes y accidentes mayores y/o catastróficos en Buques Gaseros GNL – GLP)” (Pág. 6 de DOC_3 UNLZ). De los 41 casos indicados, sólo 19 corresponden a instalaciones de GNL, y de ellas, sólo 1 reporta fatalidades. Dicho buque además no es un buque carguero de GNL, ni de regasificación de GNL, sino un FPSO (Floating, Production, Storage and Offloading - buque de producción de hidrocarburos), completamente diferente. Además, cabe destacar que se indica a tal accidente como una explosión del tipo BLEVE, aunque en el reporte “Investigation Report of the explosion incident occurred on 11/02/2015 in the FPSO Cidade de São Mateus” efectuado por “Superintendence of Operational Safety and the Environment (SSM)” [6], claramente se explica lo ocurrido como una fuga de material condensado en la sala de bombas formando una nube de vapor explosiva. Por tanto, de acuerdo a la definición de BLEVE (falla de un recipiente que contiene líquido a una temperatura muy superior a su temperatura normal de ebullición), queda descartada tal clasificación.

De los 18 casos restantes se enfatiza que dichos eventos no ocasionaron ningún tipo de daño a la salud de las personas. Por otra parte, con respecto a la Tabla 2. “Accidentes mayores y/o catastróficos en Gasoductos de GLP / re-gasificado” (Pág. 8 de DOC_3 UNLZ), cabe mencionar que el gasoducto Escobar - Cardales transporta gas natural que ha sido regasificado, por lo que no se trata de GLP regasificado, como todos los casos presentados en dicha Tabla. Luego, las frecuencias que se podrían deducir de tales datos son incorrectas, adoleciendo del mismo problema (sobrestimación muy grande) que lo mencionado en el caso de la Tabla 1.

Igualmente, con respecto a la “Tabla 3. Accidentes mayores y/o catastróficos en Grandes Plantas GNL – GLP” (Pág. 8 de DOC_3 UNLZ) se observa que, de los 10 casos indicados, sólo 4 corresponden a instalaciones de GNL. Es por otra parte interesante observar, para estos casos reportados, la separación temporal entre los eventos ocurridos, 1979, 1998, 2000 y 2014. Más importante aún es considerar que las normas y las tecnologías constructivas de una planta de GNL, varían con el tiempo, con el fin de establecer mayores condiciones de seguridad.

En el análisis histórico presentado en la sección “Eventos Iniciadores” (DOC_3 UNLZ, Pág. 5), se hace referencia en su mayoría a accidentes de GLP, lo cual no se corresponde estrictamente al objeto de estudio; dado que, como se ha mencionado más arriba, las condiciones de almacenamiento de GLP son muy diferentes a las condiciones de almacenamiento para el GNL.

En general, en cualquier Análisis Cuantitativo de Riesgos, se toma por hipótesis para la simulación, un valor máximo correspondiente a la rotura de una cisterna del buque y se simula la pérdida en función de un orificio determinado. En general se descarta prácticamente por muy baja probabilidad de ocurrencia, el evento iniciador *Rotura Simultánea de la Totalidad de las Cisternas del Buque*. Nuevamente, de considerarse, la frecuencia de ocurrencia a asignar es un número muy bajo, correspondiente a un evento “extremadamente remoto”. En efecto, un evento de esta naturaleza en general involucra el llamado efecto dominó, es decir, un evento primario o inicial al ocurrir dispara una secuencia de eventos que suceden “en cadena”, aumentando los daños ocasionados por el evento inicial. Esto, desde el punto de vista de las frecuencias, implica valores sustancialmente menores, en órdenes de magnitud; dependiendo del número de tanques/unidades involucrados, será la magnitud de la disminución de la frecuencia a asignar al evento accidental.

Con respecto al evento iniciador “Fuertes vientos y/ o movimientos durante la operación de los brazos de carga” (Pág. 19, Tabla 13) debe destacarse que, según información aportada por YPF, para la Terminal GNL Escobar, la autoridad de aplicación Prefectura Naval Argentina autoriza la navegación en función de los límites operativos (climáticos) establecidos en las normativas y disposiciones de seguridad de la Prefectura Naval Argentina. Además, se establecen condiciones de seguridad operativas que, ante tormentas con descargas eléctricas o clima adverso, interrumpen las operaciones de transferencia. Esto se decide en función del

informe meteorológico diario y la toma de decisión la realiza el capitán del LNG Carrier, FSRU o el Jefe de la Terminal.

Por último, con respecto a una potencial inundación en la zona de la terminal, la misma está diseñada para *la mayor plea histórica*, y aún en este evento los sistemas críticos seguirán funcionando ya que se encuentran ubicados en altura. Por lo tanto, la frecuencia de este evento sería de muy baja respecto del evento iniciador "Potencial inundación en la zona de la terminal".

Conclusiones

En cuanto a la estimación de frecuencias de los potenciales eventos accidentales iniciadores, o bien los escenarios catastróficos (BLEVE por ejemplo), basados en la evidencia histórica puede concluirse que existen numerosas sobre-estimaciones en el Análisis Histórico de Accidentes presentado, por lo que se trasladan directamente a la estimación del riesgo final reportado en las conclusiones según la matriz del riesgo utilizada para el análisis de riesgos de las instalaciones de la Terminal GNL Escobar y su operación integral, incluyendo la navegación del buque de aprovisionamiento. Específicamente, en la Tabla 29-Pág. 38 de DOC_3 UNLZ, para los dos eventos A y D, siguiendo la nomenclatura de dicha Figura. Dado lo expuesto, las frecuencias asignadas en dicha matriz debieran como máximo, ubicarse en la segunda fila (denotada según dicha nomenclatura "Extremadamente Remota"). Ello consecuentemente modifica el valor del riesgo asignado, ubicándolo en la zona ALARP.

b) *Estimación de Frecuencias de Ocurrencia. Posibilidad de BLEVE involucrando GNL. Análisis Teórico.*

En cuanto al análisis teórico sobre la probabilidad de ocurrencia del evento BLEVE involucrando GNL, existen dos puntos de vista:

- Venart (2005) [7] menciona que este tipo de evento, a pesar de tener una baja probabilidad puede ocurrir para GNL, basándose en el accidente de un camión cisterna GNL que aconteció en la carretera C-44 cerca de Tivissa, Catalunya, España en 2002. Este evento fue analizado por Planas Cuchi et al. (2004) [8]. Posterior al accidente de tránsito, la cisterna estuvo inmersa en llamas aproximadamente 20 minutos, traduciéndose en un importante incremento de la presión en el interior del recipiente, de acuerdo a cálculos estimativos alcanzó 8 bar. El debilitamiento que sufrió la carcasa

del recipiente debido a la exposición al fuego junto con el incremento de la presión interna dio lugar a la explosión.

Tales acontecimientos incluso no son para nada frecuentes, quedando en evidencia dado que solamente se han reportado dos casos similares [9]. Por otro lado, es importante remarcar que los accidentes reportados y extensivamente estudiados han ocurrido en el ámbito del transporte terrestre. Existen diferencias importantes en el diseño de la cisterna de un camión a la de un buque, que disminuyen en forma consistente la probabilidad de ocurrencia de BLEVE, en este último caso.

- Pitblado (2007) [10] explica que el diseño diferente de los buques de GNL limita extremadamente los efectos de la incidencia de radiación térmica debido a la combinación de barreras físicas que presentan estos tanques. Pero en caso de que ocurra tal incidencia, la presión interna alcanzada no puede elevarse lo suficiente como para ocasionar una BLEVE. En la Tabla 4 se muestra una comparación expuesta en el trabajo citado:

Tabla 4. Comparación de las barreras de protección de los tanques de camiones cisterna y buques en el transporte de GNL [10, p. 531]

Estado	Camión	Buque	
	Cisterna	Recipiente prismático de membrana	Recipiente esférico
Amenaza: incendio externo	Dos tipos de incendios pueden ocasionar BLEVE: pool fire y jet fire	Un solo tipo: pool fire	Un solo tipo: pool fire
1° Barrera	Cubierta aislante: 2 mm de espesor. Material: Al (UE) y Acero (EEUU)	Revestimiento del casco: 20+ mm de espesor. Material: acero	Revestimiento del casco: 20+ mm de espesor. Material: acero
2° Barrera	Aislamiento	Espacio de aire: 2000 mm de espesor (o tal vez agua)	Espacio de aire: 2000 mm de espesor (o tal vez agua)
3° Barrera	Pared de acero: 4-6 mm de espesor	Revestimiento del casco: 15-20 mm de espesor. Material: acero. También cubierta de acero en la parte superior del tanque	Revestimiento del casco: 15-20 mm de espesor. Material: acero. También cubierta de acero en la parte superior del tanque, pero con geometría diferente
4° Barrera	-	Aislante de 0,3 mm de espesor: caja de madera contrachapada llena de esferas de perlita	Espacio de aire debido a la curvatura del tanque: 500 a 5000 mm de espesor

5° Barrera	-	Membrana de acero inoxidable: 1 mm de espesor aproximadamente	Revestimiento: acero >10 mm de espesor
6° Barrera	-	Aislante de 0,23 mm de espesor: caja de madera contrachapada llena de esferas de perlita	Aislamiento
7° Barrera	-	Membrana de acero inoxidable: 1 mm de espesor aproximadamente	Pared de tanque: 30 a 65 mm de espesor. Material: Aluminio.
Presión de operación de la válvula de alivio	8 barg	0,28 a 0,30 barg	0,28 a 0,30 barg

En síntesis, esta segunda visión, está respaldada por dos fundamentos expuestos claramente en varios trabajos [10]–[12]:

1. Las barreras inherentes existentes por diseño del tanque en el transporte marítimo de GNL dificultan enormemente la transferencia de calor.
2. Los tanques de GNL están diseñados para operar a presiones cercanas a la atmosférica.

Entonces ante la pregunta “¿Puede el impacto de fuego (dado el desarrollo del incendio) en el barco conducir a BLEVE?”, vale la siguiente argumentación: *esto sería posible si y solo si se produce un muy significativo y súbito aumento de la presión.*

Luego, dos causas “a priori” relevantes son:

1. Pérdida de refrigeración.
2. Radiación incidente (incendio).

Si bien ambas causales son por normativa y estado del arte contempladas en el diseño, y se establecen suficientes capas de seguridad/ protección ante ambos eventos, la ocurrencia del segundo caso, por lo imprevisible en cuanto a diversidad de intensidad y en sus formas de desarrollo; y la necesidad de contar con recursos y preparación para mitigaciones, es la más relevante para nuestro análisis en este punto. Asumiendo por lo tanto que *el fuego puede superar a todas las barreras estructurales del barco y que la respuesta ante la emergencia no es eficaz (no funcionan o lo hacen muy defectuosamente las medidas de seguridad/mitigación previstas en el diseño)*, se puede afirmar que el evento BLEVE es muy poco probable.



Es de notar que esta situación (exposición a radiación térmica y/u otros eventos de sobrepresión debido a otras causas como por ejemplo, la mencionada falla en el sistema de refrigeración por ejemplo), ha sido considerada (según información aportada por YPF) en el diseño del sistema de alivio -según el Código Internacional de Transportistas de Gas (IGC) [13, Sec. 3.1]. Es sabido que "En caso de un incendio y dada la radiación térmica incidente, el aporte calórico sobre la superficie expuesta del tanque de GNL hará que el líquido comience a hervir localmente, subirá la presión y luego; en un corto período de tiempo, se abrirán (con una probabilidad muy alta) las válvulas de alivio de presión del tanque de GNL, evitando que la presión aumente demasiado (y se genere el evento final BLEVE) -protección que se asume para que la BLEVE ocurra, que no responde, esto es, falla ante demanda-.

Más aún, además de la enumeración de las capas de protección independientes previstas en el diseño, según lo indicado en la documentación conforme a obra citadas en los informes respectivos y provista por YPF, -un resumen de las instalaciones y parte de las funciones instrumentadas de seguridad están enumeradas en la sección introductoria del informe-; aquí debemos agregar las demás capas de protección/ barreras que protegen de la radiación térmica incidente sobre el GNL en el barco.

Por parte, debe contemplarse que la estructura del casco del barco (inherentemente) evita que el fuego lo envuelva 100%, por lo que el pool fire generado solo afectaría parcialmente (a un solo lado del barco). En este contexto, la parte expuesta del tanque de GNL como máximo, abarcaría un porcentaje reducido de su superficie total, afectando una porción reducida del área total del tanque.

Luego, se ha mencionado que el fenómeno/escenario BLEVE, se produce si ocurre una falla instantánea de la carcasa del tanque de almacenamiento de GNL, y sólo si éste se encuentra a una presión muy superior a la atmosférica en el instante previo a que la falla ocurra. Para que ello suceda; deben fallar ante demanda, todas las capas de protección independientes que existen y han sido previstas en el diseño (extremadamente poco probable).

Por otra parte, según la bibliografía relacionada al estado del arte en la materia que nos ocupa ([14], entre otros) se afirma: "El fenómeno BLEVE ocurre típicamente con el gas licuado de petróleo (GLP) presurizado, cuando el recipiente a presión que lo contiene es calentado por un fuego externo a una temperatura lo suficientemente alta como para debilitar el acero del



recipiente". En este punto, es importante destacar que la principal diferencia entre el GLP y el GNL, y la particular infraestructura para almacenarlas, implican distintos comportamientos. A diferencia del gas licuado de petróleo (GLP), el gas natural licuado (GNL) normalmente se almacena a presión atmosférica en lugares bien aislados. La contención es de doble pared con aislamiento entre las paredes. El GNL se almacena a temperaturas bajas o criogénicas. Durante un eventual incendio, la pared exterior del tanque absorbe el impacto de la llama y el aislamiento evita que se evapore el GNL tan rápido como lo permitiría un tanque sin aislamiento. Con la doble pared y aislamiento, no hay impacto directo de la llama en el interior del tanque interno. Sin impacto directo de la llama, se retardará el efecto sobre los vapores fríos de GNL evitando que el tanque interno aumente su temperatura (o retardando un tiempo suficiente este hecho) impidiendo llegar a un punto en el que se supera el límite elástico del material. Por otra parte, la presión máxima alcanzada en el punto de ruptura sería mucho menor en el caso de GNL, respecto del GLP.

Luego, un accidente de tipo BLEVE, aunque experimentado por buques de GLP, no es un accidente creíble como hipótesis para un análisis de riesgos en el caso que nos ocupa. De hacerlo, la frecuencia de ocurrencia asignada debe reflejar que es un evento/escenario accidental extremadamente poco probable para los tanques de almacenamiento de GNL porque el material exterior del tanque, su diseño y el aislamiento protege el recipiente interior, y da tiempo para que tenga lugar una acción de enfriamiento (esto es, que actúen las capas de protección activas y pasivas previstas en el diseño). Esto, sumado a la configuración estructural del buque, y los otros factores mencionados más arriba.

Por último, en un informe técnico de la DNV·GL [15], se afirma un razonamiento similar. Para que ocurra una BLEVE se requieren dos condiciones: a) impacto directo de alta temperatura (fuego) y; b) generar presión dentro de un tanque para llevar el líquido muy por encima de su punto normal de ebullición.

Como ya se ha mencionado en los párrafos anteriores, y para evitar ser reiterativos aquí solo se realiza a modo de síntesis, la exposición de los conceptos fundamentales para el caso que nos ocupa. Se destaca que los tanques de GNL funcionan a temperaturas criogénicas y presión atmosférica y están aislados del ambiente exterior para evitar la vaporización excesiva del producto. Los sistemas de alivio de presión instalados en los tanques de carga están diseñados para el escenario de impacto de fuego sobre el tanque aislado y además son 100%



redundantes (función instrumentada de seguridad). Esto reduce la posibilidad de desarrollar una presión significativa (debido a los sistemas de alivio de presión, contemplando todas las capas activas y pasivas de protección, por lo que es extremadamente poco probable que pueda ocurrir una BLEVE. Entre las capas de protección existentes, en particular en las instalaciones fijas -on y off shore- de la terminal portuaria, una muy importante es el sistema anti-incendio. Para una breve descripción del mismo ver sección I.1.6, y para las funciones instrumentadas de seguridad ver secciones I.1.7 a I.1.10.

Conclusiones

Es importante remarcar que, tanto desde el análisis teórico acerca de la posibilidad de ocurrencia de una BLEVE, como de la evidencia empírica, se puede concluir que la frecuencia de ocurrencia del fenómeno de BLEVE en tanques de GNL operando a presión atmosférica o cercana a la misma, es extremadamente baja; tanto para las instalaciones fijas como para buques de transporte de GNL. Por otra parte, la asignación de frecuencias de ocurrencia de eventos catastróficos y/o la evaluación de las consecuencias y la vulnerabilidad del entorno, sin considerar las características inherentes al fenómeno en sí y, específicamente las salvaguardas contempladas en el diseño (riesgo inherente versus riesgo residual o real); conlleva a sobre-estimar el riesgo cuando se refiere a una instalación en particular -en este caso, la terminal portuaria bajo análisis-. Por último, dado que la Bola de Fuego es un evento asociado a la BLEVE, estas consideraciones son válidas para las conclusiones que se obtienen en el documento DOC_3 UNLZ respecto de ambos escenarios accidentales.

Adicionalmente, si bien en la Tabla 13 de DOC_3 UNLZ se considera al “impacto por fuego” como un evento iniciador, es importante mencionar que en el reporte no se consideran las salvaguardas o elementos para la mitigación disponibles en la Terminal Escobar (tanto pasivas, como por ejemplo distancias, estructuras, factor de visión posibles respecto de los focos de incendio potenciales; como activas -funciones instrumentadas de seguridad-). Algunas de las más importantes se enumeran a continuación (datos provistos por YPF):

- 200 m de distancia desde el FSRU y el cerco de la terminal.
- Entre el alambrado perimetral y la línea de árboles existe una zona cortafuego de 5 m.
- Entre la línea cortafuego y la vegetación existe un canal con presencia de agua constante de 5 m.



- Sistemas de lucha contra incendios en la terminal. Además, cuenta con planes de acción, formación y entrenamiento en conjunto con los bomberos, Prefectura Naval Argentina, Defensa Civil y la Terminal.
- Existen procedimientos o rutinas operativas que tampoco se tienen en cuenta, tales como la posibilidad de los buques de realizar maniobras de desamarre y alejamiento de la Terminal en caso de eventos de fuego externo. En efecto, el buque está en condiciones de zarpar e irse en caso de que el incendio se acerque y constituya una amenaza potencial. Esto se encuentra en conocimiento de PNA, que llegado el caso ordenaría y lideraría la zarpada del buque restringiendo el tránsito de otros buques. La terminal posee un Plan de Contingencias en conjunto con el regasificador y cada metanero para estos casos. El metanero y el regasificador pueden zarpar en 30 minutos desde el inicio de la emergencia.

Por otra parte, se aclara que la referencia realizada en el informe DOC_3 UNLZ respecto a los mapas de la NASA es incorrecta, la correcta es: *Fire Information for Resource Management System (FIRMS)*. Se relativiza por muy baja probabilidad de ocurrencia, el evento iniciador *impacto por fuego externo*, debido al Sistema de Prevención y Protección Contra Incendio que posee la Terminal GNL Escobar.

III.3.1.3 Acerca de los Potenciales Eventos de Sabotaje y sus Frecuencias.

Con respecto a los considerandos vertidos en la Pág. 23 de DOC_3 UNLZ “Escenario de roturas de tanques y/o tuberías por eventos externos - Falla estructural de los tanques por sabotaje”, es importante mencionar, según información aportada por YPF, que la terminal se encuentra certificada por código PBIP (Código Internacional para la Protección de los buques y de las Instalaciones Portuarias adoptado por la Organización Marítima Internacional (OMI, IMO) [16]. Desde que se implementó el código PBIP la Argentina siempre se ha encontrado en Nivel 1, es decir las tareas de inteligencia llevadas a cabo nunca identificaron indicios que prevean un potencial accidente. Dicha certificación es auditada por la Prefectura Naval Argentina de forma constante (Autoridad de aplicación local designada por la OMI), lo que implica la existencia de un plan de seguridad física integral el cual es de carácter secreto.

Debe destacarse también que las hipótesis de sabotaje externo, no se aplican a ninguna refinería, ni polo químico o petroquímico, por tratarse de un país como Argentina, que no está

ubicado en zona de conflicto bélico o piratería de buques. La Argentina no registra reportes de piratería. En este marco se puede consultar la información referida por el ICC-CCS (unidad contra el crimen de la cámara de comercio internacional) el cual aporta un mapa sobre los incidentes de piratería reportados a lo largo del mundo (<https://icc-ccs.org/index.php/piracy-reporting-centre/live-piracy-map>).

Asimismo, en la Pág. 16 de DOC_3 UNLZ se hace referencia a *casos históricos de sabotaje en buques de GNL*. Como se puede observar los incidentes indicados sucedieron en la zona de Nigeria. Para Argentina no se identificaron incidentes en el 2019 (ni en el histórico); es por ello que la hipótesis de sabotaje es poco creíble para su consideración. De hacerlo, debería considerarse con una frecuencia extremadamente baja a todo evento iniciador relacionado con falla estructural de los tanques por sabotaje externo.

En forma similar, en el precitado reporte se identifican como eventos iniciadores “Colisiones en los canales de acceso a la Terminal Portuaria de GNL Escobar” y “Varaduras o encallamiento en los canales de acceso a la Terminal Portuaria de GNL Escobar” (Pág. 21 de DOC_3 UNLZ). Nuevamente, para estos eventos no se hace ninguna mención a las salvaguardas existentes tales como (información provista por YPF):

- La autoridad de aplicación Prefectura Naval Argentina establece disposición de seguridad para las operaciones.
- Área de fondeo en la entrada a zona común disponible en caso de emergencia.
- Remolcadores escolta desde salida de zona común hasta el arribo a la terminal. Maniobras de atraque de acuerdo a la disposición de seguridad de la navegación de la Prefectura Naval Argentina que requiere de 4 remolcadores.
- Prioridad de circulación de los buques.
- Formación y capacitación/ entrenamiento en simuladores (Siport21) de los capitanes y prácticos.
- Los buques de transporte de GNL se someten a una revisión/ inspección (área de vetting de YPF).
- Estudio de simulación de navegación para la ruta del LNGC desde la entrada del canal hasta la terminal incluyendo los giros críticos y falla de remolcadores.



- La zona de maniobra del puerto de la terminal y la zona de giro se encuentran monitoreadas por medio de un programa de control anual batimétrico a fin de asegurar las profundidades necesarias para la operación. Se realizan consecuentemente dragados de mantenimiento en función de la condición de sedimentación de la zona.

Dentro de este contexto, independientemente de los datos históricos de antecedentes internacionales de accidentes de envergadura, aun incluyendo los ocasionados por sabotajes, cabe mencionar que, en nuestro caso específico de estudio, el escenario de colisión del metanero mientras viaja hacia la terminal es prácticamente imposible.

Según información aportada por YPF; hasta el año 2018 existió reserva de canal, es decir que cuando ingresaba por la Hidrovía era el único buque que circulaba. La única posibilidad de colisión sería con el buque/ metanero ya en la terminal, *asumiendo que otro buque que circule lo choque*. Este potencial escenario aún de muy baja probabilidad de ocurrencia fue analizado en el análisis cuantitativo de Riesgos (ACR) presentado en DOC_1 LL R. Posteriormente, según información aportada por YPF, en vista a las conclusiones obtenidas y de los excelentes resultados registrados, y la mayor experiencia adquirida, *la PNA levantó la reserva de canal, aunque decidió proceder según un control de la navegación de los metaneros a través del sistema de "navegación controlada"*.

Este protocolo o procedimiento implica en la práctica que los buques metaneros poseen un permiso especial que se denomina navegación controlada. Esto significa que mientras navegue en dirección de ingreso o salida hacia la terminal ningún otro buque puede pasarlo y cruzarlo (se denomina vuelta encontrada en la jerga naval). Además, posee en todas las operaciones un remolcador que navega a la popa (o sea que lo sigue de cerca) el cual se denomina remolcador de escolta. Su función es justamente la de prestar apoyo para situaciones de contingencias. Esta situación reduce aún más la posibilidad de ocurrencia de colisiones durante la navegación, durante todo el trayecto de ingreso o salida de la terminal.

Por otra parte, según las rutinas establecidas, también se regula la velocidad del metanero y todo el tránsito es monitoreado *on line* por la prefectura naval (similar a un controlador aéreo). Nuevamente, las barreras de protección inducen a considerar la reducción del escenario de colisiones y eventuales maniobras intencionales.



Por último, el escenario que resta analizar es el relacionado durante la estadía del buque en la terminal, amarrado, y potencialmente sea embestido en forma parcial por alguna embarcación de las que habitualmente circulan por el Paraná de las Palmas. En este caso, según información aportada por YPF, debe mencionarse *que existen disposiciones de seguridad de la PNA que determinan que se debe reducir la velocidad de navegación por la zona de la terminal y que se deben mantener en el centro del canal para la navegación*, como también que no se pueden cruzar entre las embarcaciones cuando navegan al lado del metanero. La distancia entre el metanero y el centro del canal también está regulada y “es condición de diseño”. Por otro lado, según información provista por YPF, ninguna de las embarcaciones que navegan en la zona se caracteriza por un porte tal que, a la velocidad regulada por la PNA, de embestir al metanero lo dañaría estructuralmente en forma grave. Además, y dados los factores analizados en el diseño por YPF; por las distancias y direcciones viables de navegación relativas, la posibilidad de una colisión en forma perpendicular sería remota. En caso de colisión en sentido oblicuo, la posibilidad de daño a la zona de tanques es extremadamente baja.

Si se analizan los registros disponibles, según información aportada por YPF, de operaciones de la terminal portuaria, en 453 operaciones y 10 años nunca se ha presentado un escenario de este tipo. Por último, cabe mencionar que la terminal portuaria posee un remolcador a la orden las 24 horas, los 365 días del año; lo cual permite que, ante una emergencia, el remolcador pueda colaborar (mediante las maniobras adecuadas) con cualquier embarcación a mantener el rumbo y no colisionar con el metanero. Luego, la posibilidad de una emergencia de magnitud debido a escenarios accidentales mayores dada la navegación de naves de porte en las inmediaciones de la terminal es muy baja, y más reducida aún, contemplando la existencia del remolcador a la orden.

Dentro de este contexto, es importante ligar estos considerandos con la asignación de frecuencias de ocurrencia a escenarios tales como:

- Colisiones o choques con pérdida de GNL en el trayecto, o durante la operación en terminal.
- Acciones de sabotaje.



Conclusiones

La asignación de frecuencias de ocurrencia de eventos catastróficos y/o la evaluación de las consecuencias y la vulnerabilidad del entorno, sin contemplar específicamente las características particulares del objeto de estudio, lleva a sobreestimar el riesgo cuando se refiere a esta instalación en particular. Los eventos iniciadores relacionados con colisión o sabotaje tienen en general una muy remota probabilidad de ocurrencia, y a lo sumo, en el caso de la terminal portuaria, una colisión “genérica” se corresponde con una muy baja probabilidad de ocurrencia; aunque simultáneamente, en este caso la probabilidad de un accidente de consecuencias muy graves, involucrando embarcaciones de porte significativo, es extremadamente baja.

III.3.1.4 Escenarios de Explosión de Nubes de Vapor. Fugas en Tanques y Conexiones. Frecuencias

Con respecto al “escenario de rotura de tuberías de descarga de GNL e Inyección a gasoducto” (Pág. 23 de DOC_3 UNLZ), es preciso realizar una diferenciación entre el escenario de rotura de las mangueras de carga del FSRU desde el LNG Carrier y un escenario de rotura del brazo de carga desde el FSRU hacia el sistema de inyección a gasoducto. Las frecuencias de los eventos iniciadores son diferentes, asimismo, en el primer escenario se trata de un derrame de GNL y en el segundo una pérdida de contención de gas natural re-gasificado.

Se remarca, además, la necesidad de diferenciar, como se ha expresado más arriba, un escenario de explosión de nube de vapor (VCE) con una BLEVE, por todas las diferencias ya ampliamente detalladas.

Por último, y como se ha mencionado en la mayoría de los puntos anteriores, se deben considerar las salvaguardas para el caso del evento “rotura en el brazo”, a saber (según información aportado por YPF):

- Detección de mezcla y llama en la zona del brazo de carga / patín con acción sobre el proceso.
- Visión en línea en sala de control de la velocidad del flujo en el brazo de carga y alarmas asociadas.



- Evacuación del gas a zona segura e inyección de nitrógeno para su correspondiente inertizado permitiendo la desconexión automática del brazo de carga.

Para el caso de la rotura de las mangueras de carga desde el LNG Carrier al FSRU:

- Sistema de cortina de agua permanente en zonas de movimiento de GNL con el fin de evitar el impacto térmico en caso de derrame.
- Sistema de válvulas especiales en los extremos de los conductos que se activan en caso de detección de mezcla/llama/pérdida en los buques.

El FSRU y LNG Carrier se encuentran conectados por el sistema *Ship to Shore Link*, que en virtud de cada escenario permite que tanto el FSRU, LNG Carrier y la Terminal tomen acciones de seguridad coordinadas. Adicionalmente, todas las situaciones potenciales de emergencia se contemplan en el plan de emergencias de la terminal donde se establecen los roles y las acciones de todo el personal de la terminal.

Cabe destacar, según lo informado por YPF, que las salvaguardas antes mencionadas se encuentran verificadas en la auditoría del Anexo IV (Régimen regulatorio de la industria y comercialización de gas licuado de petróleo - Resolución 338/2012 - Condiciones para la localización de la terminal portuaria destinada a operaciones de gas natural licuado y requerimientos de protección ambiental - Secretaría de Energía).

Conclusiones

Debieran diferenciarse, debido a que induce a confusiones, las hipótesis/ eventos que involucran GNL en el FSRU, con las hipótesis/eventos asociados al Gas Natural (en la inyección a gasoducto). En este último caso, sólo puede existir una nube de gas explosivo, que puede originar una deflagración (con un nivel bajísimo de sobrepresión, al aire libre) y no una BLEVE como se indicaría en el reporte del grupo de trabajo de la UNLZ.

En forma integral, respecto a la problemática de la sobreestimación de las frecuencias y las consecuencias/vulnerabilidad del entorno, entre otros aspectos cruciales que explican el sobredimensionamiento de los resultados obtenidos, se desarrollan los siguientes aspectos:

En la Pág. 22 del informe de la UNLZ (DOC_3 UNLZ) se incluyen las frecuencias de ocurrencia de distintos eventos que desencadenarían una fuga de GNL (Tabla 17). Se incluyen roturas de tanques y tuberías en las instalaciones on-shore y off-shore, entre otras. La

presentación de los resultados de la forma en que se realiza no exhibe cierta información clave para definir la probabilidad de ocurrencia de una explosión de vapor, que se reitera, es un evento completamente diferente e independiente de una BLEVE, tanto en sus consecuencias como en los mecanismos que desencadenan ambos eventos. Esta aclaración es necesaria, ya que asumir a ambos eventos “como uno único e indistinguible en relación a su probabilidad de ocurrencia, o bien sus consecuencias” no sólo constituye un problema para la interpretación de los resultados, o bien un error conceptual, sino que invalida todas las instancias posteriores en las cuales se pretende realizar una estimación del riesgo de las instalaciones o las operaciones, con dichos datos. Por ejemplo, para el cálculo (cualitativo) del riesgo trae aparejada una superposición de frecuencias y consecuencias de dos eventos completamente diferentes. Para el caso de un análisis cuantitativo, suma riesgos de naturaleza diferentes y en su mayoría inexistentes, entre otras problemáticas.

Además de lo mencionado, e independientemente de tal potencial confusión, es necesario aclarar que la evaluación de la frecuencia de un evento accidental se debe realizar, siguiendo el estado del arte, brevemente comentado en el Anexo II; planteando árboles de eventos y considerando la dinámica característica de los distintos escenarios accidentales y las probabilidades condicionales asociadas a cada rama del árbol de eventos, según ya se ha mencionado reiteradamente en secciones anteriores. Del análisis de la Tabla 17 antes mencionada, se observa que la probabilidad condicional asociada a todos y cada uno de los eventos no ha sido mostrada, ni considerada. Dentro de este contexto, se remarca que la ocurrencia de una fuga de GNL no implica (con probabilidad unitaria) la ocurrencia de una VCE, sino que se debe evaluar -a la probabilidad de ocurrencia de una VCE dada una fuga de GNL- realizando el producto de todas las probabilidades condicionales de los eventos asociados a la propagación de todos los escenarios accidentales posibles (dinámica de propagación), de tal forma de calcular la probabilidad de ocurrencia de cada escenario accidental involucrando, siendo en particular aquí, el análisis una VCE.

Es necesario resaltar esta cuestión concreta para el cálculo, ya que es crucial para el entendimiento del concepto de riesgo (ver Anexo II en forma ejemplificativa integral), y para reproducir los resultados obtenidos, para cualquier analista que pretenda realizarlo. Debe notarse que en los estudios de riesgos realizados por DOC_1 LL R y DOC_2 Solano, *se presentan los datos de frecuencias de los eventos accidentales adoptadas, los árboles de*



eventos utilizados, los modelos y herramientas computacionales utilizadas, las hipótesis y eventos asumidos, y los resultados en forma de curvas de iso-riesgo individual y curvas de riesgo social F-N.

Dentro de este contexto, es importante considerar los datos reportados en la Tabla 5, en la que se observan las frecuencias utilizadas en el trabajo desarrollado por Vianello y Maschio (2014) [17]; publicado en una revista internacional relacionada con la temática objeto de análisis. Resulta importante dada la semejanza de la problemática analizada, y para ejemplificar el punto aquí considerado. Los autores adoptan la frecuencia de derrame de la base de datos sugeridos en norma API 581 (2008) [18]. Luego, a partir de árboles de eventos estiman la probabilidad de ocurrencia de una explosión de nube de vapor como así también de los restantes eventos accidentales (pool fire, jet fire, flash fire). Luego de finalizado el árbol de eventos, realizan simulaciones en el software PHAST para evaluar las consecuencias de los distintos eventos accidentales (software utilizado también en el análisis de riesgos presentado por DOC_1 LL R y DOC_2 Solano). Finalmente, a partir de los resultados obtenidos Vianello y Maschio (2014) presentan la siguiente Tabla.

Si se observa en las filas correspondientes a explosiones, las frecuencias de fugas en las tuberías (del FSRU analizado en el trabajo citado) son del orden de 10^{-6} - 10^{-5} , las cuales dependen de las características de la instalación (diámetro de la cañería). La probabilidad de ignición dada una fuga será función del caudal fugado y de las características del entorno, las cuales oscilan -en dicha tabla- entre 10^{-3} y 10^{-5} . Si bien las características de la unidad regasificadora en cuestión no es exactamente igual a la que analizamos en este trabajo, presenta ciertas similitudes que permiten desarrollar el análisis siguiente:

Las frecuencias de fuga son semejantes a las incluidas en la Tabla 17 del informe de la UNLZ (del orden de 10^{-7} 1/año·metro - al considerar la longitud de la cañería, se estima 10^{-5} 1/año-), que a su vez también se encuentran en el mismo orden de magnitud que las utilizadas en los informes DOC_2 Solano y DOC_1 LL R, del orden de 10^{-7} 1/año·metro.

La diferencia que se presenta en cuanto a la frecuencia de ocurrencia de una VCE surge de la no consideración de los árboles de eventos por parte del informe de la UNLZ. En efecto, la frecuencia de la fuga debe afectarse por la probabilidad de ignición dada la fuga que involucre masa explosiva significativa, para así estimar la frecuencia de ocurrencia de la VCE

de efectos mayores sobre el entorno circundante. En el trabajo de Vianello y Maschio citado, se estiman para este escenario accidental probabilidades del orden de 10^{-9} , esto es varios órdenes de magnitud menores a los incluidos al final de la tabla 17 en el informe de la UNLZ (10^{-5}).

Tabla 5. Probabilidad y niveles de impacto ante distintos eventos [17, p. 281]

Scenarios	Release Frequency [event/y]	Scenario	Probability	Cons. level	P. of deth	Frequency [event/year]	Damage Distance [m]
1.Delivery arm	1.51E-05	Pool Fire	0.3	12.5 kW/m ²	0.065	2.94E-07	41
2.Transfer pipe to the tanks	2.25E-05	Jet fire	0.3	12.5 kW/m ²	0.065	4.39E-07	105
		Flash fire	0.0027	LFL	1	6.08E-08	107
		Explosion	0.000091	0,6 bar	1	2.05E-09	28
3.LNG Storage	4.00E-05	Flash fire	0.0001	LFL	1	4E-09	9
4.Vapor return line to LNG ship	2.25E-05	Jet fire	0.07	12.5 kW/m ²	0.065	1.02E-07	43
		Flash fire	0.000093	LFL	1	2.09E-09	176
5.Gas return line from BOG compressor	3.01E-05	Jet fire	0.07	12.5 kW/m ²	0.065	1.37E-07	11
		Flash fire	0,000093	LFL	1	2.80E-09	7
6.Line at low pressure between the tanks and high pressure pumps.	3.77E-05	Jet fire	0.07	12.5 kW/m ²	0.065	1.71E-07	40
		Flash fire	0.00086	LFL	1	3.24E-08	47
7.Line at high pressur to vaporizer.	3.77E-05	Jet fire	0.07	12.5 kW/m ²	0.065	1.71E-07	63
		Flash fire	0.0012	LFL	1	4.52E-08	46
8.Downstream gas export line of vaporizers	9.80E-06	Jet fire	0.3	12.5 kW/m ²	0.065	1.91E-07	75
		Flash fire	0.00091	LFL	1	8.91E-09	41
9.Riser	1.97E-06	Jet fire	0.3	12.5 kW/m ²	0.065	3.83E-08	216
		Flash fire	0.0091	LFL	1	1.79E-08	34
		Explosion	0.00273	0,6 bar	1	5.37E-09	49

Además de obviar el desarrollo y presentación del árbol de eventos, en el informe del grupo de trabajo de la UNLZ se sobredimensionan enormemente las consecuencias, al considerar como escenario para cuantificarlas, que toda la masa del buque está involucrada en el evento accidental. En primer lugar, este escenario es físicamente imposible porque no es factible la evaporación súbita de todo el contenido de GNL y la formación de una nube con concentración intermedia entre el LEL (límite inferior de explosión) y el UEL (límite superior de explosión) en tal sentido. En el trabajo informado por el grupo de trabajo de la UNLZ se manifiesta cierta omisión, o cierto desconocimiento del mecanismo para la formación de la



nube y la posterior ignición (de allí la importancia de la ausencia de los árboles de eventos respectivos).

Por ejemplo, consideremos el siguiente escenario (que obviamente tendrá una probabilidad prácticamente nula): se producen simultáneamente rupturas catastróficas en todas las esferas del buque. Luego de esta ruptura, el GNL atravesaría un proceso de evaporación y difusión de la nube. La dinámica del proceso de evaporación está relacionada con la obtención de la cantidad de energía necesaria para evaporar la totalidad del GNL y a la dinámica de la evaporación. Al principio, dado el gran gradiente de temperatura existente, la transmisión de calor es relativamente más rápida, pero a medida que se alcanza el equilibrio, la velocidad de evaporación se reduce. Esto depende de las características del medio en donde ocurre la fuga para definir adecuadamente la velocidad de difusión. Todo este fenómeno tiene una dinámica asociada, y no es instantánea. En este proceso de evaporación del GNL, la nube formada se va dispersando en la atmósfera, dependiendo de la velocidad y dirección del viento en ese momento, la humedad reinante, la temperatura; por lo que a medida que transcurre el tiempo, de no producirse la ignición, parte del GNL difundiría alcanzando concentraciones inferiores al LEL. De producirse inmediatamente la ignición, sólo la parte vaporizada generará una VCE mientras que la parte no vaporizada se incendiará formando eventos de incendio de tipo pool fire. Si la ignición es instantánea, es posible la ocurrencia de un chorro o dardo de fuego (jet fire dependiendo de diversas circunstancias). En todos estos casos, con consecuencias sustancialmente diferentes y sustancialmente menores a la explosión de toda la masa involucrada en la fuga (sea esta parcial o el total del inventario almacenado). Se entiende entonces que el escenario evaluado en el informe de la UNLZ debe asociarse a una frecuencia de ocurrencia adecuada, diferente a la empleada (debe ser sustancialmente más baja, de órdenes de magnitud menores a la empleada en los cálculos reportados).

Por otra parte, y dado que con respecto al GNL durante la navegación también se ha evaluado la probabilidad de ocurrencia de una colisión externa, asociado esto principalmente a un encallamiento; es imperioso nuevamente considerar la probabilidad condicional respecto a que se produzca una fuga dado el incidente y finalmente la probabilidad de que se produzca la VCE dado el derrame.

En el trabajo desarrollado por *Li y Tang (2019)* [19], (tomándolo como un caso comparativo acerca de la tarea de estimar frecuencias de ocurrencia), se estima, entre otros



eventos, la probabilidad de encallado de un buque metanero y dado esto, la probabilidad que se produzca un derrame. Para tal fin, en [19] se toma en consideración el período de 1990 a 1999 con aproximadamente 1800 viajes por año y se clasifican los accidentes según el tamaño del daño expresado como ancho del daño dividido la “manga” del barco. La profundidad de la penetración del daño puede provocar que solo el casco exterior se dañe o que tanto los cascos externos e internos se dañen.

Basada en información histórica, debe establecerse la probabilidad condicional que el daño sea sólo externo. En el caso citado, se asume de 0.88 y que se afecte la capa interior de 0.12. En la Tabla 6 los autores indican la probabilidad condicional que el encallamiento produzca daños superficiales o bien que el mismo tenga efectos más severos en la estructura del buque. De acuerdo a los autores, sólo puede ocurrir una “fuga de GNL” dado un encallamiento en los estados D11 a D20 (el caso en que se dañen los cascos dobles), lo que conducirá a daño criogénico de las estructuras del casco. Dentro de este contexto, es importante el entorno de navegación, por ejemplo las características del canal en el trayecto de acceso a la terminal portuaria, siendo muy poco factible la fuga dado un encallamiento. A pesar de esto, si el fondo fuera desfavorable, por ejemplo rocoso, la probabilidad que ocurra una fuga resultaría según los datos históricos recopilados y procesados, citados en el trabajo de referencia, del orden de 10^{-5} . Por lo que, si se considera la probabilidad condicional de ocurrencia de una VCE dada una fuga, que resulta del orden de 10^{-3} - 10^{-5} (mismo orden de magnitud que la reportada en [17]); luego la probabilidad condicional de ocurrencia de una VCE debido a un encallamiento en un escenario completamente conservador sería del orden de 10^{-8} - 10^{-9} .

Tabla 6. Probabilidad de que se produzcan daños superficiales o más severos [19, p. 171]

CPT of the “bottom damage” event.

		Penetration Depth			
		Only outer shell damaged		Double Shells damaged	
		State	Conditional probability	State	Conditional probability
Width	0.1B	D ₁ : sandy bottoms grounding	0.2992	D ₁₁ : sharp rocks grounding	0.0408
	0.2B	D ₂ : sandy bottoms grounding	0.2728	D ₁₂ : sharp rocks grounding	0.0372
	0.3B	D ₃ : sandy bottoms grounding	0.0880	D ₁₃ : rounded rocks grounding	0.0120
	0.4B	D ₄ : sandy bottoms grounding	0.0616	D ₁₄ : rounded rocks grounding	0.0084
	0.5B	D ₅ : sandy bottoms grounding	0.0616	D ₁₅ : rounded rocks grounding	0.0084
	0.6B	D ₆ : sandy bottoms grounding	0.0088	D ₁₆ : rounded rocks grounding	0.0012
	0.7B	D ₇ : sandy bottoms grounding	0.0352	D ₁₇ : rounded rocks grounding	0.0048
	0.8B	D ₈ : sandy bottoms grounding	0.0088	D ₁₈ : rounded rocks grounding	0.0012
	0.9B	D ₉ : sandy bottoms grounding	0.0088	D ₁₉ : rounded rocks grounding	0.0012
	1.0B	D ₁₀ : sandy bottoms grounding	0.0352	D ₂₀ : rounded rocks grounding	0.0048



Dentro de este contexto, en la Tabla 7 se incluyen las frecuencias de fuga ante colisiones utilizadas en los informes *DOC_2 Solano* y *DOC_1 LL R en un escenario específico de fuga, en el marco del análisis de riesgos de la terminal portuaria.*

Tabla 7. Frecuencias de fuga ante colisiones utilizadas en los informes *DOC_2 Solano* y *DOC_1 LL R*

Año	Informe	Buque	Probabilidad	
2020	<i>(DOC_2 Solano)</i>	FSRU	$1.50 \cdot 10^{-07}$	Pérdida continua $90 \text{ m}^3 \cdot t = 1800 \text{ seg}$
2015	<i>(DOC_1 LL R)</i>	FSRU	$1.84 \cdot 10^{-07}$	Pérdida continua $90 \text{ m}^3 \cdot t = 1800 \text{ seg}$

Conclusiones

A partir del análisis de las frecuencias utilizadas para evaluar el evento de explosión de nube de vapor, y la magnitud involucrando la totalidad del inventario, se concluye que el evento analizado en el informe de la UNLZ carece de sentido físico o realista. Por otro lado, en cualquier caso de fuga, la probabilidad asociada debería ser de órdenes de magnitud menores a las efectivamente empleadas para el cálculo del riesgo. Incluso si se estuviera haciendo referencia a una VCE de menor magnitud, si se tomaran en cuenta los mecanismos de fuga y difusión de la nube (árboles de eventos), disminuirían rotundamente las consecuencias y/o las probabilidades utilizadas en el estudio de riesgos por parte del grupo de trabajo de la UNLZ.

Si bien esta conclusión se aplica a todos los eventos iniciadores/escenarios analizados, a modo de ejemplo se cita la “Tabla 30. Criterios de aceptación de riesgo (Directiva Europea SEVESO III) para la Terminal Portuaria de GNL Escobar y la ruta de navegación del Buque LNG Carrier (Hidrovia y tramo de acercamiento de 25 km)”. Se remarca que en la misma se adoptan frecuencias sobredimensionadas, y vulnerabilidades del entorno igualmente sobredimensionadas. Más aún, el valor de riesgo que surge en función de las dos magnitudes reportadas (frecuencias y vulnerabilidades), no pueden reproducirse adecuadamente. En definitiva, los valores de riesgo estimados resultan inadecuados y no homologables en cuanto a su reproducibilidad en función de los datos allí referenciados.

III.3.1.5 Análisis de Consecuencias, Vulnerabilidad en el Interior de la Planta Industrial y del Entorno

En la página Pág. 28 de *DOC_3 UNLZ* se hace referencia a “Personas e instalaciones afectadas ante un escenario de VCE / BLEVE”, y en la Tabla 20, se establecen “Alcances de



Consecuencias de eventos BLEVE y/o VCE”, sin indicar explícitamente la realización de simulaciones mediante software ya sea comercial o a medida. Como se indica en el Anexo II, para las evaluaciones cuantitativas del riesgo rigurosas, deben utilizarse modelos y herramientas específicas, validadas por el estado del arte o referenciadas por instituciones de prestigio. Además, son imprescindibles una gran cantidad de datos (que no se indican, o se lo hace en forma genérica y sin especificar caso por caso), por ejemplo:

- Presiones de proceso.
- Temperatura del fluido.
- Diámetros de cañerías y su relación con los diámetros de roturas asumidos.
- Masa que forma la nube explosiva.
- Velocidad de los vientos y frecuencia de la dirección de los mismos.
- Tiempos de pérdida, medios de bloqueo y/o mitigación de los mismos.
- Hipótesis del peor caso asumida en todas las variables utilizadas.
- Árboles de eventos que a partir de los eventos iniciadores indiquen todas las posibilidades de propagación (escenarios de desarrollo de la falla), con sus frecuencias asociadas.
- Consideración de las salvaguardas a los efectos de evaluar consecuencias, y frecuencias.

En efecto, ya se ha expuesto más arriba que una pérdida de GNL podría originar una nube explosiva debido a su evaporación, se encuentre sobre el curso de agua o tierra. Dicha nube, al extenderse al aire libre, podría generar una deflagración con poco nivel de sobrepresión (no existe prácticamente confinamiento), y continuar luego con un incendio en los alrededores del punto de pérdida. No se observa en el informe ni la presentación de los correspondientes árboles de eventos para el cálculo de las frecuencias, ni la ejecución de software validado, ni curvas o gráficos así obtenidos que muestren los impactos para las distintas hipótesis de fugas, que puedan sustentar las distancias establecidas en las Tablas 20, 30, u otras. No obstante, puede observarse a partir de la búsqueda bibliográfica realizada en este trabajo, y de las publicaciones citadas en el documento *DOC_3 UNLZ, que existen reportadas en la literatura simulaciones para plantas o sistemas semejantes al aquí estudiado. Si bien tales datos podrían*

ser utilizados como referencia, no pueden bajo ningún punto de vista sustentar criterios de decisiones en un sistema de gerenciamiento del riesgo. En otras palabras, los cálculos y todas las hipótesis deben ser enumerados, realizados y reportados para su correspondiente homologabilidad.

Por último, y dado que en la sección anterior se ha analizado intensivamente el escenario VCE desde el punto de vista de la frecuencia de ocurrencia, en particular involucrando accidentes mayores, nos enfocaremos aquí en el cálculo de las consecuencias y de la vulnerabilidad del entorno. Atkinson et al., (2017) [20] realizaron un relevamiento histórico de las VCE ocurridas entre 1974 y 2013 que se reportan en la lista de Marsch [21] de entre los 100 mayores accidentes en la industria de hidrocarburos. En su trabajo determinan que el 70 % de las mayores VCE presentaron fugas menores a 100 kg/seg.

Esta referencia es necesaria, puesto que en el informe de la UNLZ se utiliza dicho dato, aunque no fue posible identificar en el informe correspondiente la base en la cual se fundamenta tal porcentaje. Del mismo modo, se asegura que una nube “característica” ocupa un terreno de 40-50 ha, lo cual no tiene a priori (mencionado fuera de contexto), ningún sentido práctico/concreto. En particular, resulta importante resaltar que las mencionadas dimensiones se corresponden con un promedio de las dimensiones de las nubes incluidas y consideradas en [20]. Además, es importante aclarar que éstas se corresponden con las mayores nubes ocurridas en la historia de la industria de hidrocarburos.

Dado que en el trabajo realizado por el grupo de la UNLZ se utilizan los datos en función de lo desarrollado por Atkinson et al. (2017) para realizar el análisis de consecuencias (aunque no se ha podido identificar la cita en el trabajo/informe de la UNLZ). Resulta importante mencionar que -a juzgar por los valores reportados-, no se tienen en cuenta/ no se aclaran/ no se consideran las características de las instalaciones que realmente se evalúan (terminal portuaria Escobar). No se aclaran ni las probabilidades de ocurrencia de las etapas intermedias en la propagación hacia eventos accidentales mayores (árboles de eventos extensamente comentados en la sección anterior), ni las metodologías empleadas.

Además, es necesario aclarar que en el trabajo de Atkinson se analizan nubes de vapor de hidrocarburos en general (GLP, nafta, GNL, etc.), siendo necesario resaltar la diferencia fundamental de las nubes de vapor de GNL dado que se conoce que los vapores de GNL son



muy fríos (dadas las condiciones de almacenamiento) por lo que la nube se llena de niebla condensada, creando muy malas condiciones para la combustión [22]. Hecho que diferencia las nubes de GNL del resto.

Los siguientes párrafos, reproducidos a continuación (Pág. 25-26 de DOC_3 UNLZ), muestran en forma clara la “carencia del uso de un factor explícito de adecuación al caso real que se analiza” en cuanto al reporte de las conclusiones, el sobredimensionamiento de las frecuencias y de las consecuencias, y el reporte confuso de distintos escenarios accidentales (por ejemplo, un pool fire se produce frente a un derrame líquido y es un evento completamente diferente de la formación de una nube de vapor). En definitiva, se remarcan nuevamente las consecuencias derivadas de la ausencia del desarrollo de árboles de eventos y la asignación de frecuencias realistas para homologar las afirmaciones realizadas, entre otros considerandos ya extensivamente remarcados a lo largo de este informe.

Pág. 25-26 de DOC_3 UNLZ: “En el caso de una colisión en la ruta de acceso en la Hidrovía, con los distintos escenarios ambientales antes mencionados, y con escenarios de tamaños y ubicación de las fisuras/roturas en los tanques, sobre y debajo de la línea de flotación del buque LNG Carrier (incluyendo el escenario de ingreso de agua en este último caso), con agujeros de 250 mm de diámetro, con condiciones ambientales tipo F2 (Pasquill-Gifford), con escenarios de tiempos de 10 minutos máximos hasta la detención de la pérdida, se producirá una dispersión máxima de la nube de gas VCL de 440 metros de diámetro para un “pool fire” desde el borde del lugar de pérdida, y de 920 metros para un “flash fire”, respectivamente; mientras que para un escenario de sabotaje con agujeros de 1.500 mm de diámetro, con escenarios de 60 minutos máximos hasta la detención de la pérdida y/o vaciamiento de la carga, la dispersión de la nube de gas VCL alcanzaría un máximo de 720 metros de diámetro para un “pool fire” desde el borde del lugar de pérdida, y superaría los 1.500 metros para un “flash fire”, respectivamente.”...

...“Se evaluó como escenario un VCE (Vapour Cloud Explosion) para un buque LNG Carrier /FSRU (tipo MOSS y/o prismático de membrana), con una carga de 95.000 m³ de GNL y similares condiciones ambientales a las anteriormente descritas, obteniendo como resultado para el límite inferior de explosividad (mezclas GNL-aire): un radio de máximo daño y letalidad probit 50% superior a los 200 metros, radios de 400 metros a 1.000 metros para daños



intermedios y heridos probit 50% por lesiones de diversa gravedad, y radios de hasta 2.800 metros para daños menores y/o heridos leves probit 1%, debiendo considerar estas distancias sumadas desde los bordes de las zonas de “pool y/o flash fire” anteriormente calculadas (zonas ocupadas por la nube de vapor de gas que comienza a arder al entrar en contacto con una fuente de ignición”).

A la luz de tales afirmaciones, es importante adicionar, a los considerandos realizados en el párrafo anterior que pareciera que los datos de distancias de impacto son extraídos (o son concordantes con) del trabajo de Pitblado et al., (2004) [22], quien afirma que las distancias de 440 metros y 920 metros se manifiestan para escenarios de pool fire y flash fire mediante la simulación de agujeros de 750 mm. En el informe del grupo de la UNLZ se establece que dichas distancias se corresponden con agujeros de 250 mm (Véanse Tablas 3, 4 y 5 de [22]). Esto obviamente es un nuevo factor adicional que modifica las frecuencias asociadas, ya que las mismas son función del tamaño de agujero, y por lo tanto se invalida cualquier conclusión acerca de los peligros o riesgos estimados en dicho informe en tal parte del análisis, y en todas aquellas otras donde estos datos son utilizados.

Por último, también es necesario mencionar que en el trabajo de Pitblado et al., los autores mencionan que estos escenarios son sólo creíbles en las siguientes situaciones:

- Colisión a 90 ° con otro buque (muy poco probable en este caso dada la prohibición de circulación simultánea por el canal, según lo informado en los documentos de YPF), encallamiento en suelos rocosos circulando a más de 22 km/h (muy poco probable dadas las características del canal y los controles establecidos y supervisados/ realizados por la PNA, según lo informado por YPF y se ha comentado detalladamente en este informe).
- Por un fallo del sistema de seguridad del brazo de carga en el embarcadero provocando una descarga de 7-10.000 m³/h durante 10 minutos. Nuevamente, de considerarse este escenario, la probabilidad asociada es extremadamente baja, muy poco probable, debiéndose realizar un árbol de eventos que desarrolle la dinámica de la falla y considere todas las salvaguardas/ protecciones contempladas en el diseño y la operación del sistema.



Conclusiones

En función de lo expuesto en los puntos anteriores, respecto a la sobreestimación de las frecuencias, las consecuencias y la vulnerabilidad del entorno, la superposición de eventos VCE/BLEVE, la generalización de las distancias de impacto y carencia de un conjunto de datos realistas y coherentes; es posible afirmar que los datos contenidos en las Tablas 20 a 22 y Figuras 20, 23 y 24, y las otras que luego se relacionan, tales como la Tabla 30, carecen de sustento firme, y no son válidas para la toma de decisiones en el contexto de un Sistema de Gerenciamiento del Riesgo, basado en el marco del “estado del arte técnico y científico”.

En efecto, entre otras consideraciones, bajo cualquier punto de vista, las frecuencias están muy sobredimensionadas, e igualmente las consecuencias y vulnerabilidades del entorno en general o sobre las personas. En el informe presentado por el grupo de trabajo de la UNLZ se han determinado niveles de frecuencias, vulnerabilidades y riesgo sin utilizar herramientas apropiadas, estimados en ciertos casos según datos publicados que no son corroborados en cuanto a las hipótesis subyacentes; ni se consideran las salvaguardas existentes en los árboles de eventos correspondientes (ni se los explicita). Por lo tanto, se concluye que los resultados acerca del riesgo están sobrevaluados, sesgando las conclusiones acerca de la aceptabilidad del riesgo a niveles sobredimensionados en distintos eventos accidentales, por lo que resultan rotulados como “no aceptables”.

III.3.1.6 Aplicación de Metodologías de Evaluación Cualitativa del Riesgo

En función al contenido sobre “Cálculos de Riesgos y Matrices de Aceptación”, Pág. 37 de DOC_3 UNLZ, se observa que el método empleado constituye *una evaluación cualitativa del nivel de riesgo*. Para una descripción general básica ver Anexo II.

Según se reporta en dicho análisis se clasifican los escenarios de riesgo evaluados, de acuerdo con una matriz cualitativa en cinco rangos de valores discretizados de Frecuencias (Pág. 36 de DOC_3 UNL, Tabla 26); y cinco de Severidad (Pág. 36 de DOC_3 UNL, Tabla 27). Para los valores de riesgos, se adopta un criterio de valoración denotado como “Matriz de Jerarquización de Riesgos” (Pág. 38 de DOC_3 UNL, Tabla 29), que surge de multiplicar directamente el cardinal que corresponde al valor del rango correspondiente a la consecuencia/vulnerabilidad por el de la frecuencia (ambos del 1 al 5). Por lo que expanden valores de riesgo entre (1 a 25), en saltos discretos. Los cuales deben ser “rotulados” e interpretados según un



significado especificado, como es necesario y habitual en todo método cualitativo/semi-cuantitativo.

En otras palabras, como en cualquier método simplificado de esta índole, deben asignarse interpretaciones o significado a cada rango o nivel de riesgo establecido. Debe notarse que esta asignación, como las anteriores, en algún sentido son decisiones subjetivas del evaluador. Igualmente, y más importante para la toma de decisiones o gerenciamiento del riesgo, debe asumirse una “clasificación y una interpretación” de tolerabilidad de los rangos/niveles de riesgo obtenidos; por ejemplo, recurriendo a la especificación de umbrales de riesgo, para la definición de las zonas “ALARP”, la “aceptable” y la “no aceptable” según normativas ampliamente reconocidas.

En efecto, en el informe de la UNLZ se indica:

Pág. 37 de DOC_3 UNLZ: “Criterios para evaluar los resultados

Los resultados obtenidos en el cálculo del riesgo, en este caso, son analizados considerando el riesgo de pérdidas de vidas para el entorno de la Terminal Portuaria de GNL Escobar así como para la ruta de acceso de los Buques LNG Carrier a la misma (societal risk). De acuerdo al criterio IMO MSC 81/18 (IMO - International Maritime Organization ONU) y los antes mencionados criterios SEVESO III, el nivel de riesgo tolerable sobre una matriz de riesgos se divide en tres grupos, considerando a la sociedad y comunidades locales (áreas costeras y puertos) en el entorno a las instalaciones:

- aquellos niveles de riesgo aceptables, donde no se espera que se realicen acciones correctivas;
- los niveles de riesgo ALARP (As Low As Reasonable Practicable), donde se espera una reducción del riesgo mediante medidas y acciones correctivas y/o de mitigación;
- los niveles de riesgo inaceptables, donde no debería aceptarse debido a la magnitud de pérdidas de vidas producidas simultáneamente en muy corto tiempo (como en el caso de un accidente mayor y/o catastrófico)”.

En la Pág. 38 muestran la Tabla 28. “Nivel de Riesgos aplicable sobre la matriz de riesgos (sobre la base de Criterios combinados IMO / SEVESO III)”, que se reproduce a continuación:



Tabla 8. "Tabla 28. Nivel de Riesgos aplicable sobre la matriz de riesgos (Criterios combinados IMO/ SEVESO III) (Doc_3 UNLZ, pág. 38)

RANGO (resultados del cálculo de riesgo)	NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÓN
1, 2, 3, 4, 5 y 6	Normal	<i>Riesgo bajo en relación a los parámetros de aceptación mundial para la actividad</i>
8, 9, 10 y 12	ALARP (As Low As Reasonable Practicable)	<i>Se deben adoptar medidas correctivas para mitigar el riesgo hasta un nivel aceptable</i>
15, 16, 20 y 25	No aceptable	<i>Riesgo no tolerable por la gravedad de las consecuencias / simultaneidad de víctimas fatales</i>

Resulta claro, en el título de la Tabla 28 la relación de rangos de “valores de riesgo”, y las zonas adoptadas para la toma de decisiones según el criterio ALARP.

Conclusiones

Como primera conclusión, al realizar un análisis de los criterios utilizados para la confección de las normas se observa que: la Directiva 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo (Seveso III), en su artículo 2: Ámbito de aplicación establece que no es aplicable a “el transporte de sustancias peligrosas y el almacenamiento temporal intermedio directamente relacionado con él, por carretera, ferrocarril, vía navegable interior y marítima o aérea, incluidas las actividades de carga y descarga y el traslado desde y hacia otro tipo de transporte con destino a muelles, embarcaderos o estaciones ferroviarias de clasificación fuera de los establecimientos a que se refiere la presente Directiva”[23, p. 5; art. 2.2.c]

Por otra parte, dentro del conjunto de cuestiones relevantes, se remarca que en toda norma y en cualquier situación dentro de este contexto analizado, las decisiones se toman o adoptan sobre valores de riesgo, ya que son la base de la demarcación de la zona “aceptable”, “ALARP”, o “no aceptable”. Luego, la especificación de las frecuencias y las consecuencias sobre el entorno son relevantes, por ser componentes cruciales para la evaluación del riesgo. Y, por otra parte, si bien cada magnitud tiene importancia por sí misma, no son la base en su consideración aislada, “per se”; para la toma de decisiones bajo el criterio ALARP.

Adicionalmente y de acuerdo con los resultados de la aplicación de la matriz de riesgos mencionada, detallados en las Pág. 38, 39 y 40 del informe DOC_3 UNLZ se pueden identificar un conjunto de problemáticas o situaciones ambiguas, a saber:



Se mencionan -en la presentación el alcance o significado del nivel de riesgo evaluado en forma cualitativa-, otros conceptos como ser el riesgo individual y/o social, los cuales habitualmente se corresponden a una evaluación cuantitativa del nivel de riesgo (ver Anexo II, definiciones). Tanto el riesgo individual como el social se determinan mediante procedimientos/ algoritmos que responden a conceptos/ definiciones especificadas, en general mediante modelos codificados en algún software especializado; y se obtienen como resultados del mismo curvas de iso-riesgo y curvas FN (ver Anexo II para las definiciones básicas), las cuales no están reportadas en el informe del grupo de la UNLZ (a diferencia de los presentados en otros documentos del conjunto referencia, específicamente por DOC_2 Solano y DOC_1 LL R.

Por otra parte, los umbrales para el riesgo social solo pueden emplearse si previamente se han determinado las curvas FN, ya que el cálculo del riesgo social implica que se consideren todos los riesgos de la instalación en forma acumulativa, capaces de generar fatalidades múltiples. Adicionalmente, el expediente de evitar el cálculo de frecuencias acumuladas (dada su complejidad), no puede reemplazarse por la simple operación de multiplicar el valor del riesgo individual en un punto geográfico asociado a un evento accidental por el valor de una estimación de la población existente en un área dada. Esto es así, ya que tal magnitud no se corresponde a ninguna de las dos definiciones clásicas mencionadas y reconocidas en el estado el arte del cálculo de riesgos (riesgo individual y riesgo social expresado en curvas FN). Estas magnitudes, así definidas, son habitualmente tomadas como referencia para fijar los criterios para aceptabilidad del riesgo en las distintas normativas existentes.

Adicionalmente, la IMO MSC/Circ. 1023 en su anexo 4 "Initial Ranking of Accident Scenarios" [24] establece la evaluación de las consecuencias y probabilidades/ frecuencias en escala logarítmica para facilitar la evaluación del riesgo, ya que se asociaría a la suma de la frecuencia y las consecuencias para definir las reglas de asignación del riesgo en la matriz de riesgos. Las tablas que se proponen en la normativa se encuentran basadas en esta escala logarítmica y se muestran a continuación:



Tabla 9. Índices de Severidad (escala logarítmica) [24, p. 43]

Severity Index				
SI	SEVERITY	EFFECTS ON HUMAN SAFETY	EFFECTS ON SHIP	S (Equivalent fatalities)
1	Minor	Single or minor injuries	Local equipment damage	0.01
2	Significant	Multiple or severe injuries	Non-severe ship damage	0.1
3	Severe	Single fatality or multiple severe injuries	Severe damage	1
4	Catastrophic	Multiple fatalities	Total loss	10

Tabla 10. Ejemplo de Índices de Frecuencia/ Probabilidad (escala logarítmica) [24, p. 43]

Frequency Index			
FI	FREQUENCY	DEFINITION	F (per ship year)
7	Frequent	Likely to occur once per month on one ship	10
5	Reasonably probable	Likely to occur once per year in a fleet of 10 ships, i.e. likely to occur a few times during the ship's life	0.1
3	Remote	Likely to occur once per year in a fleet of 1000 ships, i.e. likely to occur in the total life of several similar ships	10 ⁻³
1	Extremely remote	Likely to occur once in the lifetime (20 years) of a world fleet of 5000 ships.	10 ⁻⁵

Tabla 11. Ejemplo de una matriz de riesgo basada en las Tablas 6 y 7 [24, p. 44]

Risk Index (RI)					
FI	FREQUENCY	SEVERITY (SI)			
		1	2	3	4
		Minor	Significant	Severe	Catastrophic
7	Frequent	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	Reasonably probable	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	Remote	4	5	6	7
2		3	4	5	6
1	Extremely remote	2	3	4	5

Al comparar estas tablas para la evaluación de las frecuencias, con respecto a las utilizadas en el trabajo del grupo de la UNLZ, se observa que:

- La matriz propuesta en la norma utiliza cuatro categorías para clasificar las frecuencias y consecuencias de los eventos (frecuencia 1: evento extremadamente remoto a frecuencia 4: frecuente).
- La matriz del estudio de la UNLZ utiliza 5 niveles para realizar la misma categorización (frecuencia 1: improbable a frecuencia 5: frecuente).



- Aquello que la norma IMO denomina “razonablemente posible” (frecuencia 3) sería lo que el estudio de la UNLZ llama “frecuente” (frecuencia 5).
- Aquello que la norma IMO denomina “extremadamente remoto” (frecuencia 1) es lo que el estudio de la UNLZ se llamaría “remoto” (frecuencia 3).

Conclusiones

Ante la necesidad de lograr una equivalencia comparativa, el rango discretizado que según la norma de referencia se corresponde a la menor frecuencia asignable, para el estudio de UNLZ se correspondería con el rango de frecuencias intermedias. Luego, una vez más se infiere la sobreestimación de las frecuencias utilizadas en dicho estudio.

A los efectos de determinar los valores de riesgo, en el trabajo de la UNLZ se utiliza la “multiplicación de los factores” y en la norma IMO (dada la escala logarítmica subyacente, procede a la “suma de los factores” [24, p. 43]). Consecuentemente, en cualquier caso e independientemente de la validez de ambos criterios, una vez que se dispone el espacio de rangos “cualitativos” correspondientes a todos los valores de riesgo posibles; se “deben asignar/ definir/ adoptar” los umbrales de valores de riesgo para definir las tres zonas correspondientes para la rotulación “aceptable”, ALARP, “no aceptable”. Dado que los rangos de valores de los posibles niveles de riesgos en ambos métodos “no son iguales”, no puede establecerse una correspondencia biunívoca entre ambos criterios adoptados (la Norma de referencia y el criterio híbrido propuesto por el grupo de la UNLZ).

En definitiva, según se ha mencionado en distintos apartados de este informe, los métodos cualitativos no son adecuados para la toma de decisiones para el gerenciamiento del riesgo en sistemas complejos como el que nos ocupa, más aún si se trata de valores de riesgo que yacen en la frontera de la zona ALARP; ya que son aproximados.

Conclusiones

Independientemente de todas y cada una de las consideraciones técnicas y formales arriba efectuadas, en cualquier caso, las frecuencias utilizadas a lo largo del informe correspondientes al fenómeno BLEVE involucrando GNL, como se ha mencionado en repetidas oportunidades, están sobredimensionadas, al igual que las frecuencias asignadas a las fugas y su desenlace en el evento accidental VCE con efectos mayores o catastróficos. Por lo



tanto, este solo hecho invalida los resultados obtenidos y reportados en el informe DOC_3 UNLZ. En efecto, aun dejando de lado todas las consideraciones realizadas acerca del método de elaboración de la matriz de riesgos utilizada en el trabajo informado por el grupo de la UNLZ, si se utiliza el mismo criterio que se ha empleado para evaluar los riesgos y calificarlos, aunque tomando el intervalo de frecuencias apropiadas para el fenómeno BLEVE y el VCE, el resultado correspondiente a los niveles del riesgo para cada escenario accidental considerado en dicho estudio se ubica, como máximo, en la zona ALARP, y no en los valores “no aceptables” presentados en la “Tabla 29, Matriz de Jerarquización de Riesgos: Resultados del cálculo de riesgo para la Terminal Portuaria de GNL Escobar y la ruta de navegación del Buque LNG Carrier (Hidrovia y tramo de acercamiento) (Criterios combinados IMO/ SEVESO III)

III.3.1.7 Acerca del Índice de DOW

Como se ha comentado en puntos anteriores, en el informe presentado por la UNLZ, en la Pág. 24 se afirma que se ha utilizado el método “Índice de Dow” para la evaluación del riesgo asociado a la terminal portuaria.

El índice Dow, es considerado aplicable en unidades de procesamiento de plantas químicas y almacenamiento on-shore donde estos equipos están expuestos. Sin embargo, según ciertas consideraciones reportadas en la literatura, no es aplicable para barcos de GNL dado que no están expuestos, al contrario, están protegidos por acero estructural y aislamiento, por lo que los riesgos subyacentes son diferentes. En este particular DNV GL manifiesta en su memo técnico [15, p. 9] que para la fecha no ha encontrado estudios previos que equiparen el método Dow con los riesgos de GNL.

Independientemente de lo mencionado en el párrafo anterior es necesario remarcar que, por ser un método simplificado, no es aplicable para la toma de decisiones en sistemas complejos para el gerenciamiento del riesgo en etapas finales y en las operacionales. Por último, de aplicarse a este caso de estudio en particular, en el Anexo III se resume un análisis del desarrollo de la aplicación de dicho método a la terminal portuaria.

Conclusiones

Se puede concluir que el cálculo del índice Dow en el informe presentado por la UNLZ presenta imprecisiones; y a la vez, se adolece de información fundamental para determinar el “grado de



riesgo” asociado a un buque de GNL que transporta 95.000 m³ con las condiciones particulares, y principalmente con los sistemas de control y mitigación existentes en planta de la terminal portuaria de Escobar. Más aún, no se consideran factores cruciales en el cálculo, y se procede incluso, a extrapolar la magnitud de la vulnerabilidad del entorno a valores catastróficos, lo cual está implícitamente vedado en la aplicación de tal método de análisis -que a la postre considera un escenario no realista-.

En síntesis, dado lo expresado en cuanto a la aplicación del método respecto al problema particular que nos ocupa (no es un método riguroso para la toma de decisiones en sistemas complejos) y que además existen cuestionamientos en cuanto a su aplicación a sistemas de transporte del tipo aquí estudiado, podría relativizarse cualquier resultado obtenido.

Por otra parte, e independiente de tal juicio de valor, de aplicarse correctamente según la metodología exige, y considerando los datos específicos y detallados según es necesario hacerlo, el resultado no confirma la severidad que expresa el informe de la UNLZ. Más aún, es sustancialmente menor, siendo incorrecto calificarlo como “no aceptable”.

III.3.1.8 Acerca de la Aplicación del Método RSN- TNO (1979)

Es oportuno mencionar que, desde el punto de vista formal, en el DOC_3 UNLZ, el “tercer método empleado” pareciera haber sido citado incorrectamente primero como “norma holandesa RSN TNO 1999” (página 24) y luego como “normativa holandesa RSN TNO-1979, de *aceptación internacional*” (página 26). En principio no existe concordancia con el año de publicación, aunque son de uso frecuente los libros publicados por TNO, por ende, se infiere que el año correcto es 1979 [2].

Por otra parte, en la literatura citada en el informe *DOC_3 UNLZ* se encuentra el trabajo realizado por Li y Huang (2012) [25], en el cual se estiman las distancias en función de un nivel de daño especificado, para un buque que transporta 147.000 m³ de GNL. Ciertamente, este último ha sido criticado en el memo técnico “Review of Vapour Cloud Explosion and BLEVE Risk” [15] publicado por la DNV·GL, no sólo por la vaguedad en la explicación de su modo de proceder, sino que también acerca de ciertos aspectos del cálculo siendo un punto muy importante, que el volumen en estado gaseoso de la masa de combustible involucrado en la explosión de la nube de vapor se corresponde al total de carga transportada. Es decir, los autores consideran que se vaporiza y se ve involucrada en la explosión el total de la carga del

buque despreciando claramente la dispersión en el aire; pero al mismo tiempo asumiendo que la concentración de oxígeno es la suficiente como para formar una mezcla explosiva; una hipótesis que no es realista desde el punto de vista físico-químico (ausencia de la formulación de modelos adecuados -árboles de eventos- para definir correctamente los distintos escenarios accidentales y las frecuencias y consecuencias asociadas).

Esto permite inferir que no se consideran los mecanismos o dinámica de generación de una nube de vapor explosiva, es decir cuáles son las condiciones que se deben cumplir para que se produzca una VCE. El árbol de eventos correspondiente permite estimar adecuadamente todos los escenarios posibles y la asignación de sus respectivas frecuencias.

Aún con las críticas que han sido realizadas al trabajo de Li y Huang (2012) a continuación reproducimos la siguiente información de su trabajo:

Tabla 12. Evaluación de la explosión de una nube de vapor que ocurre en un buque de GNL [25, p. 74]

Explosion energy <i>E</i> /kJ	Damage level	$C_0/mj^{-1/3}$	Damage of equipments	Injury of personnel	Radius of damage/m
3.667×10 ¹²	1	0.03	Hit buildings and processing equipments seriously	1% died of lung injury > 50% eardrum ruptured > 50% hit by pieces	214.7
	2	0.06	Damage to the exterior of buildings, repairable damage	1% eardrum ruptured 1% hit by pieces	429.5
	3	0.15	Glass is broken	Hit by pieces	1073.7
	4	0.4	10% glass is broken	—	2863.1

Considerando que la carga transportada por los buques LNGC que ingresan a la terminal es bastante inferior (95.000 m³) y la gran sobreestimación existente en los resultados de Li y Huang debido a los valores utilizados (según la crítica expresada más arriba), se hace notar la semejanza entre los valores mostrados en la Tabla 12 y los reportados en la pág. 26 de DOC_3 UNLZ: "...un radio de máximo daño y letalidad prohib 50% superior a los 200 metros, radios de 400 metros a 1.000 metros para daños intermedios y heridos prohib 50% por lesiones de diversa gravedad, y radios de hasta 2.800 metros para daños menores y/o heridos leves prohib 1%..."

Conclusiones

En ambos casos, independientemente de la falta de datos y la explicitación de los árboles de eventos correspondientes, se resalta la sobreestimación de las distancias de impacto



debido principalmente a la sobreestimación de la masa efectiva involucrada en la explosión, y la diferencia en la cantidad de GNL transportado.

Por otro lado, cabe destacar que, dado los avances en la ingeniería de la confiabilidad en el caso específico del estudio de los efectos de las explosiones de nubes de vapor, seis años después de la publicación de la primera edición del Yellow Book [2], Van der Berg reporta un método eficiente para estimar los campos de sobrepresión generados por este tipo de explosiones. Dicho método, generalmente conocido en la jerga como “método multienergía”, se ha publicado en la tercera edición del Yellow Book [26] y es uno de los más empleados en la actualidad.

III.3.1.9 Acerca de la Estimación de Distancias de Impacto. Evento Bola de Fuego

Por otra parte, se ha mencionado en el informe de la UNLZ la potencial ocurrencia de una bola de fuego asociada a una explosión BLEVE, reportando las consecuencias de tal acontecimiento, la estimación del diámetro y su duración. Según lo que hemos expuesto a lo largo de este informe, es altamente improbable sino imposible la ocurrencia de una BLEVE en un buque y/o en las instalaciones de la terminal, resultando obviamente la misma conclusión para la Bola de Fuego, ya que está ligada a la ocurrencia de la BLEVE.

Aun considerando lo expuesto en el párrafo anterior, si se pretende evaluar la vulnerabilidad del entorno debido a la ocurrencia de una BLEVE, del informe del grupo de la UNLZ se desprende que se realiza bajo los lineamientos denominados “*Método ILO – Cuarto método de análisis de evaluación del riesgo*”.

Ahora bien, en la bibliografía de referencia [27] se considera que el concepto de BLEVE es aplicable sólo a los casos de sustancias almacenadas en tanques presurizados. Por definición una BLEVE ocurre cuando un recipiente a presión que contiene una sustancia licuada a una temperatura muy superior a su temperatura normal de ebullición falla. Luego si y sólo si, la sustancia en cuestión es inflamable, se produce el evento “bola de fuego”. Con respecto exclusivamente a la metodología de cálculo para estimar las características de la bola de fuego, en dicho manual [27] se aclara la implementación del método para GLP, explicitando valores del poder emisivo de la superficie de la bola de fuego formada exclusivamente para el mismo. En este punto es conveniente remarcar que es conocido que el valor de tal factor depende de la sustancia involucrada. Por ejemplo, de acuerdo a las definiciones otorgadas por

Casal (2008) [28] y CCPS (2010) [29], el poder emisor de la superficie de la bola de fuego es función del calor normal de combustión de la sustancia entre otras variables, por tanto los valores que brinda el método se deben emplear solamente para GLP (con anterioridad a lo largo de este informe ya se ha remarcado la diferencia entre estos dos gases licuados).

Por ende, en la realización de los cálculos según la orientación/ metodología ILO (International Labour Organization) bien interpretada (a diferencia de lo ocurrido en el trabajo de Li y Huang (2012) donde coincidentemente se han empleado tres de los cuatro métodos denominados como tales en DOC_3 UNLZ) *debiera utilizarse datos adecuados, correspondientes a la sustancia específica y a los escenarios reales a modelar*. Como se ha mencionado, esta es la crítica principal al trabajo de Li y Huang (2012) presentada en el trabajo "Review of Vapour Cloud Explosion and BLEVE risk (2018)" [15], a causa de la implementación de los métodos de cálculo.

Dentro de este contexto, se remarca la ausencia en DOC_3 UNLZ de las fórmulas empleadas y la sobreestimación poco realista de los resultados, dado que *el radio* de la llamada "bola de fuego" producida por una BLEVE en la Terminal Portuaria de GNL Escobar se estima en *1.004,2 metros con una duración de 154,4 segundos* para una carga de *95.000m³ de GNL*. Debe remarcarse que, según el conocimiento reflejado por las publicaciones científicas disponibles, la definición del evento bola de fuego y en concordancia con los datos de accidentes históricos, se explica que tal suceso se debe a una combustión rápida con *una duración reportada inferior a los 60 segundos* que ocurre como consecuencia de una explosión BLEVE de una sustancia inflamable ([30], [31]).

A su vez, debe mencionarse que los resultados alcanzados/ reportados por el grupo de trabajo de la UNLZ, y los resultados publicados en el trabajo de Li y Huang (2012); duramente criticado según arriba comentamos, se obtienen con metodologías similares. Li y Huang (2012) asumen una carga total de un buque de 147.000 m³ de GNL que explota (el total del contenido), estimando para tal suceso una bola de fuego de 1130.4 m de diámetro y una duración de 175.4 segundos que, en el contexto del análisis de riesgos analizado, y según el "estado del arte" hemos considerado como "físicamente irreal" o extremadamente poco probable, remoto.



En función de lo expresado anteriormente (fórmulas utilizadas con datos/ valores solo válidos para GLP), las mismas han sido aplicadas en este trabajo considerando una carga de 95.000 m³ obteniéndose los resultados informados en DOC_3 UNLZ.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el trabajo reportado por la UNLZ se basan en considerar que el total de la carga del buque explota simultáneamente involucrando un total de 95.000 m³ de GNL, empleando la misma metodología reportada por Li y Huang (2012). Como se ha explicado más arriba, la frecuencia de ocurrencia de una explosión tipo BLEVE es extremadamente baja, aun involucrando uno solo de los recipientes transportados; por lo que dicha probabilidad disminuye enormemente al considerar un mayor número de tanques (tres o cuatro, por ejemplo). Ni siquiera considerando el efecto dominó el suceso “explosión simultánea de todos los tanques transportados” sería verosímil.

En definitiva, en el contexto general del trabajo, en los apartados “cálculo de riesgo”, se le ha asignado al fenómeno BLEVE y VCE tanto consecuencias/vulnerabilidad del entorno, como frecuencias de ocurrencia, muy sobredimensionadas. En la realidad la frecuencia, es extremadamente baja, mucho menor a la utilizada en el estudio de riesgos realizado, según se ha analizado extensamente en secciones anteriores. Igualmente, existen sobredimensionamientos en los datos reportados para los efectos sobre el entorno de tales fenómenos accidentales.

Tomando en cuenta los lineamientos básicos del método de cálculo mencionado [27]; y dejando de lado que los datos sugeridos son referidos a GLP, se debe remarcar que en el mismo método se aclara cómo se debería considerarse la cantidad de masa involucrada (Fig. 2). En ningún momento se homologan los cálculos involucrando toda la masa transportada, por carecer claramente de realismo.

Finalmente, dentro de este contexto de aplicación que se infiere es el realizado, las conclusiones obtenidas son inadecuadas y carecen de sentido práctico para la toma de decisiones.

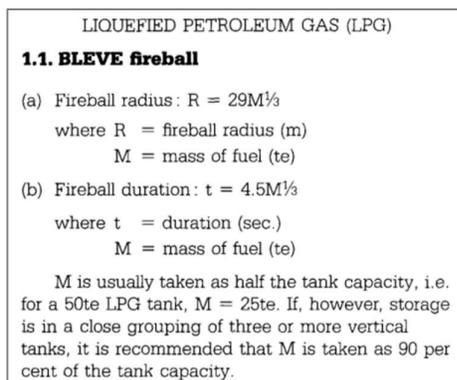


Fig. 2. Imagen extraída de “Major hazard control: A practical manual, ILO/UNEP/WHO International Programme on Chemical Safety, 1993” [27, p. 121]

Por último, y en cuanto a la controversia acerca de la posibilidad de existencia de una BLEVE y su posterior acompañamiento de una Bola de Fuego, es importante también resaltar, que los cálculos para la estimación de campos de sobrepresión (BLEVE) como así también de radiación térmica (bola de fuego), en el caso particular de GNL han sido reportados y debidamente registrados para su análisis, solamente para la explosión de camiones cisterna ([8], [9]). A lo largo de este informe ya ha sido suficientemente remarcada la diferencia en el diseño con los tanques de los buques, pero existe algo aún importante a enfatizar. En los camiones cisterna se han alcanzado presiones internas de falla en un rango de 8 a 10 bar de acuerdo a los trabajos citados anteriormente, que asumen que dicho fenómeno es una explosión tipo BLEVE. Se concluye que han llegado a han llegado a esta presión, no sólo por contar con escasas barreras de protección sino también porque la válvula de alivio funciona en alrededor de 8 barg, de acuerdo al diseño, situación totalmente diferente a la de los tanques en buques en donde tales válvulas de alivio operan en un rango 0,28 a 0,30 barg. Por último, en el “Yellow Book, TNO (2005)” [26] se ha propuesto una forma estimativa para inferir la presión interna en el recipiente justo antes que ocurra la falla/rotura y para el caso particular de exposición a fuego externo tal presión se calcula según la siguiente fórmula [26, p. 29; cap. 7; tabla 7.1]:

$$P_{falla} = 1,21 * P_{AVA}$$

Donde P_{AVA} es la presión de apertura de la válvula de alivio.

En conclusión de los trabajos citados, y del análisis global, según estos considerandos, no existe forma creíble para que ocurra una explosión del tipo BLEVE (de acuerdo a la definición conceptual de tal fenómeno), con tan poca diferencia de presión; y por tanto -de



acuerdo a la definición conceptual del fenómeno-, tan escasa diferencia entre la temperatura normal de ebullición y la temperatura justo antes de que ocurra la explosión; ya que la energía liberada en la explosión se debe a la expansión del vapor preexistente y la vaporización súbita de líquido sobrecalentado.

Todo ello, sin considerar que luego existen las barreras de seguridad del tanque que dificultan enormemente la transferencia incontrolada de energía.

Luego, es inadecuado, en el contexto de la evaluación del riesgo para la toma de decisiones asignar distancias de impacto y probabilidades de ocurrencia como las que se han utilizado en el reporte de la UNLZ ante BLEVE y Bola de Fuego. *Es de vital importancia resaltar esto último, dado que al momento de definir las zonas afectadas en el DOC_3 UNLZ (Pág. 28-30, Tabla 20 y Figura 21), se están considerando las distancias obtenidas de acuerdo a estos supuestos.*

Resumiendo, además de las sobreestimaciones existentes debido a los efectos de sobrepresión debido a explosiones BLEVE y VCE, se reporta una elevada sobreestimación de las distancias *para los efectos de radiación térmica proveniente de una bola de fuego.*

En general, las ecuaciones del “método ILO” son implementadas para estimar el flujo de radiación incidente sobre un receptor que se encuentra a una distancia dada para una bola de fuego de GLP almacenado, por descontado un recipiente a presión. Los campos de sobrepresión debido a explosiones, por otro lado, devienen de un efecto totalmente distinto ocasionado por la energía mecánica efectiva (en general se asume como promedio que es el 40% del total de energía mecánica liberada) en una explosión BLEVE- ruptura dúctil del recipiente-[28]. La estimación de los campos de sobrepresión para el evento explosión tipo BLEVE se puede efectuar asumiendo distintas hipótesis y por ende diferentes modelos con diverso grado de rigurosidad ([32], [33], entre otros). Tales modelos, son de implementación exclusiva para este tipo de explosiones, descartando su empleo obviamente para explosiones del tipo VCE, y se encuentran disponibles en la mayoría de las herramientas computacionales disponibles para la evaluación cuantitativa del riesgo.

III.3.1.10 Análisis Factor de Vulnerabilidad

En este apartado se analiza la sección correspondiente al “Análisis de Vulnerabilidad” incluido en el informe de la UNLZ (pág. 34 y 35). El análisis se fundamenta, según se informa



en dicho reporte, en lo dispuesto en el RD 840/2015 [34] y en la Directiva del Parlamento Europeo 2012/18/UE SEVESO III [23].

La metodología utilizada en el informe presentado por el grupo de la UNLZ para evaluar un "factor de vulnerabilidad" es normalmente utilizada como método preliminar a un análisis de riesgo, cuando la planta aún no está en funcionamiento. Esta metodología no es determinante ni indicativa de los riesgos asociados a una actividad industrial en particular, sino que simplemente es un criterio para definir las características y potencial de peligro del complejo industrial y, en función de esto, la rigurosidad del posterior análisis de riesgo.

En el Capítulo 4 de la guía técnica publicada por la Dirección General de Protección Civil de España [35] se indica el cálculo del Factor de Vulnerabilidad (FV) y de un índice de letalidad del 1%. En base a los resultados de ambos cálculos la Guía recomienda, como se observa en la Tabla 13, el procedimiento a seguir en la selección de la metodología de Análisis de Riesgos que sería necesario aplicar. *La Guía recomienda que para valores de FV mayores a 30 y con un alcance 1% de letalidad en límites de la instalación bajo análisis, deben usarse otras metodologías para el Análisis de Riesgos e indica como observación "Las autoridades analizarán según el entorno y consecuencias potenciales la necesidad de exigir mayor profundidad en el estudio"*.

En otras palabras, el procedimiento y la guía no se constituyen en un estudio de riesgos "en sí mismo", para la toma de decisiones de gerenciamiento. Por el contrario, como se ha indicado en numerosos apartados, los métodos simplificados y las guías permiten decidir (o no) la necesidad de aplicación de estudios más rigurosos. Luego, en el caso de aplicar los preceptos indicados, sólo se concluye que debe realizarse un estudio riguroso. Dentro de esta clase de estudios, los estudios de riesgos cuantitativos son los más rigurosos (ver conceptos básicos en el Anexo II); utilizando las metodologías propias y software de reconocido prestigio -en referencia al estado del arte-, como por ejemplo los reportados en los estudios de riesgos informados en DOC_2 Solano y/o en DOC_1 LL R.

Sin embargo, dada la forma en que se menciona o se concluye en el informe presentado por el grupo de trabajo de la UNLZ, se omite o relativiza esta información. Es decir, de la forma que está expresada la conclusión, no se exponen los verdaderos objetivos de la



metodología referenciada. Esto es, las conclusiones que se afirman mediante la aplicación de este criterio no son aplicables para la toma de decisiones, según están contextualizadas.

Tabla 13. Criterios para exigir un Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) [35, p. 55]

TABLA 4.2 CRITERIOS PARA EXIGIR UN ACR						
Afectación artículo Real Decreto 886	Factor vulnerabilidad entorno FV (2)	Alcance 1% letalidad superior a límites de instalación (1)	ES	ACR	Otras metodologías	Observaciones
	FV < 10 (3)	SI NO	SI SI	-- --	-- --	
6	10 ≤ FV < 30 (4)	SI NO	SI SI	SI --	-- --	Habrà un estudio de propuestas de mejoras.
	FV ≥ 30 (5)	SI NO	SI SI	SI --	-- --	Se exigirá un importante estudio de mejoras.
	< 10	SI NO	-- --	-- --	SI --	
5	10 ≤ FV < 30	SI NO	SI --	-- --	-- SI	Habrà un estudio de potenciales mejoras.
	FV ≥ 30	SI NO	SI --	-- --	-- SI	Habrà un estudio importante de mejoras insistiendo en medidas de protección y prevención.
	FV < 10	SI NO	-- --	-- --	-- --	
Ni 6 Ni 5	10 ≤ FV < 30	SI NO	-- --	-- --	SI	
	FV ≥ 30	SI NO	-- --	-- --	SI	Las autoridades analizarán según el entorno y consecuencias potenciales la necesidad de exigir mayor profundidad en el estudio.

(1) Calculado para el accidente más grave postulable y las condiciones del entorno más desfavorable. En caso de instalaciones que en circunstancias especiales incrementen de forma importante el personal presente en su interior, este límite de letalidad no debe limitarse exclusivamente al exterior.
 (2) Ver tabla 4.1 para su cálculo.
 (3) Entorno poco vulnerable.
 (4) Entorno medianamente vulnerable.
 (5) Entorno muy vulnerable.

III.3.1.11 Verificación de Distancias de Seguridad.

En la sección del informe denotada “Verificación de las distancias de seguridad” (Pág. 32 y 33 de DOC_3 UNLZ) se cita la circular NVIC 01-11 [36] y las zonas de alerta establecidas en el mismo. Específicamente, en la circular se menciona que la definición de las zonas corresponde a lo publicado en el reporte técnico “Breach and Safety Analysis of Spills Over Water from Large Liquefied Natural Gas Carriers (2008)” [37]. En principio, este último tiene como objetivo *el análisis de las consecuencias ocasionadas por derrames intencionales de*



GNL provenientes de buques de mayor tamaño, (se referencian capacidades de hasta 265.000 m³, denominados “Large LNG Carriers”). A continuación, se presenta la Tabla 14 extraída del citado reporte, en donde se comparan las dimensiones de los LNG Carriers y los Large LNG Carriers, estos últimos definidos como su objeto de estudio.

Tabla 14. Tamaño y capacidad de los buques de GNL emergentes [37, p. 11].

CLASS	MEMBRANE DESIGNS			
	145,000 m ³	155,000 m ³	215,000 m ³	265,000 m ³
Tanks	4	4	5	5
Length (m)	283	288	315	345
Width (m)	44	44	50	55
Draft (m)	11.4	11.5	12	12
CLASS	MOSS DESIGNS			
	138,000 m ³	145,000 m ³	200,000 m ³	255,000 m ³
Tanks	5	4	5	5
Length (m)	287	290	315	345
Width (m)	46	49	50	55
Draft (m)	11	11.4	12	12.5

A su vez, en el análisis de consecuencias efectuado, sólo se consideran *eventos intencionales, atentados en contra de estas embarcaciones de gran porte*. Esto surge de relativizar/ eliminar cualquier otra causa de derrame, de acuerdo con el árbol de eventos, por considerarlas de muy baja probabilidad en función del análisis de accidentes históricos efectuado en el 2004 por la misma corporación [3]. A continuación, se presenta un extracto del texto que, según el criterio de los autores, justifica la desestimación de los otros eventos iniciales:

“The LNG shipping industry has an exemplary safety record, with only eight accidents over the past 40 years. None of these accidents have led to a loss of life or a breach of the vessel’s cargo containment system. Even with this excellent safety record, consideration should be given to what might be a potential LNG cargo tank breach based on a possible accidental collision with another ship, grounding, or ramming. Based on the previous work on breach sizes for accidental events in the 2004 Sandia LNG study, it is clear that accidental events in near-shore LNG operations are smaller and much easier to mitigate through operational safety improvements than spills caused by intentional events. Therefore, for this report, DOE requested that Sandia focus on assessing the potential breach sizes, spills, and



associated hazard distances for credible intentional events against emerging larger capacity LNG carriers carrying up to 265,000 m³ of LNG.” [37, p. 13]

Por otro lado, en el contexto de tal documento, no se toma en cuenta la explosión BLEVE. Sí se hace referencia a los efectos provocados por los eventos: pool fire (radiación térmica) y dispersión de nube de vapor. Los efectos de este último evento dependen fuertemente de las condiciones meteorológicas y de la presencia de una posible fuente de ignición (véase Pág. 7 y 8 de [37]).

Debido a todo lo anteriormente expuesto es importante destacar que, la delimitación de las zonas se efectúa considerando Large LNG Carriers de hasta 265.000 m³ de capacidad. El supuesto es conservador, contemplando distintos escenarios (número de tanques afectados por el sabotaje, distintos tamaños de la ruptura ocasionada, siendo los tamaños de ruptura “nominales” 5 m² -near shore operations- y 12 m² -offshore operations-). Obviamente difiere enormemente del caso que nos ocupa y, por tanto, existe una sobreestimación elevada. Debe considerarse a su vez, que se refiere a impacto ante situaciones conservadoras. Para la toma de decisiones, debe también considerarse la bajísima/remota frecuencia de tales sabotajes en un país como Argentina, discutido anteriormente.

Por último, es de remarcar que en el DOC_3 UNLZ se expresa que se corrobora tales distancias (así obtenidas) con las estimadas por la implementación de los métodos de evaluación de riesgos anteriormente comentados -los analizados por el grupo de trabajo de la UNLZ-; según:

Pág. 33 de DOC_3 UNLZ: “Como resultado de la aplicación de este código se observa una coincidencia entre las zonas de afectación y letalidad previamente analizadas y las “Zonas de Alerta” impactadas durante la navegación del Buque LNG Carrier en el tramo de acercamiento y amarre en la Terminal Portuaria de GNL Escobar (la propia Terminal, barrios de viviendas, hospital y escuelas, zonas recreativas, campings, hosterías, clubes náuticos y puertos deportivos, torre de toma de agua de Aysa, fondeadero Escobar, zonas de espera y de transferencia de granos, convoy de buques en espera, núcleos forestales, zonas de biósfera y reservas naturales), a excepción de las hipótesis de desvío intencional por sabotaje hacia los Puertos Buenos Aires / Dock Sud / La Plata, que al considerar la totalidad del trayecto de



navegación en la Hidrovía sí quedarían incluidas, como puede observarse en la figura siguiente” (Fig. 24, Pág. 34).

Dichas afirmaciones resultan incongruentes, no sólo por lo expuesto anteriormente sino también porque se está comparando -al referirse en el contexto del informe completo-, a las distancias estimadas en función de distintos efectos de los eventos antes analizados por ejemplo: VCE (método 3 empleado exclusivamente para la estimación del campo de sobrepresión generado) o Bola de Fuego (efecto de radiación térmica – método 4) mientras que en el reporte y por ende en la circular, establecen estas zonas de alerta (distancias de afectación) para los efectos de radiación de un pool fire o incendio de charco.

Conclusiones

En función del párrafo inmediato anterior, es posible concluir que se sobredimensionan los efectos de los eventos accidentales, al relacionar las distancias de impacto establecidas a lo largo del informe de la UNLZ con las que sugiere la citada circular, para una situación altamente improbable, como un atentado, y en referencia a un buque que casi triplica la carga transportada por LNG Carrier aquí analizado. En efecto, se identifican en el informe de la UNLZ numerosas sobreestimaciones tanto en la estimación de las frecuencias como en la estimación de las distancias de impacto y vulnerabilidad del entorno. Lo cual implica una sobrestimación importante en los valores de riesgo calculados. Por último, al explicitar “la verificación” según el párrafo arriba citado y utilizar valores de referencia que se corresponden con magnitudes que sobreestiman por mucho la masa involucrada en los inventarios de la terminal portuaria y el buque metanero, tal “coincidencia” en las distancias de impacto no hace más que constituirse en una comprobación más de la sobrestimación de los valores calculados de riesgo, demostrada a lo largo de este trabajo.

IV. CONCLUSIONES GENERALES

Habiendo procedido a una definición del conjunto de informes técnicos de referencia acerca de la evaluación del riesgo de la terminal portuaria Escobar, y procediendo a un extensivo análisis de las conclusiones vertidas en los mismos, resulta evidente que *existen conclusiones antagónicas relevantes*, que diferencian a un grupo de informes cuya conclusión



es contraria a la del otro, respecto a la aceptabilidad del riesgo asociado a la operación de la terminal portuaria.

Consecuentemente, y a partir de un análisis de las metodologías utilizadas, los procedimientos y herramientas de cálculo, los datos específicos disponibles, la utilización de técnicas según el estado del arte, se concluye que la diferencia en los resultados de evaluación del riesgo asociado a la terminal portuaria Escobar se deben a diversas causales, que se enumeran sintéticamente a continuación, siendo que los fundamentos están extensamente explicitados en la sección III de este documento.

En principio, pueden mencionarse dos situaciones concretas a saber:

En primer lugar, en la metodología utilizada por el grupo de trabajo de la UNLZ, que conlleva a las conclusiones críticas "riesgo no aceptable", desde el punto de vista metodológico se establecen procedimientos/metodologías híbridas tomando aspectos parciales de normativas y/o documentos técnicos. En la tarea de evaluar el riesgo asociado a los eventos accidentales críticos o relevantes, se relacionan datos referidos a contextos orientados a situaciones débilmente relacionadas con nuestro caso en estudio (a partir por ejemplo de trabajos publicados en papers en revistas científicas o en actas de congreso). Estos deben ser homologados con respecto del caso particular sobre el cual deben aplicarse las conclusiones, lo cual es muy complejo o imposible. Todo ello no conforma un procedimiento integral sólido, ni recomendado, para realizar estudios de análisis de riesgos orientados a la toma de decisiones.

En segundo lugar, en cuanto a cuestiones técnicas específicas, desde lo metodológico o lo conceptual, las diferencias entre las técnicas empleadas por los distintos ejecutores del análisis de riesgo son de magnitud. Dentro de este contexto, es importante remarcar por ejemplo, que los estudios presentados en *DOC_1 LL R* y *DOC_2 Solano* son, en cuanto al estado del arte, estudios cuantitativos de riesgos rigurosos, utilizando herramientas de cálculo (software) ampliamente reconocidos internacionalmente, y reportando datos perfectamente identificados en fuentes oficiales o datos específicos y básicos del proceso, tales como características de cañerías, condiciones de operación, instrumentación existente en la planta, todos ellos reportados en los informes respectivos. Esto es, los resultados resultan homologables, ya sea por las herramientas específicas (software) o bien considerando la



realidad de la operación de la planta, identificando las diversas barreras de protección consideradas en el diseño y elaborando metodológicamente los árboles de eventos asociados a los escenarios accidentales de mayor criticidad (para los conceptos generales de los análisis de riesgos en general y los cuantitativos en particular, ver Anexo II). Por otra parte, en dichos informes se consignan los valores de las frecuencias utilizadas y las fuentes en las cuales se basan.

Todo ello contrasta fuertemente con las conclusiones y metodologías presentadas en el informe *DOC_3 UNLZ*. En cuanto al documento *DOC_4 Peritos*, en el mismo se avalan implícitamente -o por omisión pareciera hacerlo-, ciertos procedimientos, datos o etapas metodológicas empleadas por el Grupo de la UNLZ. En efecto, las diferencias se constatan tanto en lo metodológico como en la asignación de datos realistas que se correspondan con todos los detalles de operación de las instalaciones de la terminal portuaria de Escobar y del buque metanero. Por otra parte, no existe rigurosidad en los métodos de cálculo utilizados (o referenciados), para la estimación de los valores de frecuencia, de la vulnerabilidad del entorno y el cálculo mismo del riesgo, como así también la determinación final respecto a la tolerabilidad/ aceptabilidad del mismo. *Esto, sumado a lo expresado más arriba respecto a las fuentes de información utilizadas para la asignación de frecuencias o estimación de la magnitud de la vulnerabilidad del entorno, produce como consecuencia en primer lugar, una sobreestimación de ambas magnitudes y, en segundo lugar, por lógica consecuencia, una sobreestimación de la valoración del riesgo, cualquiera sea el método utilizado, ya que ambas magnitudes son básicas para el cálculo.*

Dentro de este contexto, y solo a modo de aspectos específicos ejemplificadores, en el estudio de análisis de riesgo reportado en el documento *DOC_1 LL R* y *DOC_2 Solano* se explicitan claramente las hipótesis adoptadas. Caudales máximos considerados (peor caso), condiciones meteorológicas, condiciones geográficas del entorno, frecuencias de ocurrencia y métodos de cálculo y criterios para la estimación de las consecuencias/vulnerabilidad del entorno o las personas. Se utiliza el simulador "PHAST RISK MICRO ® Versión 6.7 de la firma DNV" de amplia difusión y reconocimiento internacional, dentro del estado del arte, tanto científico como técnico o profesional. Los resultados obtenidos son calculados, totalizados y graficados mediante un sistema homogéneo de tratamiento de datos, unidades, ubicación en mapas, entre otros aspectos. En los resultados finales se presentan gráficas de



riesgo individual interno y externo y gráficas que se refieren al riesgo social – Curvas F-N. Las mismas se refieren al riesgo total, esto es, debido a la sumatoria de todos los eventos considerados.

Por otra parte, en el informe DOC_3 UNLZ se desarrollaron diversos enfoques para la estimación del riesgo, tanto en lo que refiere la estimación de la vulnerabilidad del entorno como para las frecuencias de ocurrencia; y finalmente, el cálculo del riesgo en sí mismo. Según se indica, se han utilizado cuatro “métodos” distintos para cuantificar el riesgo en la Terminal Portuaria de GNL Escobar y su entorno, incluyendo la navegación de los buques LNG Carrier en la ruta de acceso / acercamiento a dicha Terminal (considerando en todos los escenarios una carga de almacenamiento de 95.000 m³ de GNL).

1) “Índice de DOW”, 2) “Res N°338 SEN - norma GRI 89/0242 (Gas Research Institute)”, 3) “Norma holandesa RSN TNO-1999” y 4) “Método ILO (International Labour Organization)”.

Según ya se ha desarrollado ampliamente, en cuanto al método 1) “Índice de DOW” (ver sección III.3.1.7 y Anexo III), el mismo en general se utiliza para estimar en forma agregada, el nivel de riesgos de las instalaciones industriales, sin tener en cuenta aspectos relevantes de cada caso en particular, por lo cual no es un método aconsejable para la toma de decisiones fundamentales en un sistema de gerenciamiento del Riesgo. Luego, resulta una metodología no aconsejable para aplicar en este caso, por lo que los resultados obtenidos serían solo una guía general.

Por otra parte, la metodología para calcular el *Índice Dow* es muy concreta, y exige seguir los pasos adecuadamente, con datos específicos y realistas. Además, en caso de utilizarse adecuadamente, con los datos que contemplen la situación real de diseño y operación, el resultado sería “riesgo tolerable” y no el indicado en el reporte DOC_3 UNLZ.

En cuanto al método “2) Res No338 SEN – Norma GRI 89/0242 (Gas Research Institute)”, el método “3) RSN TNO-1999” y el “4) Método ILO (International Labour Organization)” debieran ser denotados como procedimientos, o enfoques/guías de cálculo específicas, para diferenciarlos a los métodos integrales para la toma de decisiones aceptados formalmente para un análisis de riesgos, según el estado del arte. Además, se han detectado un conjunto de inconsistencias en el desarrollo de ambos métodos según lo detonado en el informe



de la UNLZ, por lo que las conclusiones que de su aplicación se derivan, resultan no aplicables a las instalaciones objeto de análisis y la operación de las mismas (ver, por ejemplo, las secciones III.3.1.8, III.3.1.9 y III.3.1.10).

Por último, según se desprende del informe presentado por la UNLZ (DOC_3 UNLZ), se introduce un enfoque híbrido para el cálculo del riesgo, que utiliza una matriz cualitativa empleando diferentes criterios establecidos en normativas/ procedimientos/ circulares de diversas fuentes. Esto implica que los resultados obtenidos deben ser analizados "a priori", muy cuidadosamente para la toma de decisiones. En efecto, y al respecto, (además de las razones explicadas acerca de la asignación de frecuencias y vulnerabilidades sobredimensionadas), en las secciones III.3.1.5, III.3.1.6, III.3.1.8, se indican diversos argumentos por los cuales las conclusiones reportadas en el informe DOC_3 UNLZ en cuanto a riesgos "no aceptables" no son válidas o aplicables para la toma de decisiones en el caso de la terminal portuaria Escobar, y su operación.

La principal discrepancia que se observa, al identificarse escenarios de riesgo no aceptables por parte del grupo de trabajo de la UNLZ, según se ha explicitado a lo largo de todo este trabajo, se debe al cálculo o estimación de las frecuencias y consecuencias. Se nota claramente, por ejemplo, que las frecuencias de los eventos accidentales son sustancialmente mayores a las utilizadas o aceptadas según el procedimiento de estimación concordante con estado del arte, no contemplando en general la dinámica o trayectoria del evento accidental, ni la cadena de probabilidades condicionadas asociadas. Se puede afirmar lo mismo en cuanto a la estimación de las consecuencias de los eventos simulados, y por ende la vulnerabilidad del entorno. En general no se utilizan herramientas de cálculo y datos específicos explícitos, reemplazándolos con datos o información genérica publicada en la literatura abierta. Esto da por resultado, según se ha mostrado en la sección III, la sobreestimación de los valores de riesgo, cualquiera sea el método utilizado para su cálculo.

Por otra parte, según se ha manifestado suficientemente a lo largo de este trabajo, en el informe reportado por el grupo de la UNLZ, no se contemplan detallada y realísticamente todas las capas independientes de protección ante un evento accidental, denominadas (IPL) o "Independent Protection Layers"; justamente utilizadas en el diseño -y exigidas por la normativa- para mitigar, reducir sustancialmente y eficazmente, tanto las frecuencias como la severidad de los eventos que posean potencial de escalamiento catastrófico. Esto es, lograr que



en primer lugar minimicen la probabilidad de ocurrencia y, en segundo lugar, si suceden; en su etapa final de la evolución del escenario accidental, el impacto, consecuencias o vulnerabilidad del entorno, minimice la probabilidad de producir daños mayores o catastróficos. Como se ha indicado en el Anexo II en un sentido general, la contemplación de las salvaguardas de diseño reduce fuertemente, y por cada capa independiente, en al menos un orden de magnitud a las frecuencias, y/o a la probabilidad de vulnerar al entorno, según sea la funcionalidad de la misma. En el anexo II se comenta, además, la relación general entre la construcción de los árboles de eventos, la asignación de frecuencias a cada etapa de la evolución que representan, y el diseño de los sistemas integrados de seguridad.

Otra cuestión importante, es la posibilidad de homologación de los resultados obtenidos. Esto es, la posibilidad de reproducirlos, visualizarlos y contrastarlos. No obstante, en el estudio presentado por (DOC_3 UNLZ) se observa como mínimo:

- No se hace referencia a la técnica de modelado o simulación de las consecuencias generadas por escenarios accidentales del tipo VCE, en los cuales la consideración acerca de “no confinamiento”, “confinamiento parcial” o “confinamiento total”, las condiciones meteorológicas, la masa involucrada, el modelo utilizado, entre otros factores; que resultan muy relevantes con respecto de los resultados de la estimación de la magnitud y el alcance de la sobrepresión resultante y, por lo tanto, de la vulnerabilidad del entorno.
- No se hace referencia a la técnica de modelado de la dinámica de propagación de las nubes inflamables de GNL luego de los distintos tipos de incidentes que se asume que provocan la fuga. No se presentan resultados parciales (según diversos escenarios meteorológicos, hipótesis asumidas, puntos de ignición, probabilidades asignadas, entre otros) utilizados para el cálculo. En otras palabras, no se presentan los correspondientes árboles de eventos con los datos asociados, para cada escenario considerado. Es sabido que la determinación de la frecuencia de ocurrencia de un evento final (VCE, BLEVE, etc) debe considerar, además de la frecuencia de los eventos iniciadores, las probabilidades asociadas a las Condiciones Habilitantes (Enabling Conditions o condiciones disparadoras/iniciadoras) y Modificadores Condicionales (Conditional Modifiers o sistemas de protección pasivos o activos por ejemplo); lo cual resulta

finalmente en la obtención de la frecuencia del evento que es objeto del estudio de riesgo (ver ejemplificativamente, y en un contexto general, Anexo II).

Dentro de este contexto, por un lado, todos los factores expuestos hacen que los resultados obtenidos por el grupo de la UNLZ sean difícilmente (imposibles) de homologar y reproducir, y por otro; a lo largo de este informe (en particular en la sección III), se ha demostrado extensamente la sobreestimación de las frecuencias y consecuencias/vulnerabilidades del entorno utilizadas. Luego, este solo hecho invalida los resultados obtenidos, entendidos como una base para la toma de decisiones en un Sistema de Gerenciamiento de Riesgos.

Por último, y con respecto a la necesidad de estimación del riesgo asociado a sistemas complejos como la terminal portuaria Escobar; para utilizar dichos resultados para la toma de decisiones, se ha destacado ya que, según el estado del arte, se deben utilizar métodos cuantitativos de estimación del riesgo apropiados. En este aspecto, si bien los resultados reportados por el grupo de trabajo de la UNLZ no se desprenden de herramientas de cálculo explicitadas en diversos casos – identificados/ reportados en la sección III de este informe; presentan semejanzas a otros resultados expuestos en trabajos reportados en la bibliografía. Debe remarcarse que, según ha sido detallado, las capacidades e inventarios transportados, las hipótesis de trabajo, entre otros considerandos utilizados en las publicaciones originales, hacen que no resulten un parámetro adecuado para emplearlos en el estudio de la terminal portuaria de Escobar, aquí objeto de análisis.

En definitiva, y a modo general, se puede concluir que los resultados obtenidos del “Análisis de Riesgos de la Terminal Portuaria para la regasificación de Gas Licuado de Petróleo GNL – Escobar UTE REPSOL/YPF/ENARSA”, en el estudio presentado por el grupo de trabajo de la UNLZ (DOC_3 UNLZ), no presenta validez, entendido esto en el contexto de la toma de decisiones en un sistema de gerenciamiento del riesgo. Las conclusiones obtenidas surgen de asignar frecuencias muy sobredimensionadas a los eventos iniciadores o los escenarios de accidentes mayores. Por otra parte, también están sobredimensionadas las consecuencias o la vulnerabilidad del entorno en escenarios accidentales relevantes. Además, no se han explicitado los métodos y datos utilizados para el cálculo, de manera tal de poder reproducirlos (homologabilidad). En los casos en que se ha podido reproducir/ inferir los



resultados presentados en el documento DOC_3 UNLZ; por ejemplo, en el índice Dow, o aplicando la metodología híbrida para evaluación del riesgo cualitativo utilizando la matriz de riesgos allí definida -entre otros puntos analizados en la sección III-, se demuestra que los valores de riesgo calculados están muy sobredimensionados. En efecto, todos los eventos accidentales que en DOC_3 UNLZ se rotulan como “no aceptables” siguiendo la misma metodología utilizada en DOC_3 UNLZ, pero con frecuencias y vulnerabilidades realistas, se evaluarían/ rotularían (en el peor caso), como “aceptable si ALARP”.

Nicolás J. Scenna
Ing. Químico
Dr. Ing. Química
Prof. Titular – Dedicación Exclusiva
CAIMI-UTN-FRRo



ANEXO I

Normativas Nacionales e Internacionales, lineamientos/guías, referencias a modelos.

La Secretaría de Energía de nuestro País establece las normativas y/o códigos internacionales que son de aplicación, a través del Régimen Regulatorio de la Industria y Comercialización de Gas Licuado de Petróleos -Resolución 338/2012- Condiciones para la localización de la Terminal Portuaria destinada a operaciones de Gas Natural Licuado y Requerimientos de Protección Ambiental [1]. En tal sentido, dicha Secretaría de Energía exige la realización de Estudios Cuantitativos de Riesgos, realizados a través de softwares específicos y con modelos validados, de aplicación para instalaciones que manejan fluidos inflamables, combustibles y/o tóxicos.

A continuación, se listan algunas de las principales normativas que han sido citadas en el conjunto básico de referencia. Sin embargo, es interesante comentar en este caso que no toda la documentación listada en este anexo está referida o se constituye sobre documentos que tienen entidad de ser referenciados como normativa de aplicación. De hecho, se incluyen documentos que no son de aplicación obligatoria a menos que lo establezca la autoridad local. Se enumera, además, bibliografía que hace referencia o describe modelos/ procedimientos para calcular/ estimar la magnitud de la radiación térmica, sobrepresión, impulso o concentración en función de la distancia desde donde se produce el fenómeno accidental/ evento respectivo, evaluar riesgos, etc.

- American Institute of Chemical Engineers, Dow Chemical Company, 1994. Dow's fire & explosion index: hazard classification guide. American Institute of Chemical Engineers, New York, N.Y.
- American Petroleum Institute, 2000. Risk-Based Inspection Base Resource Document (API Publication No. 581).
- BEVI, 2004. Decree on External Safety of Installations. Ministry of Housing, Physical Planning and Environment.
- Boletín Oficial del Estado - BOE, 2015. Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. Gobierno de España. Ministerio de la Presidencia.
- Comité de Seguridad Marítima, 2000. Adopción de Enmiendas al Código Internacional de Gestión de la Seguridad (IGS) (Resolución No. MSC.104(73)).



- DNV, 2013. QRA for Skangass LNG plant – Ferry bunkering project. Appendix E—PHA ST Risk Software Description. (Report No. 2013- 4091 / 17TLT29– 6. Rev. 1, 11.06.2013). Det Norske Veritas.
- Diario Oficial de la Unión Europea (L 197/1), 2012. Directiva 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas y por la que se modifica y ulteriormente deroga la Directiva 96/82/CE.
- Federal Energy Regulatory Commission, 2013. Recommended Parameters for Solid Flame Models for Land Based Liquefied Natural Gas Spills (Docket No. AD13-4– 000).
- Gas Research Institute, 1990a. LNG Vapor Dispersion Prediction with the DEGADIS Dense Gas Dispersion Model (Report No. GRI-89/0242). University of Arkansas, Chemical Engineering Department. Gas Research Institute.
- Gas Research Institute, 1990b. LNGFIRE: A Thermal Radiation Model for LNG Fires (Report No. GRI-89/0176). Gas Research Institute.
- Homeland U.S. Department Security, United States Coast Guard, 2011. Guidance Related to Waterfront Liquefied Natural Gas (LNG) Facilities (Navigation and Vessel Inspection Circular NVIC No. 01–2011).
- HSE Health and Safety Executive, 2001. Reducing risks, protecting people – HSE’s decisión making process, HSE Books.
- HSE Health and Safety Executive, 2009. Societal Risk: Initial briefing to Societal Risk Technical Advisory Group HSE RR703, HSE Books.
- HKPD, 2018. Hong Kong Planning Standards and Guidelines. Planning Department the Government of the Hong Kong Special Administrative Region. Ch. 12 “Miscellaneous.”
- ILO/UNEP/WHO International Programme on Chemical Safety, 1993. Major hazard control: A practical manual, International Labour Organization. ed.
- International Maritimal Organization (IMO), 2018. Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO Rule-Making Process (MSC No. MEPC.2/Circ.12/Rev.2).
- International Maritimal Organization (IMO), 2007a. FSA Liquefied Natural Gas (LNG) Carriers (MSC No. 83/21/1).
- International Maritimal Organization (IMO), 2007b. FSA – Liquefied Natural Gas (LNG) Carriers Details of the Formal Safety Assessment (MSC No. 83/INF.3).
- International Maritimal Organization (IMO), 2006. Report of the correspondence group submitted by the Netherlands. Formal Safety Assessment. (Report No. MSC 81/18).



- International Maritime Organization (IMO), 2005. Consideration of the establishment of a group of experts on FSA. Formal Safety Assessment. (MSC No. 80/7).
- International Maritime Organization (IMO), 2004. Expert concordance. Submitted by the International Association of Classification Societies (IACS) (MSC No. 78/19/3).
- International Maritime Organization (IMO), 2002. Guidelines For Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO Rule-Making Process (MSC/Circ. No. 1023).
- Ivings, M.J., Jagger, S.F., Lea, C.J., Webber, D.M., 2016. Evaluating vapor dispersion models for safety analysis of LNG facilities (Report No. FPRF-2016-26), 2nd edition. Fire Protection Research Foundation.
- Organización Marítima Internacional OMI, 2004. Código internacional para la protección de los buques y de las instalaciones portuarias (PBIP) - International Ship and Port Facility Security (ISPS).
- Organización Marítima Internacional OMI, 1993. Código Internacional de Gestión de la Seguridad del Buque y la Prevención de la Contaminación IGS (Resolución No. A.741 (18)).
- PCD, 2007. Guidelines for Quantitative Risk Assessment (QRA) Study (Pollution Control Department). Singapore.
- Malaysia, 2004. Environmental Impact Assessment Guidelines for Risk Assessment. Ministry of Natural Resources and Environment, Malaysia.
- Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA) DOT, 2010. Liquefied Natural Gas Facilities: Obtaining Approval of Alternative Vapor-Gas Dispersion Models (Docket No. PHMSA-2010-0226).
- RE-338-2012-SE, 2012. Condiciones para la localización de la Terminal Portuaria destinada a operaciones de Gas Natural Licuado y requerimientos de Protección ambiental (Resolución No. RE-338-2012-SE). Secretaría de Energía, Argentina.
- RIVM, 2009. Reference Manual Bevi Risk Assessments. Introduction. Versión 3.2.
- Standard for the production, storage, and handling of liquefied natural gas (LNG) (No. NPFA 59A), 2019.
- Stewart, J.R., Coldrick, S., Lea, C.J., Gant, S.E., Ivings, M.J., 2016. Validation Database for Evaluating Vapor Dispersion Models for Safety Analysis of LNG Facilities Guide to the LNG Model (Report No. FPRF-2016-26). Fire Protection Research Foundation.
- The Withe House, 1950. Regulations Relating to the Safeguarding of Vessels, Harbors, Ports, and Waterfront Facilities of the United States (Executive Order EO No. 10173).
- TNO, 2005a. Guidelines for quantitative risk assesment - Purple book (CPR 18E). Publication Series on Dangerous Substances (PGS 3), HSE Books.



- TNO, 2005b. Methods for the calculation of physical effects – due to releases of hazardous materials (liquids and gases) – Yellow Book (CPR 14E). HSE Books.
- TNO, 1992. Methods for determining posible damage (PGS 1) - Green book (CPR 16E). HSE Books.
- TNO, 1979. Methods for the calculation of physical effects – due to releases of hazardous materials (liquids and gases) – Yellow Book (CPR 14E). HSE Books.
- United State Code USC, 2002. 46 U.S. Code Chapter 701— Port Security (Maritime Transportation Security Act).
- United States Code, 2006 Edition, Supplement 5, Title 33 - Navigation and Navigable Waters (No. 33 USC Section 1221), 2011.
- United States Code, 2006 Edition, Supplement 5, Title 50 - Regulations of anchorage and movements of vessels during national emergency (No. 50 USC 191), 2012.

Nicolás J. Scenna
Ing. Químico
Dr. Ing. Química
Prof. Titular – Dedicación Exclusiva
CAIMI-UTN-FRRo



ANEXO II

Definiciones Básicas, Métodos de Análisis de Riesgos

Métodos Cualitativos y Cuantitativos para el Análisis de Riesgos

En primer lugar, se presentan un conjunto de Definiciones Básicas, que son relevantes para comprender el contexto y ciertos aspectos del estado del arte en el campo del análisis de riesgos de sistemas industriales. Algunas están extraídas de la bibliografía, otras de los propios documentos que conforman el conjunto de referencia.

1 Suceso o Evento Inicial

Situación de origen interna o externa, de tipo anómala, falla, desviación respecto de lo deseado o asumido en el diseño, capaz de desencadenar el desarrollo de un evento.

2 Sucesos o caminos/modos de propagación/desarrollo del evento accidental

Son aquellos que se desarrollan en forma secuencial y cronológica a partir del suceso o evento iniciador/inicial, hasta desencadenar el evento final.

3 Evento Final (escenario potencial según el camino o desarrollo del evento inicial incidental)

Situación fuera de control, con potencial (o no) para producir daños a las personas, el medio ambiente, los bienes físicos y la producción.

4 Árbol de sucesos y eventos

Metodología o Técnica lógica (del tipo deductiva/inductiva que permite interpretar y describir en forma cualitativa, la respuesta/desarrollo/propagación de un sistema técnico a partir de un determinado suceso inicial.

5 Incendio

Existen distintos tipos, que son más o menos probables según sea la sustancia y las condiciones del incendio.

5.1 *Jet Fire (chorro de fuego)*

Es un tipo de incendio provocado por la ignición de una fuga de una sustancia inflamable en estado líquido o gaseoso, que se descarga bajo presión desde una cañería o equipo de proceso, caracterizada por una relación longitud/diámetro elevada. La forma y la posición de las llamas están determinadas principalmente por la velocidad de la fuga [28].

Efectos que produce: Radiación (kW/m^2).

5.2 *Pool Fire (Incendio de un charco líquido con o sin endicamiento).*

En el caso industrial los endicamientos de contención son generalmente rectangulares y en este caso suele denominarse incendio de trinchera).

Es la combustión de un charco de líquido inflamable de un tamaño y forma determinados por la presencia de un endicamiento o pendiente del terreno. La combustión suele ser incompleta caracterizándose por la emisión de grandes cantidades de humo negro [28].

Efectos que produce: Radiación (kW/m^2).

5.3 *Flash Fire (fogonazo)*

Es un incendio repentino e intenso con propagación de llamas a través de la mezcla aire/sustancia inflamable (vapor o gas). Está asociado con la dispersión atmosférica de dicha sustancia en determinadas condiciones meteorológicas [28].

Efectos que produce: Radiación (kW/m^2).

6 *Explosión*

CCPS [29] define de forma concisa a la explosión como una violenta liberación de energía que se traduce en onda expansiva. Casal (2008) [28] explica que este tipo de fenómeno tiene lugar cuando ocurre un incremento instantáneo de volumen debido a la expansión de gas o vapor presurizado o una súbita vaporización de líquido sobrecalentado (explosiones

mecánicas) o una reacción fuera de control. Si la sustancia en cuestión es inflamable y encuentra una fuente de ignición se produce una envolvente de fuego.

Efectos que produce: Sobrepresión (bar) y/o Radiación (kW/m²).

7 *BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)*

Es el resultado de la falla de un recipiente que contiene un líquido a una temperatura muy superior a su temperatura normal de ebullición [38]. En el momento en que la falla ocurre, las fases coexistentes se exponen a una presión muy inferior (presión atmosférica) en comparación a la presión inmediatamente previa a la explosión (presión de falla), causando la expansión del vapor y una súbita vaporización del líquido, que en ese instante se encuentra sobrecalentado. La energía liberada en esta expansión se subdivide en varios sucesos: ruptura del recipiente, transferencia de energía cinética a los fragmentos eyectados y generación de una onda expansiva de sobrepresión [39]. Inmediatamente posterior a la BLEVE, si la sustancia en cuestión es inflamable, existe la posibilidad de ocurrencia de una bola de fuego, y con ello la aparición de un campo de radiación térmica.

La ocurrencia de este tipo de explosiones por sus características (liberación de una sustancia que se encuentra a una presión muy superior a la atmosférica) está asociada mayoritariamente a la exposición del recipiente a calentamiento por fuego primario durante un tiempo suficiente para causar el debilitamiento de su carcasa y la elevación de la presión interna hasta el punto de su ruptura.

Efectos que produce: Sobrepresión (bar) y/o Radiación (kW/m²).

8 *VCE (Vapour cloud explosion)*

Explosión química que involucra una cantidad significativa de sustancia inflamable (vapor o gas) que se encuentra presente en la atmósfera como consecuencia de una fuga. Mayoritariamente este tipo de explosiones está acompañado por un "flash fire" y la severidad de los efectos mecánicos (sobrepresión) está asociada no solo a la cantidad de masa involucrada sino también de las características del lugar donde acontece: espacio confinado, semi-confinado o no confinado [28].

Efectos que produce: Sobrepresión (bar) y/o Radiación (kW/m²).

9 *Boilover*

Este fenómeno ocurre en tanques que contienen mezclas de diversos hidrocarburos. Al producirse el incendio de dichos tanques, la capa superficial de hidrocarburo entra en ebullición, experimentando un proceso de destilación: los componentes más volátiles son los que pasan preferentemente a vapor, alimentando la llama. De esta forma, al irse enriqueciendo en los componentes más pesados (de mayor temperatura de ebullición) esta capa superficial va aumentando de temperatura. Así se produce una “onda de calor” que se propaga hacia la parte inferior del tanque. Si el mismo contiene agua, esta ola de calor provocará una fuerte vaporización del agua, generando una violenta erupción, con la formación de una bola de fuego y la proyección del combustible hacia el exterior.

Efectos que produce: Radiación (kW/m^2)

10 *Dispersión de nube inflamable o tóxica*

Se origina a partir de una pérdida o derrame de una sustancia inflamable o tóxica (gaseosa o líquida).

Efectos que produce: Concentración explosiva o tóxica (ppm).

11 *Análisis de Consecuencias*

En general, las estimaciones correspondientes a un Análisis de Consecuencias se realizan mediante simulación por medio de software, ya que resultan de cálculos de extrema complejidad. Por ejemplo, el alcance de los efectos que se pueden derivar de una pérdida de contención (LOC- Loss Of Containment), tales como rotura de cañería, bridas, equipos de proceso, rebalse de tanques, etc. También se consideran otras fallas que originan eventos de gran magnitud o catastróficos, como incendio en tanques, recintos y/o BLEVE de equipos presurizados con gas licuado.

El Análisis de Consecuencias tiene por objeto determinar las distancias a las cuales se dan ciertos valores de las consecuencias/efectos negativos dado un incidente/escenario accidental. Estos resultados se utilizan para:

- Determinar la posibilidad de daños a equipos o edificios de planta.



- Evaluar las distancias seguras para definir el layout de planta.
- Evaluar la posibilidad del efecto dominó.
- Las consecuencias dentro de la instalación y sobre los alrededores.

12 Simulación de los efectos

La simulación de los efectos consiste en calcular la magnitud de la radiación térmica, sobrepresión, impulso o concentración en función de la distancia desde donde se produce el fenómeno accidental / evento respectivo.

Existen diversas herramientas ampliamente difundidas y de uso común (estado del arte) para efectuar la simulación de los distintos escenarios/hipótesis accidentales propuestas como ser software de la EPA (ALOHA – CAMEO), el software PHAST ® 6.7 de la firma DNV, software confeccionado a partir de las guías TNO (EFFECTS) entre otros.

En general, en todos los casos se requieren datos de entrada (según sea el evento a simular) tales como las variables de operación (presión, temperatura y sustancia involucrada), inventarios (volúmenes de los equipos/tanques de almacenamiento, entre otros), la definición de los tamaños de agujeros y condiciones de fugas para el cálculo de los caudales de fugas, condiciones meteorológicas del lugar, entre muchos otros. Esto permite establecer los daños sobre las instalaciones y las personas expuestas, al brindar como salidas / resultados las características de los efectos de los escenarios accidentales (masa explosiva, altura e inclinación de llama, concentración tóxica, etc.) y finalmente los campos (en forma de tablas o mediante la utilización de gráficos y curvas) de radiación, concentración y sobrepresión.

13 Vulnerabilidad del Entorno.

Para estimar los daños sobre la infraestructura, los equipos, las personas y el medio/ entorno en general, existe software para la simulación de los daños. Estos dependen de la magnitud de los efectos (campo de sobrepresiones, radiación, concentración de tóxicos), que dependen de la distancia desde el punto/área en la cual se origina /desarrolla el evento accidental.

De acuerdo al tipo de receptor e intensidad de daño considerada (muerte, daños estructurales leves/importantes/graves, daño mínimo/grave/colapso de equipo), es necesario relacionar los valores de sobrepresión/radiación/concentración (contemplando en este último

caso el factor humano solamente) en función del criterio de vulnerabilidad adoptado. Existen diversas formas de establecer niveles de daño; por medio del método PROBIT, por recopilación de datos históricos y/o contemplar los valores umbrales establecidos por diversas normativas.

El método PROBIT (PROBability unIT) propuesto por Finney (1971) [40], método ampliamente utilizado, se basa en la proposición de una distribución logarítmico-normal para describir el comportamiento estadístico de una población conformada por receptores (personas, equipos y estructuras) expuestos a las consecuencias de un accidente (sobrepresión, radiación térmica, impacto de fragmentos y/o concentración de tóxicos en el aire) en un lapso de tiempo dado (contemplado para radiación térmica y concentración de tóxico). Las ecuaciones empleadas en esta metodología se obtuvieron por medio del ajuste de datos históricos de accidentes.

A modo de ejemplo, en la Tabla 15 se presentan los criterios de daño por sobrepresión para las hipótesis accidentales de explosiones de nubes de vapor especificados en la norma NFPA 59A.

Tabla 15–Anexo II. Criterios de daños por explosión [41, Cap. 19]

Sobrepresión (psi)	Sobrepresión (bar)	Consecuencia
3,0	0,21	Fatalidad de personas ubicadas en el exterior
1,0	0,07	Daños irreversibles en personas ubicadas en el exterior
1,0	0,07	Daños irreversibles y fatalidades en personas ubicadas en el interior de un edificio que no es resistente a explosiones

Para el análisis de los efectos tóxicos en eventos accidentales, se comparan los resultados obtenidos en la simulación con valores de referencia establecidos por organismos reconocidos internacionalmente, los cuales fijan criterios válidos para la actuación ante emergencias. Dichos valores se encuentran publicados y son válidos para tiempos de exposición determinados. Los más empleados son los siguientes:

- *Índices AEGL: Acute Exposure Guideline Levels – Niveles Guía para Exposición Aguda.*

Los índices AEGL son establecidos por la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (EPA – Environmental Protection Agency) y son utilizados como guía en el caso de liberaciones accidentales de sustancias químicas en el aire. Se expresan como



concentraciones específicas de la sustancia en el aire a las cuales podrían ocurrir efectos nocivos en la salud. Están diseñados para proteger a las personas mayores y a los niños, y a otros individuos que podrían ser susceptibles (por ejemplo, personas con asma u otras dolencias). Sin embargo, se reconoce que podrían existir algunos casos de personas hipersensibles que podrían sufrir efectos a concentraciones menores que las establecidas en estos índices.

- *Índices ERPG: Emergency Response Planning Guidelines – Guía para el Planeamiento de Respuesta ante Emergencias.* Con respecto a la dispersión de tóxicos, no solamente es necesario considerar la concentración en función de la distancia y el tiempo de exposición sino también los efectos de las condiciones meteorológicas al momento de la fuga, siendo la velocidad y la dirección del viento de importancia dado que en función de esto la pluma puede serpentear de lado a lado, reduciendo la concentración experimentada en un punto dado, a valores por debajo de la concentración completa que se obtendría en la línea central si esto no ocurriera.

Los índices considerados para determinar los niveles de vulnerabilidad, dadas las características operacionales, la ubicación y el personal que concurre a la Planta bajo estudio son valores desarrollados por la Asociación de Higiene Industrial de los EE.UU. (AIHA - American Industrial Hygiene Association) a los efectos de asistir al personal de respuesta ante emergencias en el planeamiento de liberación catastrófica de productos químicos a la atmósfera, ya sea por eventos accidentales o intencionales, en particular para aquellos productos que tienen elevado potencial para fugas no controladas, y aquellos que constituyen peligros particulares por su volatilidad y toxicidad. Se divide en tres niveles:

ERPG 1 -Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora experimentando sólo efectos adversos ligeros y transitorios o percibiendo un olor claramente definido.

ERPG 2 -Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos serios o irreversibles o síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.

ERPG 3- Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos que amenacen su vida. No obstante, pueden sufrir efectos serios o irreversibles y síntomas que impidan la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.

- *Índices IDLH: Immediately Dangerous to Life and Health – Daño inmediato para la vida o la salud.*

Los índices IDLH fueron desarrollados por el Instituto Nacional para la Seguridad y la Salud Ocupacional de los EE.UU. (NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health), para los casos en que la exposición de un individuo ante un determinado contaminante tóxico puede derivar en la muerte, generar efectos permanentes en la salud o impedir el escape de dicho individuo hacia una zona segura.

IDLH: Máxima concentración en aire por encima de la cual se debe emplear un aparato de IDLH -respiración autónoma- que brinde la máxima protección al trabajador. Valor basado en un tiempo de exposición de 30 minutos. El valor de cada índice dependerá de la sustancia tóxica presente en cada instalación.

14 Evaluación de Riesgos

Para cada evento accidental que potencialmente pueda ocurrir, se realiza el cálculo del producto de la frecuencia estimada de ocurrencia por el valor de la severidad de los daños que su desarrollo pueda producir.

La probabilidad de ocurrencia se determina en general en base a las tasas de fallas obtenidas de registros o bancos de datos debidamente referenciados, tales como:

- Registros locales, regionales o internacionales de la compañía.
- Bancos de datos de compañías de similar actividad.
- Bancos de datos específicos.
- Bancos de datos bibliográficos/reservorios digitales que incluyan información extraída de diversos orígenes.

La severidad se obtiene, como se expuso más arriba, utilizando simulación mediante software específico para los diferentes eventos considerados.



- Métodos Cuantitativos para la Evaluación del Riesgo
- Riesgo Individual

Como resultado del Análisis Cuantitativo de Riesgos de las instalaciones, se determina en general:

- Riesgo Individual (presentado como Curvas de Iso-Riesgo)
- Riesgo Social (presentado como Curvas FN)

Para la evaluación de los resultados se utilizan valores umbrales de referencia, por ejemplo, los umbrales establecidos por el Health and Safety Executive (HSE) [42] del Reino Unido. Cada empresa, además, en función del Sistema de Gerenciamiento del Riesgo, puede asumir valores umbrales específicos, por ejemplo el caso de la empresa YPF, en su norma corporativa YPF 10065-PR-370400-100M Gestión del riesgo de seguridad y medioambiente en activos industriales.

En general, la evaluación de riesgos es una tarea compleja, en cualquier caso. A continuación, se resumen someramente distintos aspectos, conceptos y la mecánica de cálculo para la determinación de las curvas de riesgo características, según el estado del arte.

14.1 Riesgo Individual

Las curvas de iso-riesgo individual, indican los niveles de riesgo individual de una persona hipotética que estuviese presente todo el tiempo (24 horas al día, 365 días al año) en una dada localización puntual. Por esta razón también se conoce a la curva de iso-riesgo individual como la de “riesgo geográfico”.

En general se suele diferenciar a las personas que están dentro de “viviendas típicas” todo el día, o bien están al aire libre todo el tiempo. En estos casos se refleja el riesgo al cual están sometidos tanto los pobladores en el vecindario como las personas en tránsito o que se desempeñan al aire libre. El criterio también es válido para aplicarlo dentro de la planta. En todos los casos, los valores umbrales, y los tiempos de exposición varían según el tipo de exposición (voluntaria, involuntaria, entre otros aspectos).

- *Obtención del Riesgo Individual en un punto*



Para el cálculo del riesgo en distintos sectores dentro las instalaciones en estudio, en general el software de simulación, en función de los datos que se ingresan por el usuario (por ejemplo: EFFECTS, PHAST RISK MICRO ® Versión 6.7 de la firma DNV entre otros reconocidos internacionalmente), define una grilla sobre el plano, compuesta por celdas de un determinado tamaño, y calcula el riesgo correspondiente al centro de cada una de estas celdas.

Para el cálculo (la estimación) del riesgo individual, se debe disponer al menos de los siguientes datos:

Frecuencia de ocurrencia del escenario accidental (evento inicial -ejemplo de pérdida de contenido por fuga-) y de los demás eventos que conforman el escenario considerado, esto es, la dinámica de la falla. Ejemplo: ante un evento inicial de fuga de contenido (gas tóxico e inflamable), existe difusión (depende de si existe endicamiento y su tipo, clase de sustancia, entre otros), y por lo tanto se forma un campo de concentraciones en el espacio circundante (nube). Su forma, tamaño, dirección hacia la cual difunde, velocidad y alcance, entre otros, depende de las condiciones atmosféricas (dirección y velocidad del viento, estabilidad atmosférica, temperatura, humedad, entre otros). En este conjunto de posibles manifestaciones o escenarios que se definen a través del desarrollo del evento accidental analizado, las consecuencias a analizar son concentración del tóxico y principalmente el efecto sobre los trabajadores y los pobladores en el entorno de la terminal portuaria. Además, en algún momento puede (o no suceder la ignición), durante el desarrollo del evento accidental. Esto depende de la existencia de fuentes de ignición, como ser puntos calientes -motores funcionando, chimeneas, cargas estáticas o de otro tipo, entre una larga lista de factores. De no darse, la nube se diluye sin consecuencias relevantes desde el punto de vista aquí considerado. De acontecer, se pueden producir explosiones de vapor confinadas, no confinadas, o parcialmente confinadas, fogonazo (flash fire), chorro de fuego (jet fire), entre otros escenarios. Nuevamente, la probabilidad asociada a cada potencial manifestación o evolución de la falla depende de las características del entorno, de las variables atmosféricas arriba mencionadas, entre otras. En particular, debe notarse que el tiempo en que la ignición pudiese ocurrir, puede provocar distintas manifestaciones en el desarrollo accidental, por ejemplo el *jet fire* ocurre inmediatamente al momento de la fuga (en presencia de una fuente de ignición), mientras que la masa y forma de cobertura del entorno, la presencia o no de condiciones explosivas



(concentraciones entre el límite superior e inferior de explosividad), depende directamente del momento de la ignición.

En conclusión, este tipo, y cualquier otro desarrollo de los eventos accidentales iniciadores, depende fuertemente (dada la o las sustancias involucradas) del diseño del sistema, de las condiciones de operación, de variables atmosféricas, tipo de entorno, entre otras, todas variables estocásticas.

Por otra parte, calculadas las intensidades en función de la distancia en cualquier dirección del espacio (campo en el sentido matemático), se debe estimar la vulnerabilidad del entorno infraestructura, personas, equipamiento, otros). En todos los casos, existe una probabilidad asociada, ya que la dosis, el tiempo de exposición, no provoca en cada persona el mismo efecto. Solo se conoce, a partir de datos experimentales, la respuesta "promedio" de la población en general. Luego, existirán distintas expresiones funcionales, con parámetros ajustados a cada tipo de sustancias, tipo de manifestaciones, y características de los receptores):

- Probabilidad de muerte (o daños a la salud de diverso tipo) debida a cada escenario de riesgo evaluado.
- Probabilidad de destrucción parcial o total, de estructuras de hormigón debida a cada escenario de riesgo evaluado.
- Probabilidad de destrucción parcial o total, de equipos (operando a presión o no, de diversos materiales, entre otras variables) debida a cada escenario de riesgo evaluado. Esto es importante ya que el daño a equipos puede provocar otros eventos de fuga y, por lo tanto, nuevos escenarios accidentales en cadena (efecto dominó).

Los dos últimos puntos han sido añadidos para remarcar que el procedimiento es el mismo, tanto para la estimación del daño a personas, como a infraestructura de distinto tipo. Solo es un problema de disponer de datos y modelos/software apropiados. En general, tanto para daño a las personas como a la infraestructura, el modelo ampliamente utilizado es el de las funciones PROBIT.

Como se ha mencionado, se define el Riesgo como el producto de la frecuencia de ocurrencia de los eventos accidentales por sus consecuencias medidas en unidades homogéneas. En general, para el caso de la obtención de las curvas de isoriesgo, se define en el espacio circundante al punto de manifestación de la falla, un conjunto de celdas



(generalmente cuadrículas), a los efectos de calcular el riesgo asociado en cada punto (coordenadas de cada centro de cuadrícula). La grilla debe ser lo suficientemente fina como para lograr contornos adecuados de las curvas, por lo que se comprende el esfuerzo de cálculo asociado.

Para representar adecuadamente se obtiene el valor de riesgo en el punto central de cada celda, originado por un escenario de riesgo, y para un clima determinado (combinación de estabilidad atmosférica y velocidad del viento, que tiene asociada una frecuencia para cada dirección), con la siguiente ecuación:

$$R_{Ind}(x, y) = \sum F_i \times PM_i$$

en donde R_{Ind} representa el Riesgo Individual en el punto (x, y) , con el subíndice i que expande de 1 a N , siendo N el número de escenarios posibles de manifestación del evento accidental. Luego, cada valor i se refiere a cada una de las manifestaciones potenciales que puedan darse (escenarios posibles, con una frecuencia F_i y con consecuencias asociadas PM_i -para riesgo individual, probabilidad de muerte-).

A los efectos de facilitar la representación de los distintos escenarios, y para ordenar el cálculo correspondiente, se utilizan árboles de eventos, en los cuales se muestra un diagrama lógico de los potenciales escenarios de propagación, dado un evento iniciador (por ejemplo, fuga de un recipiente). Además, se indican las frecuencias asociadas a cada uno de los posibles escenarios, lo cual facilita el cálculo y la visibilidad de todas las frecuencias y asociadas a cada escenario. Como se expresara más arriba, para cada uno de los escenarios, se utiliza software para calcular el campo de sobrepresiones, radiaciones, concentraciones, según sea el caso. Ello permite para cada punto (x, y) del espacio asociar los valores correspondientes. Estos deben ser utilizados para calcular la probabilidad de muerte (o daños a infraestructura, de diverso tipo) mediante las funciones PROBIT. Por último, para cada punto (x,y) se acumula el valor del riesgo total, según la expresión arriba indicada.

- *Árboles de Eventos*

A continuación, se detalla someramente y a modo de ejemplo, el desarrollo de árboles de eventos, los cuales están asociados a cada evento accidental considerado en los análisis de

riesgos de procesos o sistemas de todo tipo, detallando los correspondientes escenarios o manifestaciones potenciales para el desarrollo de los mismos.

En la Fig. 3, se muestra a modo de ejemplo, un ejemplo típico de un árbol de eventos asociado a un evento inicial o iniciador (fuga) de una sustancia inflamable. En este caso, se toma un ejemplo de los que se han utilizado en el documento perteneciente al conjunto de referencia DOC_2 Solano, en el cual se adopta la siguiente nomenclatura: partiendo del suceso inicial (SIC) y considerando los sucesos intermedios (SIT), el árbol describe las diferentes secuencias que conducen a los posibles eventos finales (EF). Dicho árbol permitirá establecer los eventos finales que puedan ocurrir a partir de una pérdida de gas o líquido ya sean sólo inflamables, o inflamables y tóxicos (entre otras muchas posibilidades), con el fin de simular los mismos mediante software dedicado (PHAST RISK MICRO ® Versión 6.7 de la firma DNV, ALOHA de la EPA), cuantificando de este modo los daños de explosión e incendio sobre las personas, instalaciones, equipos y/o edificios y/o infraestructura en general.

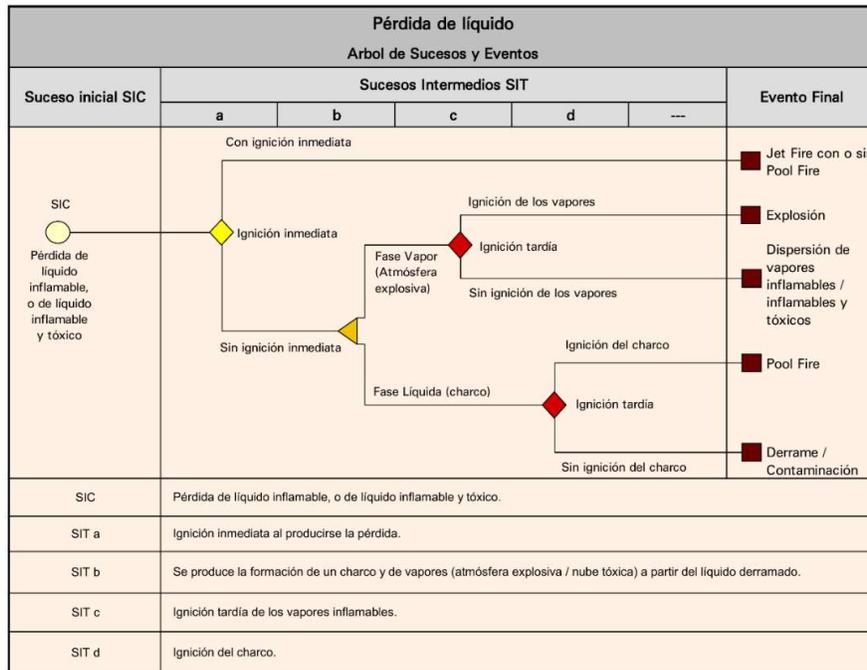


Fig. 3–Anexo II. Árboles de Sucesos y Eventos Simplificados (Pág. 57, DOC_2 Solano)

- *Criterios para considerar los valores de Riesgo. Niveles de Referencia del Riesgo Individual*

En todo estudio de Análisis de Riesgos, luego de proceder a los cálculos y la estimación del mismo en la zona vulnerable, deben definirse los Niveles de Referencia del Riesgo Individual adoptados. Existen distintos criterios y en general existen normativas o “usos según el estado del arte” que pueden tomarse como referencia.

En general, se define un “umbral máximo de riesgo”, o nivel por encima del cual el riesgo se considera como inaceptable, un umbral mínimo, nivel por debajo del cual el riesgo se considera como tolerable, y un Intervalo medio, comprendido entre ambas regiones, en el cual el riesgo se define como riesgo ALARP, o en la zona ALARP (As Low As Reasonably Practicable).

En los trabajos DOC_1 LL R y DOC_2 Solano del conjunto de referencia, por ejemplo, se han adoptado los criterios establecidos por el HSE (Health and Safety Executive); que pueden vislumbrarse claramente según la Fig. 4 que se muestra a continuación:

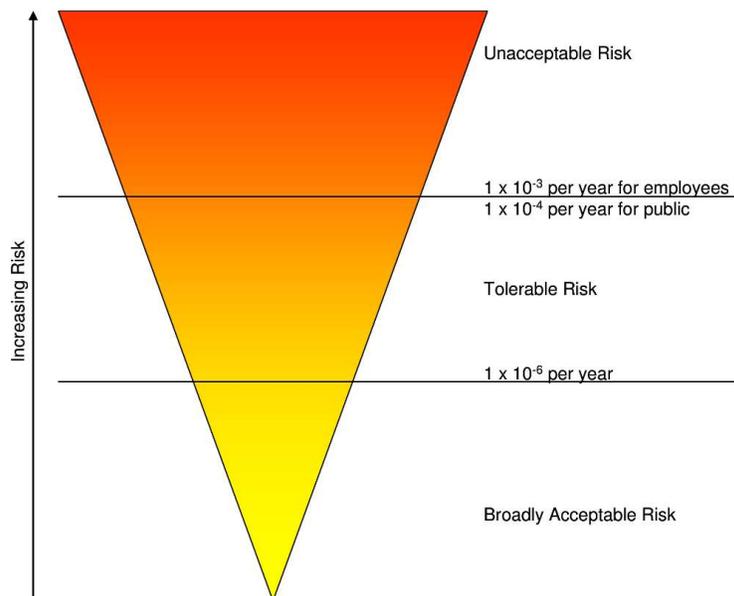


Fig. 4–Anexo II. Umbrales para el Riesgo Individual definidos por el HSE (Pág. 12, DOC_1 LL R)

Como se puede observar en la figura anterior se definen tres zonas de riesgo, la superior indica la zona (demarcada por los valores de riesgo individual allí indicados) en la cual el riesgo



es considerado *inaceptable*. En esta zona se espera la adopción de medidas inmediatas para reducir el riesgo o cualquier actividad, de lo contrario deberá ser suspendida. *Debe remarcar que se refiere a valores de Riesgo Individual, y no a valores de Frecuencias o Vulnerabilidad, solamente. O sea, no se refiere a valores de frecuencia o vulnerabilidad, en forma independiente, ya que el riesgo es el producto, es decir, la ponderación entre ambas magnitudes simultáneamente.*

En la parte inferior de la figura se encuentra la zona donde el riesgo es ampliamente tolerable o ampliamente aceptable. Por otra parte, en la parte media se encuentra la zona ALARP. Se entiende que, en esta zona, el riesgo debe reducirse a un nivel tan bajo como sea posible o practicable. Es, en otros términos, un nivel de riesgo a partir del cual, determinado en forma objetiva, el tiempo, la dificultad y el costo de mayores medidas de reducción se vuelven irrazonablemente desproporcionados en relación con la reducción del riesgo obtenido. Luego, solo puede considerarse el riesgo como tolerable; siempre y cuando se tomen medidas para que, en primer lugar, no lo aumenten, y en segundo lugar, y mediante un programa establecido según el sistema de gerenciamiento del riesgo, el mismo se reduzca al nivel más bajo posible, teniendo en cuenta, según lo expresado más arriba, el balance entre los esfuerzos necesarios para lograrlo, y el beneficio marginal que se obtiene en la reducción concreta del valor del riesgo, teniendo en cuenta además, el riesgo integral de la planta/sistema bajo análisis.

En la Tabla 16 se indican los valores determinados por el Ejecutivo de Seguridad y Salud (HSE). Debe notarse que los valores correspondientes a las fronteras que demarcan las distintas regiones están expresados como riesgo individual por año (Individual Risk per Annum -IRPA-), considerando que los individuos permanecen una proporción de su tiempo “puertas adentro” y “puertas afuera” entre otros considerandos.

Nótese además, que en la tabla se diferencia entre “empleados” que toman por su actividad un riesgo “voluntario”, y el “público”, que por el contrario, lo toma involuntariamente.

Tabla 16–Anexo II. Criterios de riesgo individual definidos por el HSE (Pág. 13, DOC_1 LL R)

Level	Individual Risk to an Employee (per year)	Individual Risk to Member of the Public (per year)
Unacceptable	Greater than 1 in 1000 (10^{-3})	Greater than 1 on 10,000 (10^{-4})
Broadly Acceptable	No greater than 1 in 1,000,000 (10^{-6})	No greater than 1 in 1,000,000 (10^{-6})

14.2 Riesgo Social. Diagramas FN.

El Riesgo Social se representa generalmente en forma de diagramas FN. Se grafica la frecuencia anual (F) (respecto a exceder N víctimas como consecuencia del escenario accidental considerado) en función del número (N), total de víctimas estimado. Es lógico esperar que la curva sea decreciente, en el sentido que la frecuencia esperada de suceder al menos N fatalidades, decrezca a medida que se incremente el número N.

Un diagrama FN es útil para analizar visualmente los riesgos asociados ante cada escenario accidental, y el total de los mismos asociados a una determinada instalación industrial. Al igual que para el riesgo individual, existen criterios para la consideración o evaluación de los valores obtenidos.

Las curvas FN se construyen a partir de la combinación de frecuencias de los accidentes y de sus correspondientes fatalidades asociadas, también llamados “pares FN”. Esta información se grafica en forma de frecuencia acumulada.

- *Criterios para considerar los valores de Riesgo. Niveles de Referencia del Riesgo Social.*

En el documento DOC_2 Solano, se expresa “*de acuerdo con los lineamientos del HSE, indicados en el párrafo 136 del documento R2P2, el riesgo de un único evento generado la muerte de 50 personas o más deberá considerarse intolerable si la frecuencia estimada es mayor a 1 en 5000 en un año*”. En base a lo mencionado, se puede asumir que el límite de la zona donde el riesgo es tolerable se establecerá dos órdenes por debajo del valor de 1 en 5000 anual. De forma análoga, el límite en el cual el valor del riesgo social se considera inaceptable para el personal que trabaja en el establecimiento, se establecerá un orden por encima. Los valores mencionados anteriormente pueden observarse en las líneas que se muestran en la Fig. 5.

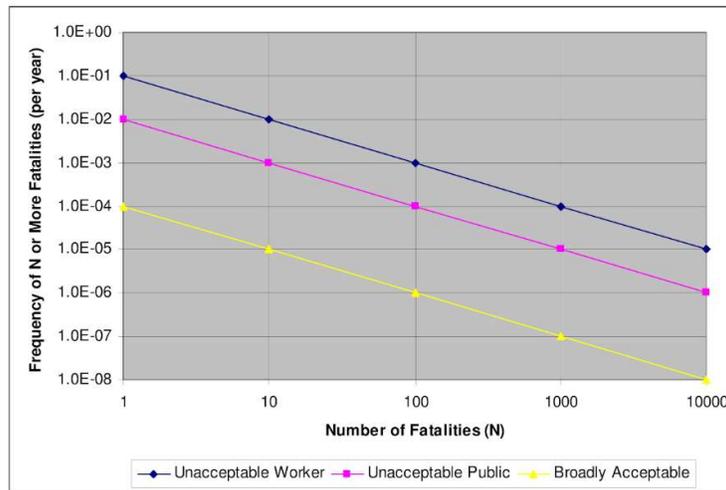


Fig. 5–Anexo II. Límites Demarcatorios para el Riesgo Social (Pag. 14, Doc_1 LL R)

14.3 Métodos Cualitativos para el Análisis de Riesgos

Los métodos cualitativos se basan en la construcción de matrices de riesgo, las cuales simplifican el cálculo introduciendo una nueva métrica, más sencilla, que se logra al discretizar el espacio continuo de valores numéricos de las frecuencias y el valor de vulnerabilidad del entorno, en regiones discretas, en general desde un mínimo de tres hasta un máximo de seis o eventualmente siete regiones, las cuales se rotulan según una escala “con significados o interpretación semántica -lingüística- fácilmente interpretable. Es por ello que también se denominan a estos métodos como semi-cuantitativos, o escalas de valoración cuali-cuantitativas. Como contrapartida de estas cualidades o ventajas, se utilizan muy poco para la toma de decisiones en etapas finales de un proyecto, esto es, la construcción de la planta, y la puesta en marcha y operación de la misma. En estos casos, y dada la complejidad de los procesos químicos o de otra índole, y en particular el que aquí se analiza, son ampliamente utilizados los métodos rigurosos (cuantitativos) de análisis de riesgos, someramente detallados en el apartado anterior.

Los métodos cualitativos, en general, recurren a la discretización de los intervalos numéricos de valores de frecuencia de ocurrencia de los eventos accidentales, y de los valores cuantitativos de vulnerabilidad del entorno (por ejemplo, probabilidad de fatalidad o muerte, o de rotura total de una construcción). Esta escala también puede utilizarse respecto de otros

aspectos o unidades de medida. Por ejemplo, valor monetario o costo, imagen de la empresa, entre otros.

A modo de ejemplo, se toma para clarificación de lo expresado, una típica matriz de riesgos (de libro de texto básico, y solo a modo ejemplificativo de los fundamentos de la metodología). En este caso de cuatro niveles de discretización, con los rangos explicitados según los criterios establecidos para los intervalos definidos de frecuencias y consecuencias o vulnerabilidad del entorno, que debe ser realizado por el evaluador, la corporación en función del sistema de gerenciamiento del riesgo, o la autoridad de aplicación como guía para realizar los estudios.

Nótese que de considerar varios aspectos en la vulnerabilidad se toma siempre al más severo como valor o nivel asociado al accidente / escenario analizado.

Sin entrar en detalles, a modo ejemplificativo, una vez definidas las reglas para determinar los niveles de frecuencia (Tabla 17), y de severidad (Tabla 18), el “producto” o combinación en este caso, de ambos, brinda el valor del riesgo. Las reglas para obtener dicha combinación, de nuevo resulta subjetiva, y depende de la decisión del evaluador. En este caso se identifican tres niveles de riesgo, Tolerable T, Medio M, y No tolerable, NT. Por ejemplo, la celda (1,1) en la matriz de riesgos define un valor de riesgo T (tolerable), si la frecuencia tiene el nivel 1 (remota) y el nivel de vulnerabilidad/consecuencia (1) -Marginal-.

Por último, como está indicada la matriz de riesgos, se puede inferir también, que están fijadas las tres zonas según el criterio ALARP, En este caso debieran explicitarse las razones pertinentes por parte del evaluador, o la fuente a partir de la cual se toman dichos procedimientos o criterios.



Tabla 17–Anexo II. Categorías de Frecuencia de los Escenarios

Categoría de Frecuencia		Frecuencia	Descripción
1	Remota	Menor a 1 en 10 ³ años	Conceptualmente posible, aunque improbable de ocurrir durante la vida útil del emprendimiento o instalación o proyecto o actividad o equipo. No se espera que ocurra durante la vida útil del emprendimiento o instalación o proyecto o actividad o equipo, a pesar de ya haber ocurrido en algún lugar en el mundo
2	Poco Probable	1 en 30 años a 1 en 10 ³ años	Posible de ocurrir durante la vida útil del emprendimiento o instalación o proyecto o actividad o equipo
3	Probable	1 por año a 1 en 30 años	Posible de ocurrir más de una vez durante la vida útil del emprendimiento o instalación o proyecto o actividad o equipo
4	Frecuente	> 1 por año	Posible de ocurrir muchas veces durante la vida útil del emprendimiento o instalación o proyecto o actividad o equipo.

Tabla 18–Anexo II. Categorías de severidad

Categoría de Severidad		Seguridad Personal	Seguridad Instalaciones	Medio Ambiente	Imagen	Calidad
1	Despreciable	Sin lesiones o como máximo atención con primeros auxilios	Sin daños o daños insignificantes a instalaciones o equipos	Sin daño o mínimo impacto ambiental interno	Sin impacto	Pérdida poco significativa
2	Marginal	Lesiones sin pérdidas de días, dentro o fuera del sitio	Daños leves a instalaciones o equipos; los daños son controlables	Impacto ambiental que afecta al entorno	Impacto local o Medios provinciales	Pérdida significativa de rendimiento
3	Crítica	Lesiones con pérdidas de días, múltiples accidentados con lesiones sin pérdidas de días dentro o fuera del sitio	Daños severos a instalaciones o equipos críticos	Daños debido a impacto ambiental que involucra procedimientos importantes de remediación	Impacto a nivel Nacional	Producto rechazado y reelaborado
4	Catastrófica	Muerte o lesiones graves (incapacitantes) dentro o fuera del sitio	Daños irreparables a instalaciones o equipos críticos (reparación lenta o imposible)	Impacto ambiental cuya reparación implica recursos extraordinarios	Impacto a Nivel Internacional	Producto rechazado y destruido



Tabla 19-Anexo II. Matriz de Riesgo (ejemplificativa)

		Severidad			
		1	2	3	4
Frecuencia	1	T	T	T	M
	2	T	T	M	NT
	3	T	M	NT	NT
	4	M	NT	NT	NT

Nicolás J. Scenna
Ing. Químico
Dr. Ing. Química
Prof. Titular – Dedicación Exclusiva
CAIMI-UTN-FRRo



ANEXO III

Índice de riesgo "Fire and Explosion Index" (DOW'S F&EI)

Este índice es uno de los métodos aplicados según el estado del arte en Análisis de Riesgos. El "Índice de DOW" [43] o índice de riesgo "Fire and Explosion Index" (DOW'S F&EI) se aplica en general como un método preliminar de análisis de riesgos, y consiste en una secuencia de cálculos que combina, con ponderaciones diferenciadas, diversos aspectos relacionados tanto con el diseño del proceso, las cantidades manipuladas, las condiciones de procesamiento, y las sustancias involucradas, entre otros. Por ejemplo, de aplicarse en este caso en particular, el estado de mantenimiento y confiabilidad de las instalaciones on-shore y off-shore (a los efectos de inferir el potencial de ocurrencia de fugas, el progreso de situaciones inadmisibles de corrosión en instalaciones críticas, el desempeño potencial de los sistemas de enfriamiento, el estado o nivel de diseño en cuanto a regulación y control, y los sistemas instrumentados de seguridad, los sistemas de mitigación pasivos, por ejemplos sistemas anti-incendio, la presión de operación, entre otros). En la Fig. 6 y la Fig. 7 se presentan los formularios característicos para la determinación del índice Dow. Específicamente el primero se incluyen los factores que se contemplan en el cálculo del índice (F&EI) y en el segundo, los factores crediticios asociados a los instrumentos de control, seguridad y mitigación para determinar el factor de atenuación (Loss Control Credit Factor) [43].

A partir de la información solicitada en los formularios resulta claro que es imprescindible contar con un adecuado conocimiento de la planta, las características de la instrumentación y control, las políticas de Gerenciamiento del Riesgo respecto de la operación del complejo, de aplicar esta metodología a una planta en operación. Por otro lado, al igual que los métodos semi-cuantitativos, adolecen de poder explicativo en las conclusiones obtenidas para cada caso en particular por lo que, si se requiere precisión en el análisis, se debe recurrir a los métodos rigurosos de análisis de riesgos cuantitativos.



FIRE & EXPLOSION INDEX

AREA / COUNTRY	DIVISION	LOCATION	DATE
SITE	MANUFACTURING UNIT	PROCESS UNIT	
PREPARED BY:	APPROVED BY: (Superintendent)	BUILDING	
REVIEWED BY: (Management)	REVIEWED BY: (Technology Center)	REVIEWED BY: (Safety & Loss Prevention)	
MATERIALS IN PROCESS UNIT			
STATE OF OPERATION <input type="checkbox"/> DESIGN <input type="checkbox"/> START UP <input type="checkbox"/> NORMAL OPERATION <input type="checkbox"/> SHUTDOWN		BASIC MATERIAL(S) FOR MATERIAL FACTOR	
MATERIAL FACTOR (See Table 1 or Appendices A or B) Note requirements when unit temperature over 140 °F (60 °C)			
1. General Process Hazards		Penalty Factor Range	Penalty Factor Used(1)
Base Factor		1.00	1.00
A. Exothermic Chemical Reactions		0.30 to 1.25	
B. Endothermic Processes		0.20 to 0.40	
C. Material Handling and Transfer		0.25 to 1.05	
D. Enclosed or Indoor Process Units		0.25 to 0.90	
E. Access		0.20 to 0.35	
F. Drainage and Spill Control _____ gal or cu.m.		0.25 to 0.50	
General Process Hazards Factor (F₁)			
2. Special Process Hazards			
Base Factor		1.00	1.00
A. Toxic Material(s)		0.20 to 0.80	
B. Sub-Atmospheric Pressure (< 500 mm Hg)		0.50	
C. Operation In or Near Flammable Range <input type="checkbox"/> Inerted <input type="checkbox"/> Not Inerted			
1. Tank Farms Storage Flammable Liquids		0.50	
2. Process Upset or Purge Failure		0.30	
3. Always in Flammable Range		0.80	
D. Dust Explosion (See Table 3)		0.25 to 2.00	
E. Pressure (See Figure 2) Operating Pressure _____ psig or kPa gauge Relief Setting _____ psig or kPa gauge			
F. Low Temperature		0.20 to 0.30	
G. Quantity of Flammable/Unstable Material: Quantity _____ lb or kg H _c = _____ BTU/lb or kcal/kg			
1. Liquids or Gases in Process (See Figure 3)			
2. Liquids or Gases in Storage (See Figure 4)			
3. Combustible Solids in Storage, Dust in Process (See Figure 5)			
H. Corrosion and Erosion		0.10 to 0.75	
I. Leakage – Joints and Packing		0.10 to 1.50	
J. Use of Fired Equipment (See Figure 6)			
K. Hot Oil Heat Exchange System (See Table 5)		0.15 to 1.15	
L. Rotating Equipment		0.50	
Special Process Hazards Factor (F₂)			
Process Unit Hazards Factor (F₁ x F₂) = F₃			
Fire and Explosion Index (F₃ x MF = F&EI)			

(1) For no penalty use 0.00.

Fig. 6-Anexo III. Formulario (1) para el cálculo del Índice Dow [43, p. 5]



LOSS CONTROL CREDIT FACTORS

1. Process Control Credit Factor (C₁)

Feature	Credit Factor Range	Credit Factor Used(2)	Feature	Credit Factor Range	Credit Factor Used(2)
a. Emergency Power	0.98		f. Inert Gas	0.94 to 0.96	
b. Cooling	0.97 to 0.99		g. Operating Instructions/Procedures	0.91 to 0.99	
c. Explosion Control	0.84 to 0.98		h. Reactive Chemical Review	0.91 to 0.98	
d. Emergency Shutdown	0.96 to 0.99		i. Other Process Hazard Analysis	0.91 to 0.98	
e. Computer Control	0.93 to 0.99				

C₁ Value(3)

2. Material Isolation Credit Factor (C₂)

Feature	Credit Factor Range	Credit Factor Used(2)	Feature	Credit Factor Range	Credit Factor Used(2)
a. Remote Control Valves	0.96 to 0.98		c. Drainage	0.91 to 0.97	
b. Dump/Blowdown	0.96 to 0.98		d. Interlock	0.98	

C₂ Value(3)

3. Fire Protection Credit Factor (C₃)

Feature	Credit Factor Range	Credit Factor Used(2)	Feature	Credit Factor Range	Credit Factor Used(2)
a. Leak Detection	0.94 to 0.98		f. Water Curtains	0.97 to 0.98	
b. Structural Steel	0.95 to 0.98		g. Foam	0.92 to 0.97	
c. Fire Water Supply	0.94 to 0.97		h. Hand Extinguishers/Monitors	0.93 to 0.98	
d. Special Systems	0.91		i. Cable Protection	0.94 to 0.98	
e. Sprinkler Systems	0.74 to 0.97				

C₃ Value(3)

Loss Control Credit Factor = C₁ X C₂ X C₃(3) = (Enter on line 7 below)

Fig. 7-Anexo III. Formulario (2) para el cálculo del Índice Dow [43, p. 6]

A partir de una búsqueda bibliográfica y de la literatura citada, se observa que Li y Huang (2012) [25] aplican este método a un buque de GNL que transporta un volumen de 147.000 m³ (más de 50 % por encima del volumen que transporta el LNG carrier que ingresa al puerto - 95.000 m³) con las características mencionadas a continuación:

“The main technical parameters of a 147.000 m³ LNG vessel of MOSS type [2]: length 292m, width 48.1m, depth 22.5m, sea gauge 11.5m, load 70.620 t; Capacity of liquid hold 147.200m³; Cargo containment system are one ball aluminum alloy tank, inner diameter of which is 40.44 m, and three vertical heightening aluminum alloy spherical tanks, inner diameter of which 40.44m and 2.65m of vertical heightening; 98.5% of load is 145.000m³; Evaporation rate of LNG is 0.13%/d; Host are steam turbine (high + low-pressure turbine, gear box), MCR

power is about 26MW; Two dual-fuel (HFO and / or LNG) steam boilers; Cargo pumps are 4 spherical tanks× 2 sets / spherical tank× 1375m³ / h and spray pumps are 4 sets × 55m³/h; Generators are one set of diesel generator and 2 sets of steam turbine generators, each 2,700 kW ; Emergency generator is 700kVA approximately; Quota is of up to 49 persons per compartment with 40 compartments; Decorative area is about 2.780m²; Hull fatigue life is 40 years. Technical characteristics of MOSS spherical tank are design pressure 0.5 MPa, the maximum working pressure 0.45 MPa, designed interior temperature -196 °C, interior working temperature -162.3 °C. Interior gallbladder material is extruded polystyrene foam. Outer gallbladder material is 0.25 mm aluminum film. Upper and lower hemisphere tank is with SG insulation form”.

Los autores, luego de aplicar el método concluyen que el índice F&EI (*calculado sin considerar el factor de compensación por la adición de las medidas de seguridad*) es de 168, lo que se corresponde con un radio de exposición de 43 metros que debe ser considerado desde el borde del tanque, -afirmación que puede verificarse en la Fig. 8 Este valor del índice se corresponde con un grado severo según la Tabla 20.

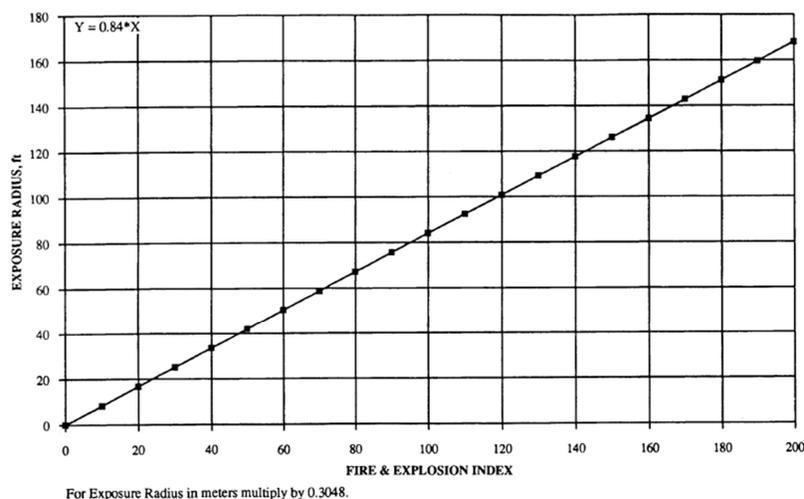


Fig. 8-Anexo III. Radio de exposición en función del F&EI [43, p. 48]

Sin embargo, como se indica en la *Tabla 21*, al considerar las medidas de control y protección existentes, los citados autores determinan un valor del F&EI de 67.2, el cual se encuentra en la escala o nivel “moderado” y que los autores consideran como “light”. El radio de exposición en este caso es de 17,24 m medidos desde el borde del tanque.



Tabla 20-Anexo III. Grado de Riesgo [43, p. 38]

DEGREE OF HAZARD FOR F&EI	
F&EI INDEX RANGE	DEGREE OF HAZARD
1 – 60	Light
61 – 96	Moderate
97 – 127	Intermediate
128 – 158	Heavy
159 – up	Severe

Dentro de este contexto, en el informe presentado por la Universidad de Lomas de Zamora, se afirma que: "... En el caso de un fallo que derive en un fuego y/o explosión, según este índice -el índice Dow-, el radio considerado como la zona de máximo daño, con "reducción a escombros del 83% de las instalaciones", es de 127,9 metros, contados a partir del lugar donde se origina la pérdida o fallo en las instalaciones de GNL...". Esa distancia (127,9 m) incluye, además de la distancia calculada (los 84,86 m) que corresponderían a las dos esferas alineadas con cierta distancia de separación como se observa en la Tabla 21.

Tabla 21-Anexo III. Valores del índice de seguridad de la unidad de evaluación DOW antes y después de la compensación de las medidas de seguridad [25, pp. 72-73]

Items	Before compensation	After compensation
Material coefficient MF	21	21
Fire and explosion hazard index $F&EI$	168	67.2
Criticality	Super great(>159)	Light(61-96)
Radius of exposed area $R(m)$ ($R = F&EI \times 0.256$)	127.9 (Including twice the sphere diameter and sphere clearance 84.86m)	102.1 (Including twice the sphere diameter and sphere clearance 84.86m)
Area of exposed area (m^2)	51365.4	32732.6
Harm coefficient DF (See Figure of unit harm coefficient calculation)	0.83	0.83

Por otro lado, en el informe de la UNLZ se incluye "una extrapolación del método de estimación del índice Dow's F&EI, mencionando que: "... el radio se incrementa hasta los 240,6 metros en caso de no utilizar el factor de atenuación del índice (una vez superado un umbral de riesgo el índice considera un valor constante, de no utilizar dicho factor de atenuación el índice Dow's F&EI sería de 608,37 puntos) ...".

Respecto a la última afirmación, cabe remarcar que en la descripción del método está explícitamente aclarado que no se debe extrapolar: "For any calculation in which F3 exceeds 8.00, do not extrapolate from Figure 8. Use 8.00 as the F3 for obtaining the Damage Factor."



Esto último puede verificarse en la Tabla 22, donde se detalla el cálculo del índice Dow por parte de Li y Huang (2012) al calcular el factor de daño (F3).

Tabla 22- Anexo III. Resultados del cálculo del Índice Dow [25, p. 72]

Evaluation unit: A certain 147,000 m ³ MOSS type LNG vessel					
Main material: Methane					
Material coefficient $MF=21$					
Unit fire and explosion hazard index	General process fatalness	Items	Coefficients	Reasons for coefficient choice	Sum
		A. Basic coefficient of general technical risk	1.00	Basic coefficient	2.70
		B. Handling and transportation of materials	0.85	Open canned flammable liquid, flammability of which is $Nh=4$	
		C. Passage	0.35	Emergency forces can not reach, the sea far from land	
		D. Emissions and leakage control	0.50	Emissional facilities are not good	
	Special technical fatalness	A. Basic coefficient of special technical risk	1.00	Basic coefficient	
		B. Toxic materials	0.20	Toxicity of LNG is $Nh=1$	10.73
		C. Burning area or operations nearby	0	Using vapor recovery system, and ensuring air tightness	
		D. Number of flammable and volatile substances	8.80	Flammable and volatile substances are in large quantities, taking the maximum into account	
		E. Pressure	0.23	According to $Y=0.16109+1.6150(X/1000)-1.42879(X/1000)^2+0.5172(X/1000)^3$, where X is gauge pressure, Y is risk coefficient	
		F. Low temperature	0.30	Using technical equipment made of carbon steel structure, operating temperature is less than changing temperature	
		G. Leakage	0.10	Pump and gland seal may have a slight leak	
		H. Corrosion	0.10	LNG containing very small amount of carbon dioxide, sulfur compounds and so on	
Hazard coefficient $F_3=F_1 \times F_2$			28.97	(According to the DOW rule we take 8.0)	
Fire and explosion hazard index $F&E1=F_1 \times MF$			168		
	Technical control compensation coefficient C_1	A. Emergency power supply	0.98	Normal state automatically switches to emergency state with emergency power supply	
		B. Cooling	0.99	Fixed fire cooling water system is equipped and fire hydrants and water cannons are set outside the fire dike	0.66
		C. Handling rules	0.91	Strict and perfect handling rules have been developed	
	security compensation measures	D. Restrain explosion	0.84	Vapor processing equipments are set	
		E. Emergency stop device	0.96	Important rotating equipment with vibration detector, the device can automatically disabled	
		F. Inert gas protection	0.96	Equipments storing flammable gas have continuous inert gas protection	



	G. Computer control	0.97	Direct control technical operations and has fail-safe function	
Material segregation compensation coefficient C_2	A. Remote control valve	0.98	Remote shut-off valve	0.94
	B. Spare releasing device	0.98	Emergency ventilation tube emits gas and vapor to confined groove	
Fire safety compensation coefficient C_3	A. Leak detection device	0.94	Combustible gas detector is installed, starting the protective system before reaching the lower combustion limit	0.66
	B. Steel structure	0.95	All load-bearing steels are coated with a fire retardant coating layer of > 10mm height	
	C. Fire water supply system	0.94	Two fire pumps are equipped in the bottom, pressure and water capacity of which meet the requirements	
	D. Sprinkler system	0.97	Having sprinkler system	
	E. Portable fire extinguishers / spray guns	0.95	Fire hydrants are equipped in the cabins, portable and push-type fire extinguishers and remote control water guns are equipped in the unit	
	F. Cable protection	0.94	All cables are burned or laid	
	G. Special system	0.91	Tanks are designed as sandwich wall structure. When the wall leaks, the etkexine can withstand all load	
	Security compensation measure coefficient $C=C_1 \times C_2 \times C_3$		0.40	
Fire and explosion index after compensation $F&EI'$ $= F&EI \times C$		67.2		

A partir de lo mencionado, se puede concluir que el cálculo del índice Dow (Dow's F&EI) en el informe presentado por la UNLZ presenta imprecisiones y a la vez, se adolece de información fundamental para determinar el "grado de riesgo" asociado a un buque de GNL que transporta 95.000 m³ con las condiciones particulares, y principalmente con los sistemas de control y mitigación. Más aún, se procede a no considerar factores cruciales en el cálculo, y se procede a extrapolar la magnitud de la vulnerabilidad del entorno a valores catastróficos, lo cual está implícitamente vedado en la aplicación de tal método de análisis.

Dado lo expresado en cuanto a la aplicación del método respecto al problema particular que nos ocupa (no es un método riguroso para la toma de decisiones en sistemas complejos) y además existen cuestionamientos en cuanto a su aplicación a sistemas de transporte del tipo aquí estudiado, podría relativizarse cualquier resultado obtenido. Por otra parte, e independiente de tal juicio de valor, de aplicarse correctamente según la metodología exige, el resultado no es de la severidad que expresa el informe de la UNLZ. Más aún, es sustancialmente menor.

Por último, y dado el parecido del objeto de estudio con el caso que ha sido estudiado por Li y Huang (2012), aquí se presentaron parte de sus resultados, por ser semejantes a las conclusiones aquí expuestas.



Una crítica a este trabajo citado, por ejemplo, tiene que ver con lo expresado más arriba, ya que en el trabajo: "Review of Vapour Cloud Explosion and BLEVE Risk" de la DNV GL, se desarrolla una dura crítica al trabajo Li y Huang (2012) afirmando que el índice Dow no es aplicable a buques.

En conclusión, nuevamente se remarca que sea aplicable, sea relativamente aplicable dado la complejidad del sistema y la naturaleza agregada y poco específica del método, o bien sea aplicado correctamente y con los datos necesarios para el caso de estudio que nos ocupa, los resultados que se obtienen contradicen los presentados por el grupo de trabajo de la UNLZ (y la conclusión de "riesgo no aceptable" que se sustenta).

Nicolás J. Scenna
Ing. Químico
Dr. Ing. Química
Prof. Titular - Dedicación Exclusiva
CAIMI-UTN-FRRo

REFERENCIAS

- [1] RE-338-2012-SE, «Condiciones para la localización de la Terminal Portuaria destinada a operaciones de Gas Natural Licuado y requerimientos de Protección ambiental», Secretaría de Energía, Argentina, Resolución RE-338-2012-SE, jun. 2012.
- [2] TNO, «Methods for the calculation of physical effects – due to releases of hazardous materials (liquids and gases) – Yellow Book (CPR 14E)». 1979.
- [3] Sandia National Laboratory, «Guidance on Risk Analysis and Safety Implications of a Large Liquefied Natural Gas (LNG) Spill Over Water», Report SAND2004-6258, 2004.
- [4] C. C. Baker y A. K. Seah, «Maritime Accidents and Human Performance: the Statistical Trail.», en *ABS TECHNICAL PAPERS 2004*, Singapore, sep. 2004, pp. 225-239.
- [5] DNV, «Risk Based Verification», DET NORSKE VERITAS AS, Offshore Service Specification DNV-OSS-300, 2004.
- [6] Superintendence of Operational safety and the Environment – SSM, «Investigation Report of the Explosion Incident Occurred on 11/02/2015 in the FPSO Cidade De São Mateus», Brazilian National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels, ago. 2015.
- [7] J. E. S. Venart, «Letter to the Editor», *Process Safety Progress* 24 (4), 226, 2005.
- [8] E. Planas-Cuchi, N. Gasulla, A. Ventosa, y J. Casal, «Explosion of a road tanker containing liquified natural gas», *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 17, n.º 4, pp. 315-321, jul. 2004, doi: 10.1016/j.jlp.2004.05.005.
- [9] E. Planas, E. Pastor, J. Casal, y J. M. Bonilla, «Analysis of the boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) of a liquefied natural gas road tanker: The Zarzalico accident», *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 34, pp. 127-138, mar. 2015, doi: 10.1016/j.jlp.2015.01.026.
- [10] R. Pitblado, «Potential for BLEVE associated with marine LNG vessel fires», *J. Hazard. Mater.*, vol. 140, n.º 3, pp. 527-534, feb. 2007, doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.10.021.
- [11] A. Bernatik, P. Senovsky, y M. Pitt, «LNG as a potential alternative fuel – Safety and security of storage facilities», *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 24, n.º 1, pp. 19-24, ene. 2011, doi: 10.1016/j.jlp.2010.08.003.
- [12] R. M. Pitblado y J. L. Woodward, «Highlights of LNG risk technology», *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 24, n.º 6, pp. 827-836, nov. 2011, doi: 10.1016/j.jlp.2011.06.009.
- [13] «International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk: IGC Code», International Maritime Organization (IMO), 1975.
- [14] *LNG Fire Protection and Emergency Response: A Collection of Booklets Describing Hazards and how to Manage Them*. BP Safety Group, IChemE's Loss Prevention Panel, 2007.
- [15] DNV·GL, «Review of Vapour Cloud Explosion and BLEVE Risk», Technical Memo 119XBY25-2/NPO, 2018.
- [16] Organización Marítima Internacional OMI, «Código internacional para la protección de los buques y de las instalaciones portuarias (PBIP) - International Ship and Port Facility Security (ISPS)», 2004.
- [17] C. Vianello y G. Maschio, «Risk Analysis of LNG Terminal: Case Study», *Chem. Eng. Trans.*, vol. 36, pp. 277-282, abr. 2014, doi: 10.3303/CET1436047.
- [18] American Petroleum Institute, «Risk-Based Inspection Base Resource Document», API Recommended Practice 581, 2008.
- [19] X. Li y W. Tang, «Structural risk analysis model of damaged membrane LNG carriers after grounding based on Bayesian belief networks», *Ocean Eng.*, vol. 171, pp. 332-344, ene. 2019, doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.10.047.

- [20] G. Atkinson, E. Cowpe, J. Halliday, y D. Painter, «A review of very large vapour cloud explosions: Cloud formation and explosion severity», *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 48, pp. 367-375, jul. 2017, doi: 10.1016/j.jlp.2017.03.021.
- [21] «The 100 Largest Losses 1978-2017. Large Property Damage Losses in the Hydrocarbon Industry», MARSH, MARSH REPORT, 2014.
- [22] R. M. Pitblado, J. Baik, G. J. Hughes, C. Ferro, y S. J. Shaw, «Consequences of LNG Marine Incidents», presentado en CCPS Conference, Orlando, 2004.
- [23] Diario Oficial de la Unión Europea (L 197/1), «Directiva 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas y por la que se modifica y ulteriormente deroga la Directiva 96/82/CE», 2012.
- [24] International Maritimal Organization (IMO), «Guidelines For Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO Rule-Making Process», MSC/Circ. 1023, 2002.
- [25] J. Li y Z. Huang, «Fire and Explosion Risk Analysis and Evaluation for LNG Ships», *Procedia Eng.*, vol. 45, pp. 70-76, ene. 2012, doi: 10.1016/j.proeng.2012.08.123.
- [26] TNO, «Methods for the calculation of physical effects – due to releases of hazardous materials (liquids and gases) – Yellow Book (CPR 14E)». 2005.
- [27] ILO/UNEP/WHO International Programme on Chemical Safety, *Major hazard control: A practical manual*, International Labour Organization. 1993.
- [28] J. Casal, *Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants*, First Edition. Elsevier, 2008.
- [29] Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Vapor Cloud Explosion, Pressure Vessel Burst, BLEVE, and Flash Fire Hazards*, Second Edition. Wiley, 2010.
- [30] Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, Second Edition. John Wiley & Sons, 2000.
- [31] V. Cozzani, G. Gubinelli, y E. Salzano, «Escalation thresholds in the assessment of domino accidental events», *J. Hazard. Mater.*, vol. 129, n.º 1, pp. 1-21, feb. 2006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.08.012.
- [32] E. Planas-Cuchi, J. M. Salla, y J. Casal, «Calculating overpressure from BLEVE explosions», *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 17, n.º 6, pp. 431-436, nov. 2004, doi: 10.1016/j.jlp.2004.08.002.
- [33] J. Casal y J. M. Salla, «Using liquid superheating energy for a quick estimation of overpressure in BLEVEs and similar explosions», *J. Hazard. Mater.*, vol. 137, n.º 3, pp. 1321-1327, oct. 2006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.05.001.
- [34] Boletín Oficial del Estado - BOE, «Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas», Gobierno de España. Ministerio de la Presidencia, 2015.
- [35] Dirección General de Protección Civil, «Guía Técnica: Metodologías para el Análisis de Riesgos: Visión General.», Dirección General de Protección Civil, Ministerio del Interior, España, NIPO 060-94-042-7, 1994.
- [36] Homeland U.S. Department Security, United States Coast Guard, «Guidance Related to Waterfront Liquefied Natural Gas (LNG) Facilities», Navigation and Vessel Inspection Circular NVIC 01-2011, 2011.
- [37] A. Luketa, M. M. Hightower, y S. Attaway, «Breach and Safety Analysis of Spills Over Water from Large Liquefied Natural Gas Carriers», Sandia National Laboratory, Report SAND2008-3153, 2008.
- [38] Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs*, Second Edition. Wiley-AICHE, 1994.
- [39] B. Hemmatian, *Contribution to the Study of Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions and Their Mechanical Effects*. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya, 2016.



- [40] D. J. Finney, *Probit Analysis*, 3rd edition. London: Cambridge University Press, 1971.
- [41] «Standard for the production, storage, and handling of liquefied natural gas (LNG)», NPFA 59A, 2019.
- [42] HSE Health and Safety Executive, *Reducing risks, protecting people – HSE's decision making process*. 2001.
- [43] American Institute of Chemical Engineers y Dow Chemical Company, *Dow's fire & explosion index: hazard classification guide*. New York, N.Y.: American Institute of Chemical Engineers, 1994.

Nicolás J. Scenna
Ing. Químico
Dr. Ing. Química
Prof. Titular – Dedicación Exclusiva
CAIMI-UTN-FRRo