**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**

**ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL**

# “RIESGOS EXTERNOS ASOCIADOS A INSTALACIONES DE REGASIFICACIÓN DE GNL. CASO DE ESTUDIO: ENERGÍA COSTA AZUL.”

**TRABAJO TERMINAL**

**Presenta:**

**PABLO NICOLÁS TRUCCO PIGNATA**

**Ensenada, Baja California, junio de 2011**

# Dedicatoria

A mis padres Carlos y Mónica.

A mi hermana Gaby.

A Lola.

# Agradecimientos

Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada.

A la Universidad Autónoma de Baja California por el apoyo brindado a lo largo de todos estos años.

A la Facultad de Ciencias Marinas, de manera muy especial a su cuerpo académico del área de Gestión Ambiental quienes con gran esfuerzo y dedicación impulsan el programa de postgrado del cual surge este trabajo.

Al M.C. Carlos Peynador Sánchez por su apoyo, amistad y tutela a lo largo de estos últimos meses.

A la Dra. María Concepción Arredondo García por su infinita paciencia y dedicación.

Al Oc. Octavio Tellles Hirsch por sus acertados consejos y guía en el presente trabajo, y en mi formación profesional.

Al Lic. Marco Antonio Lazcano Sahagún por sus acertadas observaciones, y su buen gusto musical.

A toda mi familia, Trucco, Pignata, Medina, Nicolini. "*Donde mejor canta un pájaro es en su árbol genealógico*".

A mi otra familia: Abraham, Alma, Alonso, Andrés, Barrio, Bety, Dani, Constanza, Emyr, Gaby, Jacob, Jota, Lalo, Luis, Mario, Quique, Toto y Yan.

## Resumen

En el presente trabajo se señalan los principales errores, omisiones, inconsistencias técnicas e incumplimientos a la normatividad aplicable en los estudios de riesgo presentados por la compañía regasificadora de Gas Natural Licuado, Energía Costa Azul. De estos señalamientos, el que es considerado de mayor importancia es la deficiente aproximación metodológica para la determinación de riesgos de origen externo. Una aproximación metodológica alterna es presentada y analizada, y los posibles escenarios de riesgos con sus respectivos impactos son desarrollados, así como recomendaciones para minimizar dichos impactos.

# ÍNDICE


I. Resumen ..... 2

II. Introducción. ..... 8

II.1. Industria del Gas en México. ..... 8

II.2. Análisis de Riesgo en México. ..... 10

II.3. Antecedentes de la problemática de ECA. ..... 12

III. Objetivos. ..... 14

IV. Metodología. ..... 14

V. Características del proyecto. ..... 15

V.1. Área de estudio. ..... 15

V.2. Proceso de regasificación del GNL. ..... 18

VI. Resultados. ..... 20

VI.1. Análisis técnico a los estudios de riesgo. ..... 20

VI.1.1. Variables climatológicas. ..... 20

VI.1.2. Presentación de los resultados. ..... 21

VI.1.3. Escenarios de riesgo y normatividad aplicable. ..... 24

VI.1.4. Atributos ambientales. ..... 28

VI.1.5. Contingencia en embarcaciones ..... 30

VI.2. Metodologías alternas para la determinación de riesgos externos. ..... 34

VI.3. Aplicación de metodologías alternas al caso de estudio ..... 36

VI.4. Posibles impactos derivados de los escenarios de riesgo ..... 38

VI.5. Recomendaciones ..... 43

VII. Conclusiones ..... 47

VIII. Bibliografía ..... 49

# LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros para definir y justificar las zonas de seguridad del proyecto. ..... 24

Tabla 2. Lesión por radiación térmica. Criterio (FEMA, 1990) ..... 26

Tabla 3. Accidentes marítimos de embarcaciones mayores en la costa de Baja California. ..... 32

Tabla 4. Posibles consecuencias de un ataque terrorista. (Hurst, 2008) ..... 37

Tabla 5. Niveles de daños comunes aproximados por radiación térmica. (Barry, 2002)..... 40

Tabla 6. Resultados de incendios de mancha (Hightower et al., 2006) ..... 42

Tabla 7. Estrategias de prevención y mitigación. ..... 43

Tabla 8. Estrategias de prevención y mitigación de riesgos para amenazas potenciales identificadas ..... 46

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Emisión de CO2 por kW/h producido para Latinoamérica (IEA, 2010). ..... 9

Figura 2. Importaciones de Gas Natural Licuado, 2009-2025 (millones de pies cúbicos; SENER 2010). ..... 10

Figura 3. Localización de la Terminal de Recibo, Almacenamiento y Regasificación de Gas Natural Licuado, Energía Costa Azul. ..... 17

Figura 4. Zona de vulnerabilidad de la nube de vapor inflamable para un derrame de diseño de GNL ..... 22

Figura 5. Máxima Huella del Peligro y Zona de Vulnerabilidad para la Ruptura de una Línea de Succión de una Bomba de Alta Presión ..... 23

Figura 6. Zona de Impacto por la Radiación Ocasionada por Incendio para todas las Emisiones de Alto Riesgo y Catastróficas creíbles ..... 25

Figura 7. Contornos de Riesgo para la Terminal de Importación de GNL de Energía Costa Azul ..... 27

Figura 8. Tiempo mínimo para la ignición de madera. Tomado y adaptado de Cohen & Butler, 1996. ..... 30

Figura 9. Secuencia potencial de incidencias después de una fisura de un tanque de carga GNL. Tomada y modificada a partir de Hightower *et al.*, 2004. ..... 39

Figura 10. Radios de flujo térmico como resultado de incendios de mancha de un derrame de GNL de un buque cisterna. Hightower *et al*., 2006 ..... 42

## Introducción.

### *I.1. Industria del Gas en México.*

Durante el último siglo el petróleo ha sido la principal fuente de energía para la economía global (Smil, 2000). No obstante, los impactos ambientales derivados de su uso, principalmente con el incremento del efecto invernadero (IPCC, 2007) han ocasionado que las potencias globales persigan el uso de fuentes de energía alternas más sustentables y duraderas. A través de esta búsqueda, las principales potencias han apostado por el desarrollo de la tecnología nuclear, la solar, la hidroeléctrica y la producida a través del consumo de gas natural (IEA, 2010), como fuentes de energía relativamente más limpias que la utilización del petróleo.

Sin embargo, el accidente nuclear de Chernobil en 1986, la reciente crisis nuclear con la estación japonesa de Fukuyima, o los accidentes de plantas de gas de Cleveland en 1944 y de Skikda, Argelia en 2004, son una clara prueba de que el uso de estas alternativas energéticas representa un riesgo que debe ser correctamente evaluado.

En particular el gas natural es la fuente de energía convencional más limpia y menos contaminante y probablemente la única de ellas que puede compatibilizar el progreso económico e industrial con la preservación del medio ambiente, ya que en su combustión se produce un porcentaje mucho menor de dióxido de Carbono (Figura 1) y de dióxido de Nitrógeno, no emite partículas sólidas ni cenizas y las emisiones de dióxido de Azufre son prácticamente nulas, en comparación con otras fuentes de energía como el carbón y el petróleo y sus derivados. En cuanto a su uso, las proyecciones muestran que el gas natural llegará a representar una cuarta parte del suministro energético mundial en 2030, como consecuencia de un incremento debido, principalmente, a la generación de electricidad (IEA, 2010).

En los últimos diez años, el mercado de gas natural en México ha presentado una tasa media de crecimiento anual de 7.2%, que lo convierte en uno de los más dinámicos del sector energético. Pese al entorno de recesión, la utilización del gas natural continuó en ascenso durante 2009. De esta manera, el consumo de gas natural creció 2.4% respecto al año anterior, para alcanzar un promedio de 7,377 millones de pies cúbicos diarios (mmpcd). Este crecimiento fue más bajo que el promedio de la última década. Sin embargo, durante 2009 el consumo aumentó debido a los requerimientos de los sectores eléctrico, petrolero y las recirculaciones de Pemex (SENER, 2010).

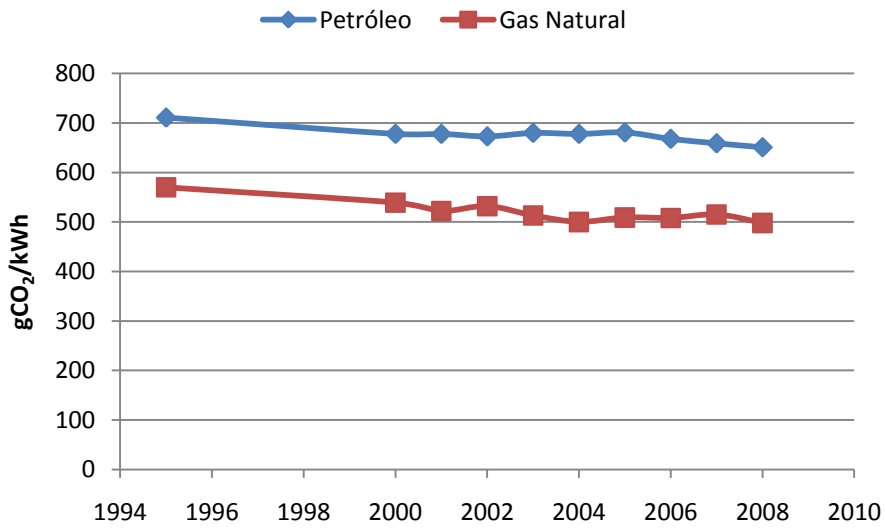


**Figura 1. Emisión de CO2 por kW/h producido para Latinoamérica (IEA, 2010).**

En México, a partir de septiembre de 2002, se tuvo una expansión en infraestructura en el noroeste del país que incrementó la capacidad de importación de Gas Natural Licuado (GNL) en 500 mmpcd y se espera que otros proyectos que se están implementando alcancen una capacidad máxima de importación de 1,850 mmpcd para finales de 2018 (Figura 2; SENER, 2010).

Una parte de dicha infraestructura se refiere a las terminales de almacenamiento de GNL. Actualmente existen 3 proyectos de terminales de este tipo: una se encuentra en Altamira y opera desde el 2007, otra en Ensenada en fase de expansión y operando desde 2008, y una más en Manzanillo que entrará en operación en el transcurso del 2011. Dichas terminales implican una inversión estimada en 3,037 millones de dólares y una capacidad de almacenamiento de 1.24 millones de metros cúbicos (43.79 millones de pies cúbicos; SENER 2010).

La terminal de GNL localizada en Ensenada, Baja California, es una inversión de la empresa norteamericana Sempra Energy. Esta terminal, de nombre Energía Costa Azul (ECA), tiene una capacidad nominal de regasificación 28.32 millones de metros cúbicos por día (1 Bcfd) y una capacidad pico de 36.81 (1.3 Bcfd) para asegurar el abasto de gas natural de las centrales de ciclo combinado ubicadas en Rosarito y en Mexicali. Cuenta con dos tanques de almacenamiento de 160,000 $m^3$ y las posibles fuentes de suministro

de GNL son Qatar, Bolivia, Australia, Indonesia y Malasia (SENER, 2010). Esta empresa entró en operación el 14 de mayo de 2008.

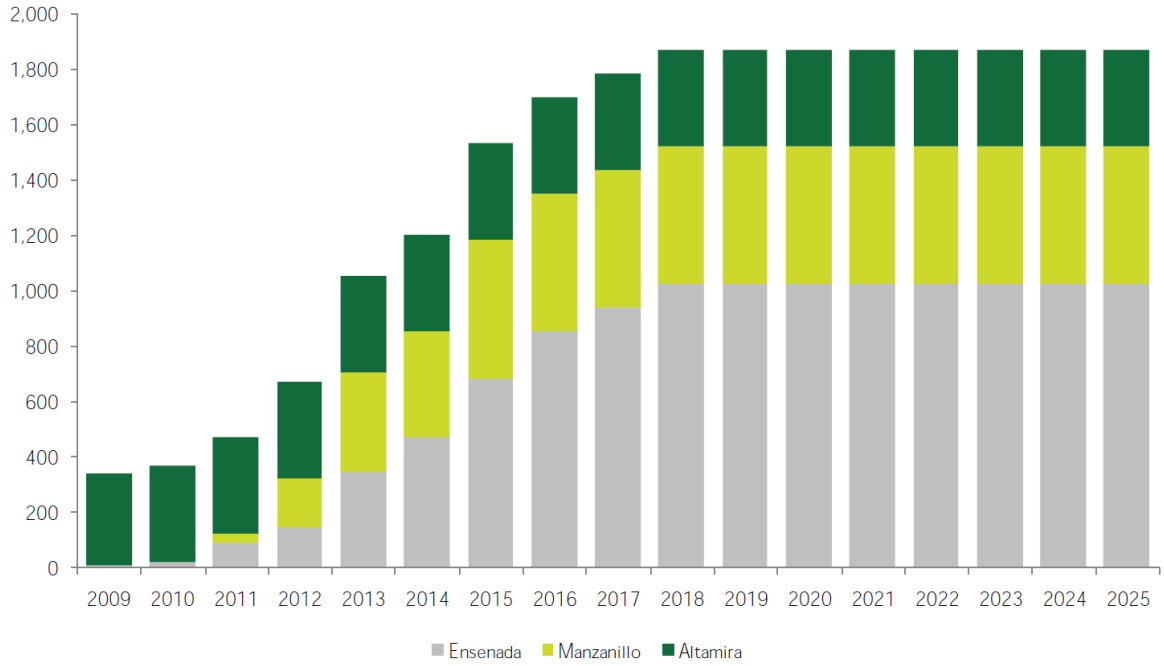


**Figura 2. Importaciones de Gas Natural Licuado, 2009-2025 (millones de pies cúbicos; SENER 2010).**

La expectativa original para la terminal de regasificación de ECA es que incrementará sus importaciones de GNL y abastecerá las plantas generadoras de electricidad y diversas industrias del estado de Baja California, así como exportaciones considerables hacia Estados Unidos. La terminal está interconectada con los sistemas ya existentes en el área (Gasoducto Bajanorte), por lo que se prevé que por razones económicas, el comercializador abastecerá a los contratos regionales con gas importado en el corto plazo. La expectativa en la terminal es que llegará a importar más de la cuarta parte de su capacidad hasta 2015, y después de 2018 que la regasificación superará los 1,000 mmpcd.

### *I.2. Análisis de Riesgo en México.*

En noviembre de 1984 en una de las plantas de almacenamiento y distribución de Petróleos Mexicanos (PEMEX), en San Juan Ixhuatepec (Tlalnepantla de Baz, estado de México) ocurrieron una serie de explosiones de tipo “explosión de líquido hirviente en

expansión vaporosa" (BLEVE, por sus siglas en inglés), que ocasionaron la muerte de entre 500 a 600 personas e hiriendo a aproximadamente 2,000 más.

Una ruptura en una tubería de 20 cm de diámetro que transportaba GLP fue lo que inició la cadena de accidentes. La fuga de GLP continuó durante 5-10 minutos y una gran nube de vapor inflamable de unos 200 metros por 150 metros entró en ignición alrededor de 100 metros del punto de fuga, probablemente debido a alguna antorcha encendida a nivel del suelo. Esta "explosión de vapor no confinada" (UVCE, por sus siglas en inglés) generó un incendio de grandes proporciones que afectó primeramente a 10 viviendas y, al cabo de 12 minutos, una pequeña esfera contenedora de GLP se incendió generando una bola de fuego de unos 300 metros de diámetro. Posteriormente, otras 4 esferas y 15 cilindros generaron sucesivas BLEVE's durante aproximadamente hora y media. Todas las explosiones se registraron en el sismógrafo de la Universidad de Ciudad de México.

Por otra parte, el 22 de abril en 1992 ocurrieron las Explosiones de Guadalajara, en el barrio céntrico de Analco. Dichas explosiones mataron a 209 personas, dejando 500 heridos y 1,500 damnificados. Estas once explosiones ocurrieron debido a la acumulación de gasolina y vapores en el sistema de alcantarillado, originados a partir de ductos corroídos de PEMEX. El resultado fueron 8 km de calles destruidas y un daño económico estimado entre 700 y 1,000 millones de dólares.

La evaluación de riesgo ambiental se establece en México en parte como una respuesta a los accidentes anteriormente descritos. La evaluación de riesgos es una herramienta que puede usarse para estimar y jerarquizar la importancia ambiental de una medida, calculando cuantitativamente los impactos por los daños a la salud o a los ecosistemas derivados de la exposición a un contaminante ambiental. La información que una evaluación de riesgos proporciona puede ser utilizada para apoyar decisiones de control ambiental, ayudando a las agencias normativas a tomar decisiones racionales sustentadas en la mejor información científica disponible (SEMARNAT, 2003).

En 1988 se promulga la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), en la cual se establece la obligación de presentar estudios de impacto ambiental para el desarrollo de nuevas obras y actividades. A través de dicha Ley se señala la necesidad de evaluar el riesgo ambiental en ciertos tipos de proyectos. En el artículo 30 de esta Ley se establece que "Cuando se trate de actividades consideradas altamente riesgosas en los términos de la presente Ley, la manifestación (de impacto ambiental) deberá incluir el estudio de riesgo correspondiente". A su vez, en el Capítulo V

“Actividades Consideradas como Altamente Riesgosas”, en el artículo 146 queda establecido que “La Secretaría, previa opinión de las Secretarías de Energía, de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Gobernación y del Trabajo y Previsión Social, conforme al Reglamento que para tal efecto se expida, establecerá la clasificación de las actividades que deban considerarse altamente riesgosas en virtud de las características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas para el equilibrio ecológico o el ambiente…”. También en dicho Capítulo, en el artículo 147 se señala que “Quienes realicen actividades altamente riesgosas, en los términos del Reglamento correspondiente, deberán formular y presentar a la Secretaría un estudio de riesgo ambiental, así como someter a la aprobación de dicha dependencia y de las Secretarías de Gobernación, de Energía, de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, y del Trabajo y Previsión Social, los programas para la prevención de accidentes en la realización de tales actividades, que puedan causar graves desequilibrios ecológicos”.

Ya para 1990, con fundamento en los artículos antes señalados, se publica en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el primer listado de actividades altamente riesgosas. En este listado se establecen cantidades tales que de producirse una liberación, ya sea por fuga o derrame, provocaría la formación de nubes tóxicas cuyas concentraciones serían inmediatamente peligrosas para la vida humana. Posteriormente en 1992 se expide el segundo listado de actividades altamente riesgosas, que corresponde a aquéllas en que se manejen sustancias inflamables y explosivas. Este listado permite el control de dichas sustancias en cantidades tales que de producirse una liberación su concentración sería semejante al límite inferior de inflamabilidad, o al formase una nube explosiva la onda de sobrepresión sería de 1 lb/pulg.

### *I.3. Antecedentes de la problemática de ECA.*

Desde las etapas tempranas de implementación, y a lo largo de todo su desarrollo, los proyectos de ECA han estado sujetos a controversias e inconformidades de diferentes sectores de la sociedad. Diferentes grupos han señalado que ECA ha incurrido en fallas técnicas en la elaboración de su MIA, y que no cuenta con la legalidad necesaria para establecer ese tipo de industria en esta zona (La Jornada, 2010). El conflicto más reciente, y probablemente el más relevante, ha involucrado al Ayuntamiento local. El 11 de Febrero de 2011, dicho Ayuntamiento clausuró temporalmente las instalaciones de ECA argumentando que violaba los artículos. 1, 4, 5, 6, 47, 83, 84, 85, 136, 138 y 140 de la Ley de Desarrollo Urbano para el Estado de Baja California y el incumplimiento de lo

dispuesto en los puntos 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 del Programa Regional de Desarrollo Urbano, Turístico y Ecológico del Corredor Costero Tijuana-Rosarito-Ensenada (La Jornada, 2011).

La clausura temporal de ECA por parte del Ayuntamiento de Ensenada, ocasionó que el Pleno de la H. Cámara de Diputados conformara una Subcomisión plural de diputados, que hiciera el seguimiento de las actividades de la planta regasificadora.

Este mandato surge posterior a diversos Puntos de Acuerdo que fueron presentados en la Cámara de Diputados, la Cámara de Senadores y la Comisión Permanente del Congreso de la Unión.

Los resolutivos planteados fueron realizar una visita a Ensenada, B.C y reunirse tanto con autoridades estatales como municipales a fin de conocer al detalle la situación de las autorizaciones relacionadas con la operación de ECA. A su vez verificar documentalmente los permisos, licencias y otros documentos legales otorgados para operar dicha planta. Todo lo anterior con el fin de informar a la H. Cámara de Diputados el resultado de la investigación y consultas realizadas.

Debido a las controversias anteriormente señaladas, se eligió como tema de investigación analizar los Estudios de Riesgo Nivel 3 de los proyectos de ECA. Como primera aproximación al tema, se plantearon las siguientes preguntas:

> ¿Existen errores, omisiones, inconsistencias técnicas o incumplimientos a la normatividad aplicable en los estudios de riesgos planteados por ECA, y de ser así, cuáles son los más relevantes?
>
> ¿Por qué se incurrió en este tipo de inconsistencias y faltas a la legalidad?
>
> ¿Existen aproximaciones metodológicas o legislaciones más robustas para evitar este tipo de faltas e inconsistencias?
>
> ¿Qué medidas se tendrían que implementar para poder minimizar los riesgos no contemplados, y poder atender oportunamente a dichos escenarios?

Posteriormente, estas interrogantes fueron replanteadas como objetivos de trabajo, los cuales son enumerados en el siguiente apartado.

## II. Objetivos.

1. Realizar un análisis técnico a los estudios de riesgo de la planta de Gas Natural Licuado propiedad de Energía Costa Azul y señalar los principales errores, omisiones, inconsistencias técnicas o incumplimientos a la normatividad aplicable.
2. Realizar un análisis bibliográfico de metodologías alternas para la determinación de riesgos externos.
3. Si se cuenta con metodologías alternas, aplicarlas al caso de estudio y describir los posibles escenarios de riesgo.
4. Señalar los posibles impactos derivados de dichos escenarios.
5. Proponer medidas de control de seguridad para minimizar impactos ambientales adversos ante una situación de alto riesgo.

## III. Metodología.

Al principio de la investigación se emprendió un amplio análisis de la bibliografía relativa al tema de estudio.

Se realizó también un estudio de la legislación existente en México en relación a terminales de gas natural licuado y los riesgos asociados a las mismas.

Se recopilaron y consultaron estudios similares y estándares internacionales aplicados en otras partes del mundo, principalmente en Estados Unidos, relacionado con este tipo de empresas.

La información recabada puede ser agrupada en cuatro diferentes grupos.

El primer grupo se refiere a toda la documentación disponible presentada por ECA ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Esto incluye los Manifiestos de Impacto Ambiental y los Estudios de Riesgo Nivel 3 de los dos proyectos de ECA, los anexos contenidos en los mismos y los principales comunicados presentados entre la SEMARNAT y ECA (*v.g.* Autorizaciones con sus condicionantes, Reportes de Cumplimientos, solicitudes de aclaraciones, etc.)

El segundo grupo recaba la normatividad aplicable a este tipo de desarrollo. Posteriormente, el análisis de la normatividad se centró principalmente en la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SECRE-2004, así como la normatividad previa a la misma: la Norma

Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-001-SECRE-2002 y el proyecto de Norma PROY-NOM-013-SECRE-2003.

El tercer grupo involucra documentos donde se establecen estándares por parte de autoridades internacionales reconocidas en la materia. Tal información se centra en la regulación establecida por la Guardia Costera de Estados Unidos (USCG), la Asociación Nacional para la Protección contra el Fuego (NFPA) y la Comisión Federal Reguladora de la Energía de Estados Unidos (FERC)

Por último se recabó información referente a estudios y proyectos similares. Se recurrió principalmente a información publicada por expertos internacionales en materia de este tipo de desarrollos. Las principales fuentes fueron consultorías ambientales como Sandia Consulting Group, ABS Consulting, Good Harbour Consulting; instituciones y organizaciones internacionales como Rand Corporation y el Instituto para el Análisis de la Seguridad Global. Reportes y estudios presentados por organismos oficiales también fueron recopilados para su posterior análisis

Ya con la información recabada se procedió a realizar un análisis general de la documentación para poder resolver las interrogantes planteadas anteriormente, y satisfacer los objetivos de este estudio.

## IV. Características del proyecto.

### *IV.1. Área de estudio.*

La Terminal de Recibo de ECA se encuentra ubicada en la costa occidental de la península de Baja California. El sitio es conocido como “Costa Azul” y se localiza 1.5 km al suroeste de del km 80.2 de la carretera escénica Tijuana-Ensenada, y aproximadamente a 25 km al noroeste de la ciudad de Ensenada. Las coordenadas geográficas del sitio son 31°56’00’’ Norte y 116°51’00’’ Oeste.

Las instalaciones abarcan 30 ha y se localizan en una terraza marina, cerca de Punta Salsipuedes, municipio de Ensenada. El predio se encuentra en una zona costera relativamente plana con una pendiente gradual de aproximadamente 60 m de elevación hasta una distancia de 500 m a partir de la costa. La terminal está situada en los lotes 24, 25, 26, 27, 28 y 29, más un terreno sin número de la Colonia Costa Azul.

El predio donde se realizan las actividades de ECA se localiza en la Unidad de Gestión Ambiental 2 Costa Tijuana-Ensenada (UGT2), la cual es establecida en el Plan de Ordenamiento Ecológico del Estado de Baja California, decretado en 2005. En cuanto al

Plan de Desarrollo Urbano del Estado de Baja California, el cual fue publicado en septiembre del 2004, el predio se localiza en la UGT2. Por último, para el Programa Regional de Desarrollo Urbano Turístico y Ecológico del Corredor Costero Tijuana-Rosarito-Ensenada (COCOTREN), el predio se localiza dentro de dos Unidades de Gestión Ambiental: la UGA Salina Terraza y en la UGA Salsipuedes.

El tipo de vegetación de la zona corresponde a un matorral costero, formado por diversas asociaciones vegetales, entre las que destacan las especies xerófilas y crasicaules de no más de 1.5 metros de altura. ECA reporta que en el predio del proyecto se identificaron 45 especies de vegetación, de las cuales cinco se encuentran protegidas por la World Wildlife Foundation (WWF) y por la Convención de Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES) (*Euphorbia spp., Euphorbia leuciphylla, Euphorbia misera, Euphorbiacea spp. Suaeda califórnica*), y una se encuentra protegida por la NOM-059-ECOL-2010 (*Ferocactus viridescens*). Aunado a esto también reporta "7 especies de flora con una importancia ecológica y cultural significativa (*Eriogonum fascilatum, Brassica campestris, Lotus scoparius, Agave shawii, Dudleya lanceolata, Dudleya attenuata y Mamilaria dioca*)".

El clima característico de la zona (temporada de lluvias invernales y un verano seco y prolongado) fomenta un fuerte crecimiento de biomasa en primavera y una desecación durante el verano. Un ambiente con baja humedad causa el estancamiento de nutrientes, bajas tasas de descomposición y acumulación de biomasa muerta; lo que se traduce en pendientes cubiertas de arbustos secos que se vuelven flamables después de varias décadas de crecimiento (Freedman, 1984). Dadas estas condiciones, una vez que existe una fuente de ignición, el fuego se esparce rápidamente acabando con la cobertura vegetal y poniendo en riesgo la infraestructura que se encuentre cercana.

En el reporte anual de la CONAFOR (2009), el estado de Baja California fue la décima entidad federativa con mayor número de incendios en el país (274). Sin embargo, fue la primera entidad federativa con mayor superficie afectada por los incendios (71, 854.6 Ha).

La línea de costa tiene una orientación noroeste-sureste, y se halla expuesta a la acción directa del oleaje de mar abierto, por lo que es una región de alta energía. La costa contigua a la terminal de ECA es de carácter rocoso debido a diversos afloramientos de material ígneo. La costa está conformada en gran parte por acantilados estables de altura media entre 3 y 10 metros.

La porción marina del sitio se caracteriza por una zona de oleaje rocosa con pendiente moderada, y una inclinación suave cerca de la costa. Las áreas rocosas se inclinan hacia el mar 15 metros en el plano horizontal hasta un metro en el plano vertical. En aguas bajas, los afloramientos son indicados por crestas rocosas que surgen a lo largo del lecho marino, a profundidades de 5 a 30 metros. Mar adentro, la roca es cubierta con una capa de arena que tiene una superficie relativamente suave.

**Figura 3. Localización de la Terminal de Recibo, Almacenamiento y Regasificación de Gas Natural Licuado, Energía Costa Azul.**

En cuanto a infraestructura aledaña a las instalaciones de ECA, aproximadamente a 1.8 km en dirección este se encuentra la “Terminal Marítima para Recepción y Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo” perteneciente a la compañía Zeta Gas de Baja California S.A. de C.V. Las instalaciones de Zeta Gas se encuentran en fase de construcción y tienen proyectado contar con un punto de atraque de Buques Tanque costa afuera (Boya de amarre de Zeta Gas, Figura 3), el cual se encuentra a una distancia

de aproximadamente 1.5 km de la Terminal de ECA, un sistema de descargue de Buques Tanque de Gas Licuado de Petróleo (GLP) y 20 tanques metálicos esféricos de almacenamiento con capacidad de 43,619 barriles de petróleo cada uno. La superficie total del predio comprende un área de 790,567 $m^2$, de los cuales se utilizarán 86,871 $m^2$ para la construcción de la infraestructura requerida para la operación de la Terminal. La frecuencia de arribo de buques tanques no es especificado en el Manifiesto de Impacto Ambiental presentado por Zeta Gas.

Aproximadamente a 2 km hacia el norte y este de las instalaciones de ECA se encuentra la carretera de cuota Tijuana-Ensenada. Esta es el subsistema carretero de mayor flujo anual en Baja California: en 2002 se registró un aforo de 11 millones de vehículos por esta carretera. La autopista Tijuana-Ensenada genera gran desarrollo económico y social para la región noroeste del estado, ya que por ella transita la mayor parte del turismo que toca tierras bajacalifornianas. Esta también es una de las principales vías terrestres para el movimiento por tierra de la carga que tiene como origen o destino el puerto de Ensenada. La autopista es de altas especificaciones (4 carriles y 2 cuerpos) y a través de ella se transportan los mayores flujos de carga manejados. Esta es uno de los enlaces básicos para comunicar el puerto con la red carretera principal de EUA.

Al noroeste de las instalaciones de ECA, entre los kilómetros 74 y 79 de la carretera de cuota Tijuana-Ensenada, se encuentra el complejo turístico Bajamar Costa Diamante. Este fue autorizado en abril de 1974 y cuenta con una superficie de 1’509,961 $m^2$. El complejo turístico cuenta con un hotel de 81 habitaciones, aproximadamente 600 casas habitación y un campo de golf de 36 hoyos

## *IV.2. Proceso de regasificación del GNL.*

El GNL es recibido a través de buques cisterna, los cuales se posicionan en el muelle, junto a la escollera. Los barcos realizan la aproximación al muelle guiados por un remolcador a través de los canales de aproximación hasta el área de anclaje. Ya en dicha área, un operario mueve los brazos que conectan los tanques del buque cisterna con la tubería de la planta que van a los tanques, mediante un sistema de control remoto.

La descarga del gas natural del buque cisterna a los tanques en tierra se realiza a una taza de 11,600 $m^3$/hr, usando las bombas del propio buque cisterna y brazos de descarga de 16” de diámetro. Desde la escollera se manda el gas a un cabezal en el tanque de almacenamiento y de ahí hacia el interior del tanque.

El equipo de la escollera y las líneas de descarga, están diseñadas para descargar el contenido total de un tanque de 160,000 $m^3$ entre 16 a 18 horas. Se necesitan de 24 a 26 horas para las tareas de atraque, conexión-desconexión y salida del buque cisterna. De esta manera un buque cisterna podrá estar hasta 26 horas dentro de la zona de maniobras de la terminal, en condiciones normales.

Los tanques de almacenamiento tienen una entrada en la parte superior del tanque, contando con dos descargas: una en la parte superior y otra en el fondo de cada tanque. Para evitar la sobrepresión, el gas natural es descargado en la parte superior y en el fondo de cada tanque. Tres bombas sumergibles suspendidas en la parte superior del tanque bombean el gas natural fuera del tanque a una presión de 6.46 $kg/cm^2$. Un quemador de baja presión mantiene al tanque de almacenamiento seguro por situaciones de sobrepresión, si el tanque excede el límite máximo de operación de 290 mbar g.

Las bombas de los tanques tienen capacidad para enviar gas natural con un gasto de 1,350 $m^3$/hr (675 $m^3$/hr cada una). En el condensador, el flujo de gas natural precalentado en los compresores es enviado fuera de la terminal a una presión de 5.4 $kg/cm^2$. Del condensador sale el gas natural hacia las bombas de alta presión. Nueve unidades más una de reserva, están diseñadas para bombear 250 $m^3$/hr de gas natural a los vaporizadores.

El gas natural es vaporizado en 6 unidades. Cada una de ellas está diseñada para vaporizar 200 toneladas métricas por hora. El diseño de los vaporizadores está formado por tubos finos que permiten fluir el agua de mar en una capa fina a través de los paneles. Los vaporizadores calientan al gas natural (por el intercambio de calor) hasta 4.4-15 °C.

El gas natural de salida de los vaporizadores es medido y enviado a las tuberías a una presión de 81.63 $kg/cm^2$. El flujo de agua de mar a la entrada promedia 18,000 $m^3$/hr, para un rango de vaporización de 37 millones de metros cúbicos por día. La temperatura de salida del agua de mar es 8.5 °C menor que la de entrada. La cantidad máxima de agua de mar usada podrá llegar a 24,000 $m^3$/hr, para un máximo de 61 millones de metros cúbicos de gas natural enviados.

Durante las tareas de descarga del buque cisterna, la mayor parte de los vapores quedan en el tanque del buque cisterna. El sobrante es normalmente comprimido hasta 5.9 $kg/cm^2$ y enviado a los condensadores.

# V. Resultados.

## *V.1. Análisis técnico a los estudios de riesgo.*

### V.1.1. Variables climatológicas.

En los estudios de riesgo de los dos proyectos presentados por ECA (“Terminal de recibo, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado” y “Ampliación de la terminal de recibo, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado”), en la sección donde describen las características climáticas entorno a las instalaciones, la empresa presenta información de las estaciones meteorológicas de los aeropuertos de Tijuana y Mexicali.

Posteriormente, esta información es utilizada para correr los modelos de dispersión de contaminantes y para determinar el área de afectación de un posible evento de riesgo. Es a través del cálculo de estas huellas de peligro y zonas de vulnerabilidad que ECA determina que sus instalaciones no necesitan un área de amortiguamiento, ya que las condiciones de riesgo que podrían resultar perjudiciales para la salud humana caen dentro de los límites de su terreno.

ECA en su reporte de riesgo menciona que utilizan el programa PHAST (Process Hazard Analysis Software) para la modelación de estos posibles accidentes y la determinación de su área de afectación. Sin embargo, ECA contrató a la empresa Quest Consultants, la cual cuenta con su propio programa CANARY+, para realizar los estudios de riesgo y la determinación de las huellas de peligro y zonas de vulnerabilidad. Pese a que estos programas son ampliamente utilizados por su reconocida confiabilidad, el hecho de utilizar variables atmosféricas tomadas de otras localidades a la zona de estudio, y que por sus condiciones fisiográficas no guardan ningún parecido con la misma, implica que los resultados obtenidos de las modelaciones no representen confiablemente el comportamiento de un evento o condición de riesgo en las instalaciones de ECA. Los programas no requieren ser alimentados directamente con las series de tiempo obtenidas de las estaciones meteorológicas, pero sí utilizan las condiciones críticas del sitio para poder modelar el comportamiento del evento de riesgo. Por lo tanto, sí es necesario contar con las variables climáticas locales para poder analizar los escenarios críticos de condiciones atmosféricas, los cuales son utilizados para la modelación de estos programas.

Por otra parte, SEMARNAT cuenta con una guía para la presentación de estudios de riesgo ambiental (Análisis Detallado de Riesgo Nivel 3), la cual es publicada por la misma

dependencia y estaba vigente al momento de la realización de los estudios de riesgo elaborados por ECA. Esta guía solicita parámetros diferentes a los que son utilizados en los estudios de ECA, tanto climatológicos como los necesitados para calcular las áreas de afectación. En el apartado VI.3 de la guía se expresa que "…incluir la memoria del cálculo para la determinación de los gastos, volúmenes, y tiempos de fuga utilizados en las simulaciones, debiendo justificar y sustentar todos y cada uno de los datos empleados en estas determinaciones"; dicha justificación y sustentación nunca es realizada.

Esta guía también señala en la sección III.2 que "En modelaciones por toxicidad, deben considerarse las condiciones meteorológicas más críticas del sitio con base en la información de los últimos diez años". Los datos obtenidos de los aeropuertos de Tijuana y Mexicali en ningún momento pueden representar las condiciones meteorológicas más críticas del sitio, puesto que la fisiografía del lugar es completamente diferente; ECA se encuentra en una línea de costa delimitada hacia el Este por cerros de aproximadamente 300 m de altura, mientras que el aeropuerto de Tijuana se encuentra en una meseta a 15 km de la costa, y el aeropuerto de Mexicali se encuentra en una planicie agrícola a 176 km del Océano Pacífico. Las condiciones meteorológicas del sitio son muy diferentes a las presentes en estos aeropuertos.

La guía también menciona que: "Para el caso de simulaciones por explosividad, deberá considerarse en la determinación de las Zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento el 10% de la energía total liberada". Esta consideración tampoco fue tomada en los modelos de riesgo utilizados por ECA.

### V.1.2. Presentación de los resultados.

Como se mencionó antes, ECA contrató a la compañía QUEST Consultants para realizar la modelación de sus estudios de riesgo. La información generada, así como los resultados de dichas modelaciones son presentados como anexos al estudio de riesgo sometido ante SEMARNAT. Específicamente, en dicho anexo se presenta la Figura 4, la cual representa las zonas de vulnerabilidad causadas por una nube de vapor inflamable para un derrame de GNL. En el texto del mismo documento se afirma que dicha figura representa la extensión de las zonas vulnerables del vapor inflamable, y que dichas zonas "no se extienden fuera del sitio en ninguna área de tierra"

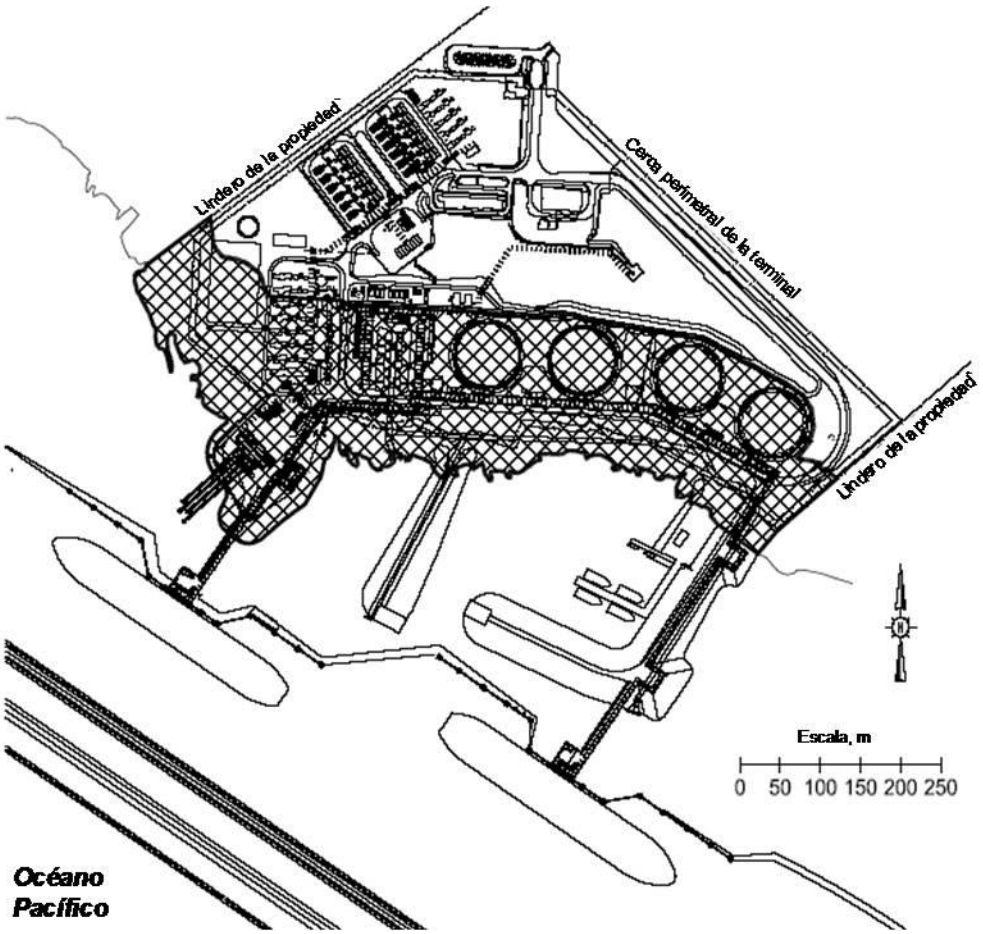


**Figura 4. Zona de vulnerabilidad de la nube de vapor inflamable para un derrame de diseño de GNL**

Al observar la Figura 4, resulta evidente que los extremos de la nube de vapor fueron "forzados" a coincidir con los límites noroeste y sureste de las instalaciones, en perfecta colindancia con las fronteras del predio. El tamaño y forma de las zonas de vulnerabilidad responde, como bien es señalado en la sección de "Cuantificación de Riesgos" del estudio de Quest Consultants, a factores tales como la orientación de la emisión (e.g., vertical u horizontal), a la velocidad del viento, la estabilidad atmosférica, el terreno local (incluyendo diques y drenajes), la composición, presión y temperatura del fluido que se está emitiendo, el inventario de los contenedores, o el diámetro de la alberca líquida. Ninguno de los factores antes señalados hace que sea físicamente posible la colindancia de la zona de vulnerabilidad con los límites del predio.

Por otra parte, en el estudio elaborado por Quest Consultants (Anexo del proyecto de ampliación de ECA), se presenta la Figura 5. Esta figura muestra la "mayor nube de vapor inflamable" resultante de la ruptura de la línea de una tubería de transferencia de GNL, específicamente de la sección que parte del "cabezal de succión de la bomba de alta

presión hasta el lado de succión de una bomba de alta presión". Este escenario está proyectado para el peor caso de condiciones atmosféricas, y la consultora Quest reporta que la nube de vapor se expande a 857 metros desde el punto de emisión.

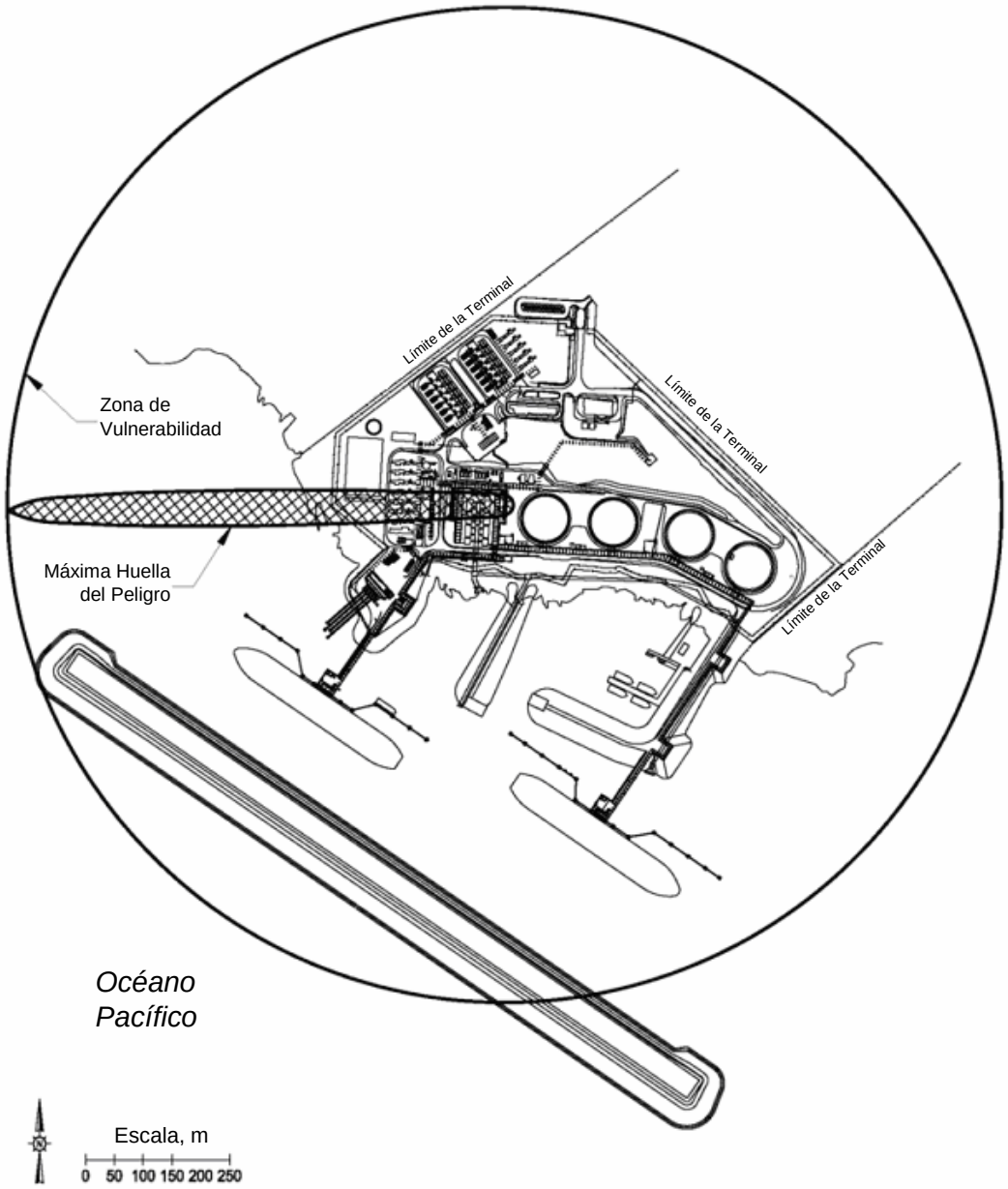


**Figura 5. Máxima Huella del Peligro y Zona de Vulnerabilidad para la Ruptura de una Línea de Succión de una Bomba de Alta Presión**

De la información presentada y descrita en el párrafo y la figura anterior destacan dos cosas: que la nube de vapor sobrepasa por mucho (~600 metros) los límites del predio, y que la estimación está hecha solo en función del alcance de la nube de vapor inflamable,

sin tomar en cuenta y calcular los límites de calor radiante señalados por SEMARNAT en su Guía Análisis Detallado de Riesgo Nivel 3 (ver Tabla 1), como tampoco los establecidos en el apartado 107.3.2 de la NOM-013-SECRE-2004 en la cual se establece un valor de 5kW/$m^2$ como el límite de radiación térmica que debe estar comprendido dentro del predio de la empresa.

**Tabla 1. Parámetros para definir y justificar las zonas de seguridad del proyecto.**

| | *Zona de Alto riesgo* | *Zona de Amortiguamiento* |
|---|---|---|
| *Toxicidad (Concentración)* | *IDLH* | *TLV8* |
| *Inflamabilidad (Radicación térmica)* | *5 kw/$m^2$* | *1.4 kw/$m^2$* |
| *Explosividad (Sobrepresión)* | *0.070 Kg/$cm^2$* | *0.035 Kg/$cm^2$* |

V.1.3. Escenarios de riesgo y normatividad aplicable.

En el Estudio de Riesgo del proyecto de ampliación, ECA presenta un apartado titulado "Zona de Impacto Radiante". En dicho apartado expone los resultados obtenidos del "Análisis de la zona de Peligro", y presenta en una tabla (tabla 6.3 de su estudio) los "resultados de los cálculos de la zona de amortiguamiento para la radiación por incendio para las emisiones de GNL de alto riesgo y catastróficas creíbles identificadas". A su vez presenta la Figura 6, donde se muestran los resultados para la zona de amortiguamiento para la radiación por incendio más grande encontrados en dicha tabla.

En la Figura 6 es posible observar que las zonas radiantes de alto riesgo (5.0 kW/m2) y de transición (1.4 kW/m2) definidas por SEMARNAT no rebasan los límites de la terminal de GNL". Sin embargo, en el estudio realizado por Quest y presentado como información anexa, en el apartado de "Resultados del Estudio", se presentan cinco figuras en las cuales se ilustra el riesgo anual para las personas en las proximidades del área en función de su distancia al área. Cada figura muestra el contorno de "riesgo de exposición letal a cualquier de los peligros asociados a todas las emisiones originadas dentro de la terminal". De estas figuras, resalta la Figura 7, en la que se puede apreciar que los contornos de riesgo correspondientes a las probabilidades $10^{-6}$, $10^{-7}$ y $10^{-8}$ exceden los límites del predio.

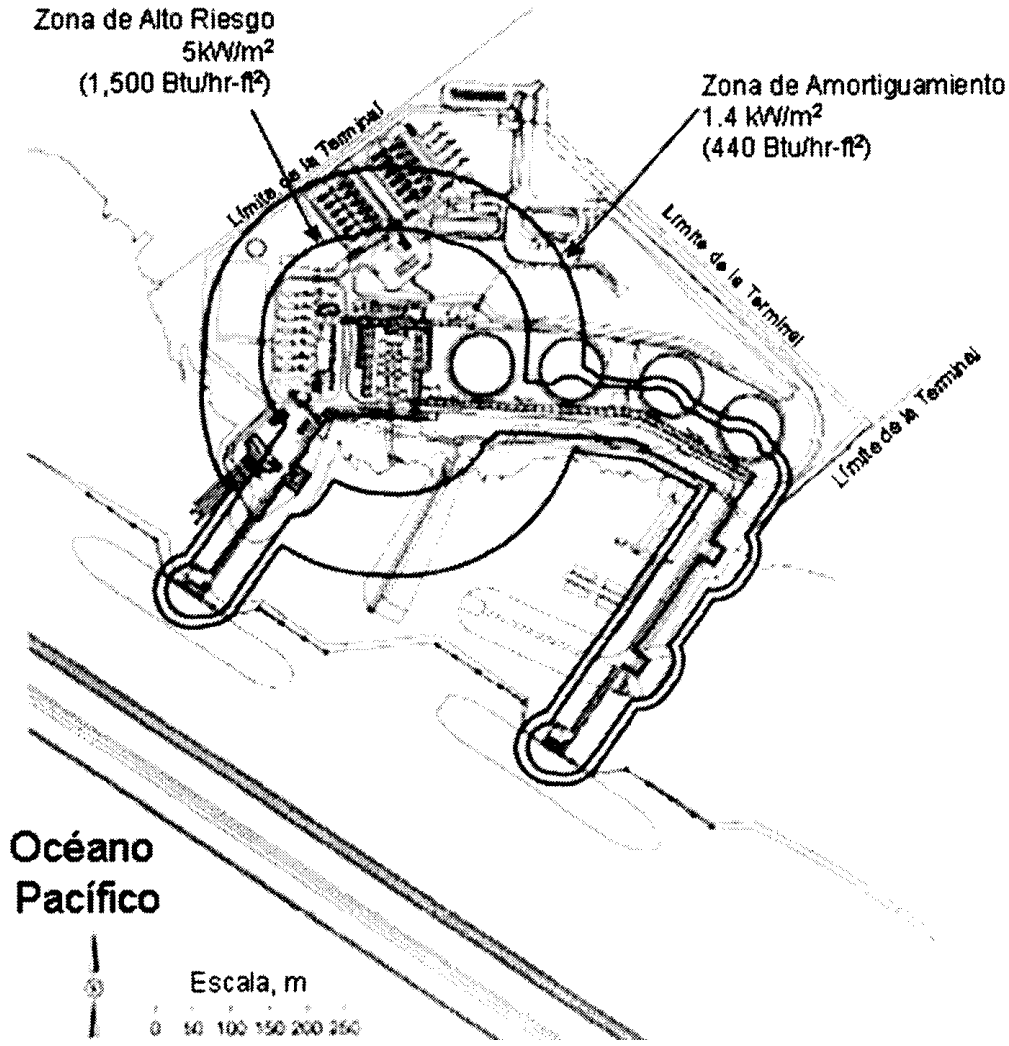


**Figura 6. Zona de Impacto por la Radiación Ocasionada por Incendio para todas las Emisiones de Alto Riesgo y Catastróficas creíbles.**

Por otra parte, la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos (Emergency Management Agency; FEMA) en su manual de procedimientos para el análisis de riesgos químicos (Handbook of Chemical Hazard Analysis Procedures) estableció la relación entre la intensidad de la radiación térmica y el tiempo de exposición para sufrir quemaduras de segundo grado (Tabla 2; FEMA, 1990).

**Tabla 2. Lesión por radiación térmica. Criterio (FEMA, 1990)**

| *Intensidad de Radiación Térmica* | | *Tiempo para sufrir dolor severo (seg)* | *Tiempo para sufrir quemaduras de Segundo Grado (seg)* |
|---|---|---|---|
| *BTU/hr ft$^2$* | *kW/m$^2$* | | |
| *300* | *1* | *115* | *663* |
| *600* | *2* | *45* | *187* |
| *1000* | *3* | *27* | *92* |
| *1300* | *4* | *18* | *57* |
| *1600* | *5* | *13* | *40* |
| *1900* | *6* | *11* | *30* |
| *2500* | *8* | *7* | *20* |
| *3200* | *10* | *5* | *14* |
| *3800* | *12* | *4* | *11* |

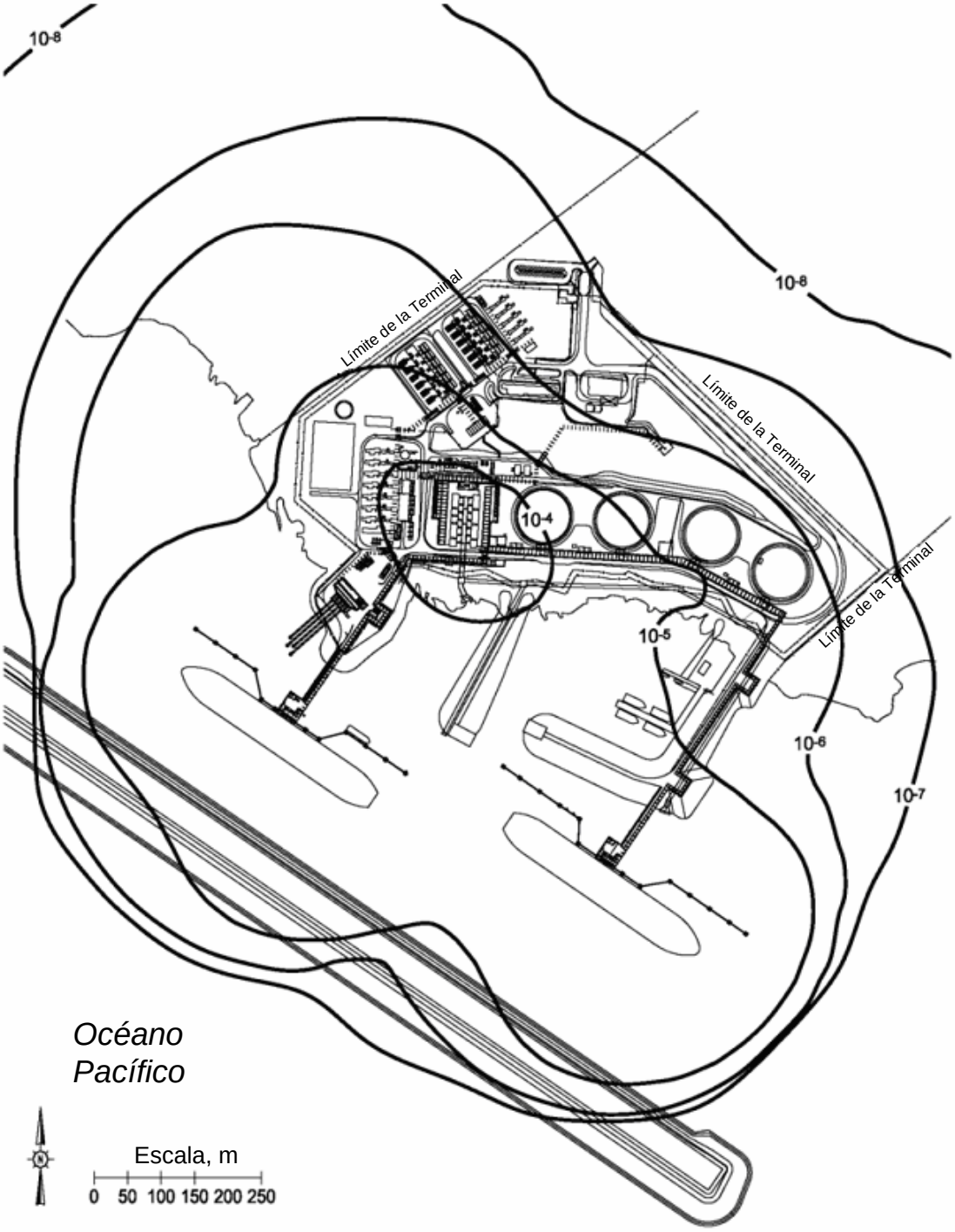


**Figura 7. Contornos de Riesgo para la Terminal de Importación de GNL de Energía Costa Azul**

De acuerdo con lo manifestado por ECA respecto a la zona de impacto radiante; la radiación de 5 $kWm^2$ no excederá los límites del predio (Figura 6) “para todas las emisiones de alto riesgo y catastróficas creíbles”. Sin embargo, de los resultados obtenidos por el estudio de Quest, en la Figura 7 claramente se observa que hay una zona de riesgo de fatalidades que excede considerablemente los límites del predio. Esto quiere decir que sí existe una probabilidad de que se presente un impacto radiante de consecuencias fatales fuera de estos límites. Como puede deducirse de la relación entre la intensidad de la radiación térmica y el tiempo de exposición para sufrir quemaduras de segundo grado; para que exista la probabilidad de fatalidades en un radio determinado, los niveles de impacto radiante deberán exceder en algún momento los 5 $kW/m^2$.

Las restricciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-013-SECRE-2004 respecto a la radiación térmica no indican en ningún momento que las probabilidades de ocurrencia del evento deben de ser tomadas como criterio de zona de amortiguamiento. Las restricciones están encaminadas a evitar la ocurrencia de una radiación igual o mayor a 5 $kW/m^2$. De acuerdo con esto y contrariamente a lo manifestado por ECA, los riesgos del impacto radiante sí podrían exceder los límites del predio y los radios representados en la Figura 6 no son el peor escenario posible.

V.1.4. Atributos ambientales.

En el Estudio de Riesgo de la Ampliación de la Terminal, en la sección de resultados, ECA presenta una tabla titulada “Matriz de Riesgos con Escenarios de Accidentes”. En dicha tabla contrasta la frecuencia de ocurrencia de un posible accidente contra la magnitud del mismo, mostrando los resultados de los análisis de su evaluación cualitativa. Con base en dicha tabla ECA concluye que “Ninguno de los escenarios de accidentes cae en la categoría frecuente, y solamente uno cae en la categoría posible.” Posteriormente señala que el accidente dentro de la categoría posible podría afectar a las áreas pobladas externas, pero argumenta que “la probabilidad de que dicho evento ocurra es extremadamente baja: una posibilidad en cien millones por año. Jamás ha ocurrido un evento de esa naturaleza en una Terminal de exportación o importación de GNL”

Si bien bajo criterios internacionales podría considerarse que un riesgo con las probabilidades señaladas es “aceptable”, el requisito sería que dicho riesgo estuviera confinado al interior del predio propiedad de la empresa.

La Guía de Análisis de Riesgo de la SEMARNAT define a la Evaluación del Riesgo Ambiental como un instrumento de carácter preventivo mediante la aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas de manejo a las tareas de análisis, evaluación y control de riesgos con el fin de proteger a la sociedad y al ambiente anticipando la posibilidad de liberaciones accidentales de sustancias consideradas como peligrosas por sus características CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico Infeccioso) en las instalaciones y evalúa su impacto potencial, de manera tal que éste pueda prevenirse o mitigarse (SEMARNAT, 2002).

A su vez la LGEEPA define al Ambiente como "El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados"

Como se puede observar en los resultados expuestos en párrafos anteriores, en las conclusiones y a lo largo de todo el estudio, ECA realiza un análisis de riesgo solo abordando la parte social del ambiente, ignorando completamente todos los otros atributos físicos, económicos y biológicos que son parte integral del ambiente.

ECA reporta en sus Manifestaciones de Impacto Ambiental que para las inmediaciones y la zona del predio, se cuenta con vegetación del tipo matorral costero no fragmentado, y señala que "Se trata de uno de los últimos parches de este tipo de vegetación mejor conservada a lo largo del corredor Tijuana-Ensenada".

ECA también reporta que se identificaron 45 especies de vegetación, de las cuales cinco se encuentran protegidas por la World Wildlife Foundation (WWF) y por la Convención de Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES) (*Euphorbia spp., Euphorbia leuciphylla, Euphorbia misera, Euphorbiacea spp. Suaeda califórnica*), y una se encuentra protegida por la NOM-059-ECOL-2010. Aunado a esto también reporta "7 especies de flora con una importancia ecológica y cultural significativa (*Eriogonum fascilatum, Brassica campestris, Lotus scoparius, Agave shawii, Dudleya lanceolata, Dudleya attenuata y Mamilaria dioca*)".

Las especies anteriormente listadas podrían ser afectadas por un incendio forestal derivado de los escenarios presentados por ECA. La ignición de la madera está en función del tiempo de exposición y los niveles de exposición de radiación térmica (Figura 8) y esta se encendería si estuviera expuesta a una radiación térmica por arriba de un valor crítico de 13.1 kW/m$^2$. (Cohen & Butler, 1996). Como se argumentó en el apartado

anterior, es posible que los riesgos del impacto radiante excedan los límites del predio con valores probablemente por encima del valor crítico de ignición de la madera.

Cabe mencionar que una falla en el equipo de la terminal derivado de un escenario de riesgo afectaría el suministro de Gas Natural, y esto repercutiría económicamente a los sectores productivos que son abastecidos por ECA. En ningún momento es evaluado el impacto económico derivado de los diferentes escenarios de riesgo reportados por ECA.

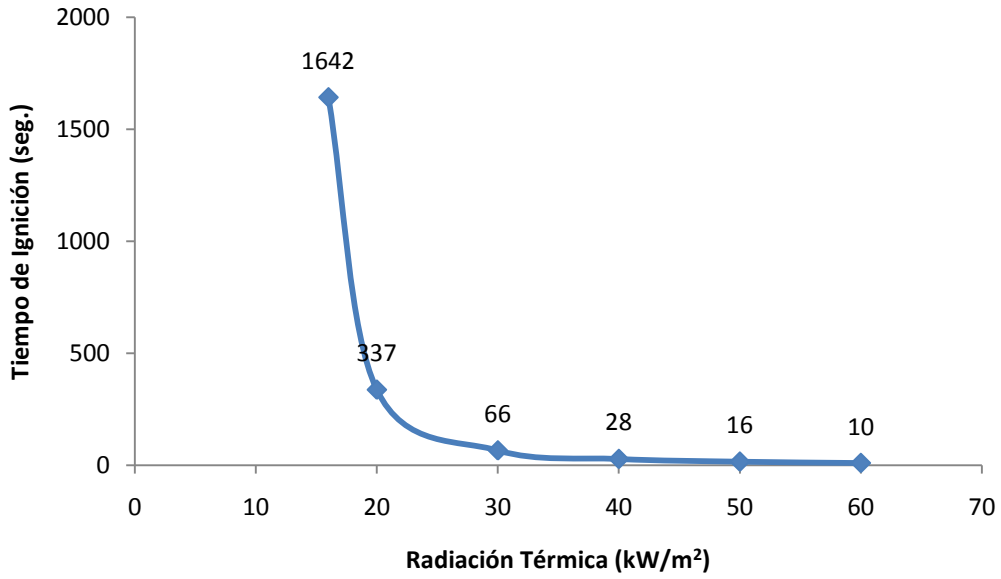


**Figura 8. Tiempo mínimo para la ignición de madera. Tomado y adaptado de Cohen & Butler, 1996.**

### V.1.5. Contingencia en embarcaciones

Una de las principales fallas en los estudios de riesgos presentados por ECA, es que en ninguno de ellos considera una contingencia en las embarcaciones que transportan el GNL previo a la descarga. Todos los riesgos evaluados en dichos estudios se centran en la operación de las instalaciones y no analiza las posibles contingencias asociadas a eventos externos relacionadas con las embarcaciones. Sin embargo, este tipo de contingencias no solo son posibles sino que además, como es constatado en los resultados de diferentes estudios (*e.g.* ABS, 2004; Clarke, 2005; Libicki *et al*., 2007, USGAO, 2007; Hightower *et al*., 2004; Hurst, 2008), representan escenarios de riesgo cuyas consecuencias son más graves que cualquiera de las derivadas de un accidente relacionado con la operación normal de las instalaciones.

Los escenarios de riesgo asociados a una contingencia con los buques cisterna de GNL se agrupan en dos categorías principales: El choque de embarcaciones y un ataque terrorista.

*Choque de embarcaciones*

El tráfico marítimo de embarcaciones mayores en la zona en la que opera ECA incluye diversos tipos de barcos mayores a 250 metros y con tonelajes superiores a 40,000 Ton (portacontenedores, graneleros y cruceros). El puerto de Ensenada recibe semanalmente al menos dos cruceros de pasajeros y dos buques de carga (ya sea graneleros o portacontenedores). Por otra parte, la terminal de ECA está diseñada para recibir dos buques cisterna de manera simultánea, lo cual implica la navegación simultánea de los mismos en las inmediaciones de la terminal. Finalmente, se debe considerar como parte del tráfico marítimo de la zona la presencia de buques cisterna que transportarán propano (gas LP) a las instalaciones de la empresa Z gas que se encuentra en construcción en un predio contiguo a las instalaciones de ECA y que realizará maniobras de descarga mediante una boya ubicada aproximadamente a 1,850 metros de distancia del muelle de atraque de ECA (Figura 3).

*Antecedentes de accidentes marítimos con buques cisterna de GNL.*

En junio de 1979 el buque cisterna El Paso Paul Kayserr encalló en el Estrecho de Gibraltar. Pese a que la embarcación sufrió daños mayores a su parte inferior, el casco interno y los contenedores de GNL mantuvieron su integridad. La embarcación fue puesta flote 5 días después del accidente y la carga pudo ser llevada a puerto.

En octubre de 1980 el buque cisterna LNG Libra, con 125,000 m3 de capacidad, sufrió una avería mayor en su propela, dejándolo sin propulsión. La carga debió ser bombeada a un buque similar anclado contiguo al LNG Libra. Pese a que no hubo daños mayores, las autoridades filipinas y los operadores del buque reconocieron que la carga debió ser rápidamente transferida para minimizar los riesgos asociados al evento.

En diciembre de 1980 el buque cisterna LNG Taurus, con 125,000 m3 de capacidad, durante su aproximación al puerto de Tobata, Japón, encalló bajo fuertes condiciones meteorológicas, sufriendo severos daños en su parte inferior, ocasionando la ruptura de sus tanques de lastre. A pesar de estos daños, el casco interno del barco no sufrió averías. Posteriormente al reflote de la embarcación la carga pudo ser llevada a puerto.

En septiembre del 2001 el buque cisterna Rossenberg sufrió la inclinación de uno de sus tanques, esto durante las operaciones de enfriamiento en una instalación de GNL en los Estados Unidos. El resultado fue una fisura en una de las cubiertas del tanque. El sistema de confinamiento no sufrió averías, y tampoco hubo daño estructural de la embarcación. La embarcación pudo descargar su contenido sin mayores problemas.

*Antecedentes de accidentes marítimos mayores en la región.*

Diversos accidentes marítimos han ocurrido en la costa del estado de Baja California. Silva Íñiguez (1995) documenta cuatro accidentes marítimos ocurridos entre 1957 y 1988. Por otra parte, Peynador y Escofet (2010) reportan el encallamiento del portacontenedores APL Panamá en la zona conocida como Playa Hermosa, dentro de la Bahía de Todos Santos. Este último accidente involucra la embarcación más grande que se haya accidentado en la región. En la Tabla 3 se listan los accidentes marítimos que han involucrado embarcaciones mayores en la región.

**Tabla 3. Accidentes marítimos de embarcaciones mayores en la costa de Baja California.**

| Fecha | Descripción |
|---|---|
| Marzo, 1957 | La embarcación *Tampico Maru* encalla en la Bahía Tampico, dejando escapar 60 mil barriles de petróleo crudo en la zona costera. |
| Abril 15 y 16, 1971 | 60 mil barriles de combustible pesado fueron derramados por el buque *Plan de Ayala* en las inmediaciones de Rosarito. |
| Enero, 1972 | El barco *California* se hunde cerca de Playa Saldamando, dejando escapar todo el contenido de sus tanques de combustible. |
| Noviembre 18, 1988 | El barco pesquero *Teacapán* encalló en Isla San Benito, dejando escapar 900 mil litros de diesel en un periodo de 4 días. |
| Diciembre 25, 2005 | El portacontenedores *APL Panamá* encalló en la zona de Playa Hermosa, dentro de la Bahía de Todos Santos. |

Estos antecedentes reflejan claramente que los accidentes marítimos que involucran embarcaciones mayores son una posibilidad real para la zona. Hightower y colaboradores (2004) reportan que existen situaciones de daños accidentales a depósitos de carga de GNL que potencialmente podrían causar un área de ruptura efectiva de 0.5 a 1.5 $m^2$. Este riesgo es mayor en la actualidad en virtud del aumento del tráfico marítimo de los últimos

años y aumentará aún más con la entrada en operación de las instalaciones de Z gas. ECA no considera estos factores relevantes en su estudio de riesgo, realizando un análisis superficial considerando solo los accidentes históricos limitados a los buques cisterna. ECA soslaya los riesgos asociados a las actividades que se llevan a cabo en su proyecto, por lo que no cuantifica cabalmente las posibles consecuencias que se derivarían de un choque de embarcaciones.

*Ataque terrorista*

Pese a que nunca ha ocurrido un ataque contra una terminal o un buque cisterna de GNL, una parte central de la estrategia de grupos terroristas como al-Qaeda ha sido el terrorismo marítimo. En Yemen, en octubre del 2000, ocurrió un atentado suicida contra la embarcación militar USS Cole, la cual dejo un saldo de 17 marineros muertos. En 2002, otro grupo terrorista colisionó una embarcación menor contra el petrolero francés Limburg, la cual transportaba 400 mil barriles de crudo.

Por otra parte, se han dado reportes que indican que los terroristas contemplan las instalaciones de GNL como un posible blanco. En noviembre del 2002, la captura de Abd al-Rahim al-Nashiri, comandante operacional y especialista de operaciones marítimas de al-Qaeda, trajo a la luz la idea de que grupos extremistas probablemente han estado planeando atacar este tipo de instalaciones. Durante un interrogatorio, Nashiri indicó que al-Qaeda cuenta con información acerca de la vulnerabilidad de los buques cisterna a ataques suicidas, y el impacto que esto tendría en la economía. Nashiri afirma que al-Qaeda posee un manual que describe “los mejores lugares para atacar los buques cisternas” (Hurst, 2008).

ECA señala, en su primer estudio de riesgo, que el análisis aplicado para la identificación de riesgos externos toma en consideración dos cosas: la contribución de eventos naturales (inundaciones, relámpagos, terremotos) al porcentaje de falla de equipo de proceso y la vulneración de la instalación basada en su diseño, y la probabilidad histórica de un evento. Para este último punto ECA argumenta que “Por ejemplo, los datos estadísticos indicarían que la probabilidad de un impacto de avión la pondría en la categoría de Improbable. Por lo tanto, los impactos de avión se encuentran siempre en la sección Normal de la matriz de riesgos. Debido a ello, no se requiere una explicación detallada de este tipo de evento.” A su vez, en el estudio de riesgo de la Ampliación de la Terminal, ECA señala que la metodología aplicada para la identificación de riesgos

cumple con lo requerido en la NOM-013-SECRE-2004, al contemplar las probabilidades de ocurrencia de eventos de riesgo.

Sin embargo, ECA solo cumple parcialmente con lo requerido en la NOM-013-SECRE-2004. En esta se expresa que “La metodología del análisis de riesgos aplicada a la terminal de almacenamiento de GNL debe ser probabilística y determinística”. ECA en sus dos estudios de riesgo solo aborda el enfoque probabilístico. Las consideraciones que se deben tomar dentro del enfoque determinístico son:

a) Definición de peligros de origen interno y externo a la terminal de almacenamiento de GNL.
b) Establecimiento de peligros probables.
c) Determinación y cuantificación de las consecuencias de un accidente.
d) Justificación de las medidas necesarias para mejorar la seguridad y limitar los riesgos.”

A su vez, para la identificación de peligros de origen externo “Se deben realizar estudios para identificar los peligros factibles del entorno natural, urbano e industrial y de las vías de comunicación en el exterior de la terminal de almacenamiento de GNL y que son causados, entre otros, por lo siguiente:

a) Atraque y maniobra de los buques
b) Radiación térmica debida a incendios
c) Nubes de gases inflamables, asfixiantes, tóxicos o irritantes
d) Impacto de barcos y aviones, entre otros
e) Eventos naturales tales como rayos, inundación, sismos y maremotos, entre otros
f) Ondas de radio de alta energía

### *V.2. Metodologías alternas para la determinación de riesgos externos.*

Los atentados del 11-S a las torres gemelas cambiaron al mundo en muchas formas. Una de ellas fue un cambio de paradigma en la forma de percibir y calcular el riesgo de un determinado proyecto.

Las metodologías tradicionales identifican y cuantifican el riesgo en función de la probabilidad de ocurrencia de un determinado evento. Para hacerlo se puede recurrir a

datos de fallas de material, o a la frecuencia de eventos similares ocurridos en el pasado, para predecir que tan frecuente o cuando se podría esperar que ocurriera una condición o evento de riesgo. De esta forma, al estimar cuándo y cómo podría darse un evento de riesgo no deseado, se pueden proponer y aplicar medidas de control y mitigación para minimizar los impactos esperados. Sin embargo estas aproximaciones metodológicas habrían determinado como “Improbable” o “Probabilidad no cuantificable” al escenario ocurrido el 11-S.

Estudios recientes (Clarke, 2005; Libicki *et al*., 2007; USGAO, 2007; Hurst, 2008) señalan que los cálculos de las metodologías tradicionales son insuficientes al enfrentarse a los riesgos de seguridad que representa los grupos terroristas, ya que la probabilidad de ocurrencia de un ataque terrorista no puede ser efectivamente medida, puede ser vista como un “riesgo previsible”.

Good Harbour Consulting es una empresa consultora especialista en contraterrorismo. Entre sus especialistas se encuentra el analista Richard A. Clarke, quien fue titular de la oficina de contraterrorismo de la Casa Blanca durante los últimos tres mandatos presidenciales. Clarke y colaboradores (2005) publicaron un reporte titulado “Instalaciones de GNL en Áreas Urbanas” (LNG Facilities in Urban Areas). En vez de calcular la probabilidad de un ataque, Good Harbour Consulting propone en dicho reporte una metodología alterna de cinco pasos, para determinar los riesgos de seguridad e identificar los costos asociados a un ataque terrorista. (Clarke *et al.*, 2005):

“Intencionalidad

En qué medida los grupos terroristas han expresado interés en atacar un objetivo en particular, y a su vez si sus metas y prioridades en general serían alcanzadas por dichos ataques.

Capacidad

En qué medida los grupos terroristas han obtenido o podrían fácilmente obtener los medios necesarios para conducir un ataque significativo contra una instalación de Gas Natural Licuado.

Vulnerabilidad

En qué medida una instalación posee una debilidad inherente a cierto tipo de ataques, con y sin esfuerzos de mitigación.

Consecuencias

Cuál es el intervalo de daños ocasionados por un ataque a las instalaciones de GNL, en qué medida las instalaciones y las comunidades en donde reside poseen las capacidades adecuadas para responder a tales circunstancias, y cuál sería el costo de crear dichas capacidades y quién debería de asumir los costos asociados.

Recuperación.

Cuáles serían los costos y el tiempo necesario para restaurar los servicios e infraestructura básica, y en contraparte compensar los daños posteriores al ataque, y en quién recaerían dichos costos."

### *V.3. Aplicación de metodologías alternas al caso de estudio*

En esta sección se discuten las características particulares de la estación de regasificación de ECA, bajo el esquema de identificación de riesgos a ataques terroristas propuesto por Clarke y colaboradores (2005)

En cuanto al factor "Intencionalidad", como se mencionó anteriormente, al-Qaeda ha señalado claramente su interés por atacar instalaciones de GNL, principalmente los buques cisterna, con el fin de perjudicar a la economía estadounidense. La planta regasificadora de ECA abastece con una parte de su producción al estado de California. Un ataque terrorista a ECA significaría la interrupción del flujo de gas hacia el estado americano vecino, interrumpiendo su dinámica de mercado y perjudicando su economía. Además no solo grupos terroristas internacionales representan una amenaza a la seguridad de la industria energética. En México existen grupos guerrilleros que han adoptado la lucha armada contra el gobierno. Uno de estos grupos, el Ejército Popular Revolucionario, detonó 12 cargas explosivas colocadas en unos tubos de gas natural de Pemex en Veracruz (El Universal, 2007).

En la frontera México-Estados Unidos existe un elevado tráfico de armas (Astorga, 2010), y la obtención de armamento de alto calibre podría ser una tarea simple para un grupo terrorista (Clarke, 2005). También la cercanía de las instalaciones de ECA a marinas locales, tales como Baja Naval, Hotel Coral y Marina y Puerto Salina, posibilita la obtención de una embarcación para ser utilizada en un ataque a los buques cisterna. Equipo de buceo podría también ser fácilmente obtenido, y una mina magnética podría ser instalada en el casco de los buques cisterna. Bajo las condiciones anteriormente

descritas, la “Capacidad” de operar de un grupo terrorista entorno al sitio puede considerarse como alta.

El factor de “Vulnerabilidad” en las instalaciones de ECA puede ser considerado como elevado por diferentes razones. En primer lugar el puerto operado por ECA no cuenta ni con instalaciones de la capitanía de puerto, ni con control federal, lo cual vulnera la seguridad del la instalación. En segundo lugar, a diferencia de estaciones de GNL en Estados Unidos (USGAO, 2007), ECA no cuenta con un protocolo de escolta de buques cisterna por parte de la guardia costera (en el caso de México sería la SEMAR quien se tendría que encargar de dicha rutina), convirtiendo a los buques cisterna en un objetivo vulnerable. En tercer lugar el hecho de que la mayoría de los buques cisterna provengan de países con poca estabilidad política, con bajo control de seguridad de sus puertos, con poca regulación de los registros de barco, posibilita que terroristas puedan infiltrarse como parte de la tripulación y realizar un atentado desde dentro de la embarcación (Hurst, 2008). Por último la zona por la que navegan los buques cisternas es una zona altamente transitada por embarcaciones menores, por lo que sería relativamente complicado diferenciar una embarcación de pesca o recreativa que navegue por la zona de un potencial agresor o atacante terrorista.

Los mecanismos intencionales, como un ataque terrorista, pueden producir mayores consecuencias que los mecanismos accidentales debido a que el atacante puede maximizar los efectos de un ataque eligiendo el momento y el lugar. De hecho, el atacante puede coordinar diversos ataques simultáneos, dando lugar a consecuencias compuestas. Las “Consecuencias” pueden incluir efectos localizados, en cascada o diferidos (Tabla 4). Todos estos efectos deben de ser considerados en el desarrollo de una aproximación de reducción y manejo general de riesgos.

**Tabla 4. Posibles consecuencias de un ataque terrorista. (Hurst, 2008)**

| Localizadas | En Cascada | Diferidas |
|---|---|---|
| Muerte o lesiones a la tripulación del buque cisterna | Muerte de lesiones a las tripulaciones de las embarcaciones escolta | Muerte de o lesiones a las tripulaciones de las embarcaciones de rescate |
| Daño o pérdida de la embarcación GNL | Daño o pérdida de las embarcaciones escolta | Disrupción de las entregas futuras de GNL |
| Bloqueo de la vía de navegación | Obstrucción de las operaciones en otras vías de navegación | Denegación de operaciones futuras en otras vías de |

| | | |
|---|---|---|
| | | navegación |
| Daño por incendio a estructuras e infraestructuras cercanas | Perdida del uso de otras infraestructuras | Denegación de operaciones futuras en terminal de recepción |
| Muerte y/o lesiones del público | Muerte y/o lesiones del público | Pérdida del uso de infraestructuras o propiedades |
| Incendios forestales | Pérdidas económicas | Pérdidas económicas y pérdida de suministros energéticos |

La “Recuperación” de un ataque terrorista a los buques cisternas depende de cuales hayan sido las consecuencias derivadas del percance. Dado el caso, el costo financiero para compensar a las víctimas del accidente, resarcir los posibles incendios forestales y/o reconstruir instalaciones dañadas podría sobrepasar los montos fijados en los seguros y fianzas ambientales previamente fijadas. Si este escenario llega a presentarse, al no contar ECA con seguros acordes a la magnitud de los impactos, la compañía transferiría los costos financieros a las víctimas, a las empresas que suministradas con Gas Natural y/o al gobierno. El gobierno también debería de absorber los costos del aumento de medidas de seguridad, responder ante los posibles incendios forestales y contingencias ambientales, y lidiar con nuevas problemáticas de manejo de traumas en la sociedad.

De acuerdo a los resultados de esta aproximación metodológica, la cual satisface los requisitos de un análisis determinístico establecidos en la NOM-013-SECRE-2004, las instalaciones de ECA deberían considerarse como un blanco posible de un ataque terrorista; lo cual debió tomarse en cuenta en el Análisis de Riesgo.

### *V.4. Posibles impactos derivados de los escenarios de riesgo*

En la Figura 9 se muestra un diagrama de flujo (árbol de eventos) que ilustra la secuencia de eventos que pueden dar lugar a una falla y/o derrame en un buque cisterna de GNL. Este diagrama de flujo ofrece una base para un análisis de riesgo más amplio que el propuesto por ECA, haciendo énfasis en contingencias de embarcaciones . En el árbol de eventos, el transcurso del tiempo va de izquierda a derecha, empezando por una posible falla o daño en un buque cisterna (ya sea accidental o inducido), avanzando hacia el derrame, dispersión y radiación térmica. El diagrama concluye con los posibles impactos d en personas y propiedades, derivados de los escenarios de riesgo. El enfoque del árbol de eventos permite que todos los eventos creíbles sean considerados de manera

sistemática y ayuda a identificar los elementos críticos en la secuencia de eventos (Hightower *et al.*, 2004). Al identificar estos elementos se pueden focalizar esfuerzos para el manejo de riesgos en los elementos más importantes, mejorando la seguridad pública convirtiéndola en un proceso más eficiente y menos costoso. Como se observa en el árbol de eventos, las contingencias y los impactos debido a derrames potenciales pueden variar.

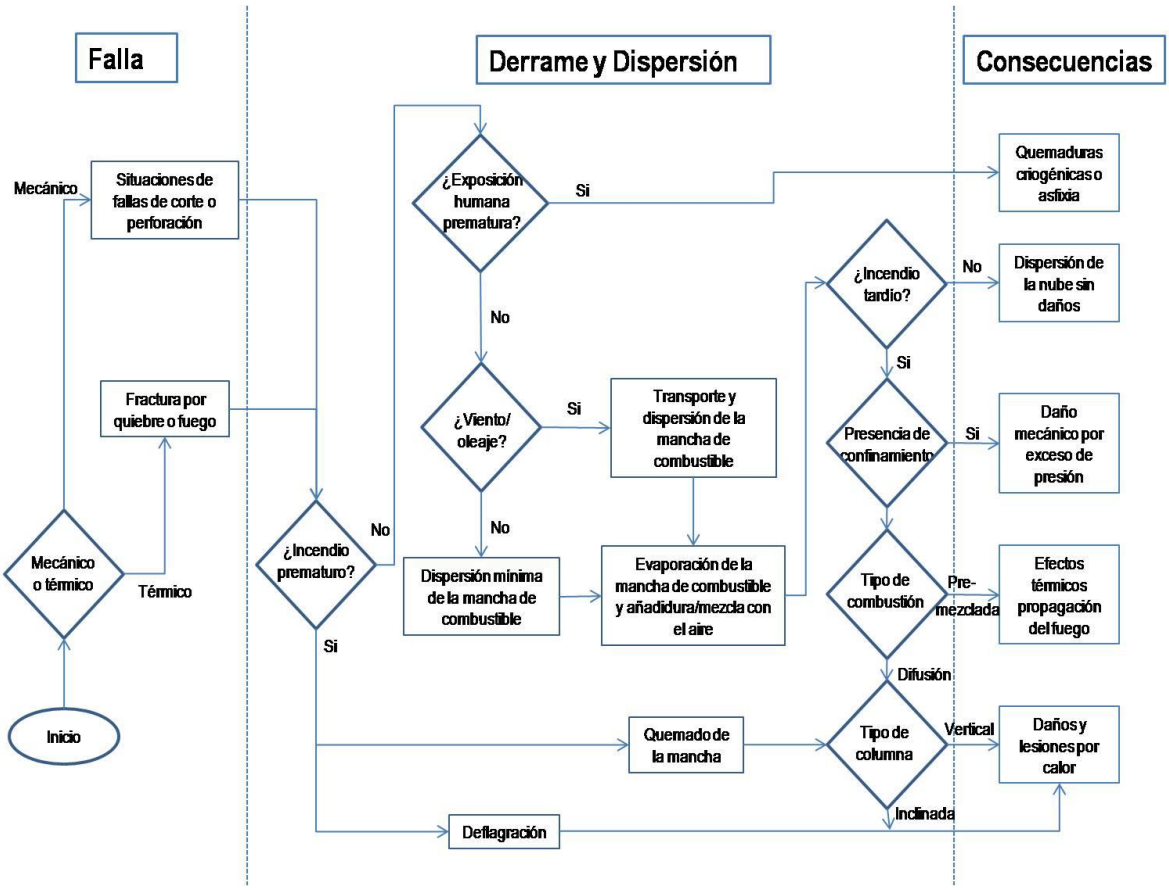


**Figura 9. Secuencia potencial de incidencias después de una fisura de un tanque de carga GNL. Tomada y modificada a partir de Hightower *et al.*, 2004.**

El metano, uno de los ingredientes del GNL, es considerado un asfixiante simple pero tiene baja toxicidad para los humanos (Watanabe & Morita, 1998). En una liberación de GNL a gran escala, el GNL líquido enfriado criogénicamente empezaría a evaporarse en el momento de liberación debido a la ruptura de un tanque de carga de GNL. Si la vaporización de GNL no se enciende, existe la posibilidad de que las concentraciones de vapor de GNL en el aire pudieran ser suficientemente altas para presentar un peligro de asfixia para la tripulación del barco, la tripulación del barco piloto, el personal de respuesta

en emergencias u otras personas que pudieran enfrentar una pluma de vapor de GNL en expansión.

Debido a las muy bajas temperaturas a las que se encuentra el GNL, la pérdida de un gran volumen de GNL líquido causado por una fisura en un depósito de carga de GNL, podría tener impactos negativos significativos en las personas y las propiedades cercanas al derrame, incluyendo a la tripulación y personal de emergencias. Si el GNL líquido entra en contacto con la piel puede causar quemaduras criogénicas severas (Delayen *et al.*, 2001).

También podría ocurrir degradación en la integridad estructural de un buque de GNL, pues el GNL puede tener un impacto grave en la integridad de muchos aceros y conexiones estructurales comunes en barcos, como soldaduras (Kim *et al.*, 2011). El contacto del acero con fluidos criogénicos tales como el GNL puede causar un debilitamiento del metal, causando una reducción significativa en la fortaleza del acero (Vaudolon, 2000).Tanto el barco como los depósitos de carga pueden resultar dañados por un gran derrame.

Por otra parte, si el encendido ocurre inmediatamente durante el derrame, entonces tiene lugar una combustión no premezclada. Específicamente en derrames de GNL, el fuego sería considerado como incendio de alberca, pues el líquido que se derrama del barco tiene como resultado un fuego en un estado cuasi-estable (Lehr & Simecek-Beatty, 2004). En este tipo de combustión el peligro es térmico, conducido de manera principal por el flujo de radiación de calor. En la Tabla 5 se muestra el tipo general de daño por radiación térmica de este tipo de eventos.

**Tabla 5. Niveles de daños comunes aproximados por radiación térmica. (Barry, 2002)**

| Flujo de Calor Incidental ($kW/m^2$) | Tipo de daño |
|---|---|
| 35-37.5 | Daño a equipo de procesamiento incluyendo tanques de acero, equipo de procesos químicos o maquinaria. |
| 25 | Energía mínima para encender madera a una exposición indefinidamente larga sin llama. |
| 18-20 | Degradación de aislante plástico de cables expuestos. |
| 12.5-15 | Energía mínima para encender madera con una llama; la tubería plástica se funde. |
| 5 | Nivel permisible para operaciones de emergencias que duren varios minutos con ropa adecuada. |

Si la mezcla tiene lugar antes de la ignición, entonces resulta una combustión premezclada. Dependiendo de la fuerza de la fuente de ignición y los factores geométricos del terreno y las instalaciones, podrían ocurrir dos formas diferentes de combustión premezclada. Las dos formas posibles son conocidas como deflagración y detonación. La deflagración es una combustión rápida que avanza a través de una mezcla de combustible y aire no quemado a velocidades subsónicas. En cambio la detonación es una combustión extremadamente rápida que avanza a través de una mezcla de combustible y aire no quemado a velocidades supersónicas. El gas natural es un combustible de baja reactividad, y la combustión normalmente progresará a bajas velocidades y no generará presiones extremas significativas en condiciones normales. El encendido de una nube de vapor causará que el vapor se queme para volver a la fuente de derrame. Esto es conocido como "bola de fuego," que debido a su naturaleza genera presiones relativamente bajas, teniendo así un bajo potencial de daño a las estructuras debido a la presión.

La deflagración sería la forma más probable de combustión premezclada. Debido a que el combustible está premezclado con el aire, las flamas se dispersan con relación a la mezcla química (velocidad de flama) y la relación en que la turbulencia de la mezcla puede incrementar el área de la flama. Las deflagraciones difieren en sus consecuencias, dependiendo de si tienen lugar en volúmenes confinados o no confinados (Hightower *et al.*, 2004).

Los laboratorios Sandia realizaron una evaluación de riesgos para un caso de estudio de un derrame de GNL a partir de un buque cisterna (Hightower *et al.*, 2006). Los resultados del análisis realizado por Sandia señalan que la zona de afectación en caso de una contingencia en una embarcación de GNL, sería mucho mayor que las estimadas para una contingencia en la parte terrestre de las instalaciones. Dicho reporte presenta en su evaluación final los radios de afectación para diferentes valores de radiación térmica para una contingencia causada por el derrame de GNL derivado de una perforación de 7 $m^2$ en dos tanques (Tabla 6).

**Tabla 6. Resultados de incendios de mancha (Hightower et al., 2006)**

| Flujo térmico (kW/m$^2$) | Distancia (m) |
|---|---|
| 37.5 | 810 |
| 12.5 | 1,620 |
| 5 | 2,640 |

Como se puede apreciar en la tabla anterior, una contingencia en alguna de las embarcaciones de GNL que arriban a la terminal de ECA podría poner en riesgo a las instalaciones y personas ubicadas en los terrenos aledaños a la terminal (Figura 10).

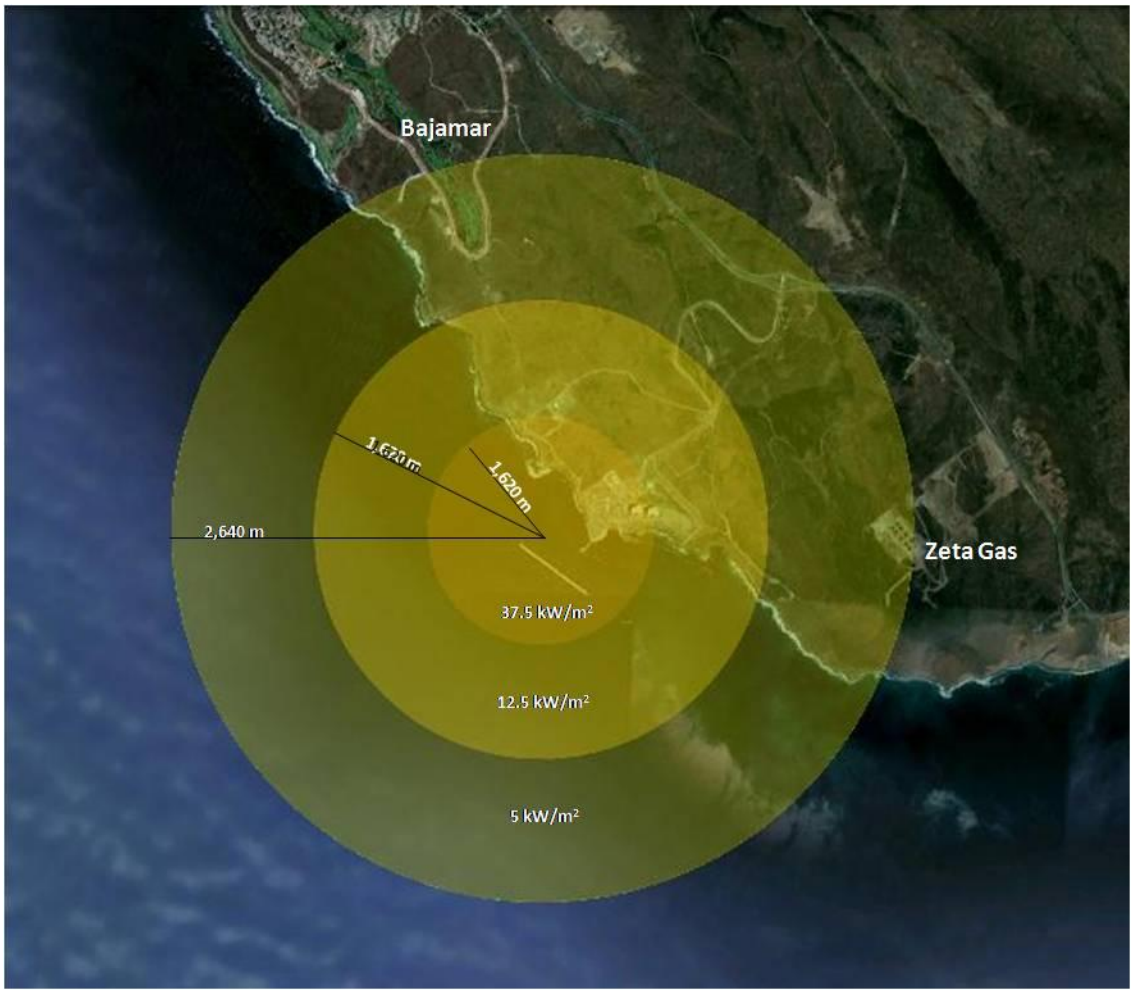


**Figura 10. Radios de flujo térmico como resultado de incendios de mancha de un derrame de GNL de un buque cisterna. Hightower *et al*., 2006**

## *V.5. Recomendaciones*

Existen muchos factores que pueden impactar la forma en que se manifestarían los riesgos a la seguridad y a la propiedad pública, como consecuencia de un derrame de GNL. Algunos de estos serían el diseño de los buques cisternas y las instalaciones, la selección de materiales, los métodos de manufactura, la inspección y las pruebas, las técnicas de ensamblaje, la capacitación de los trabajadores, y los operativos de seguridad (Hightower, 2004). Por ejemplo, el riesgo relacionado con los buques cisterna puede ser afectado por dos características en su diseño; si el tipo de casco es sencillo o doble y si el material del caso es de acero o un material más exótico (Vaudolon, 2000). Otros factores relevantes serían la ubicación y el diseño de la terminal, los elementos del manejo de puerto (equipo de remolque y contingencia contra incendios), los sistemas de comunicación y la capacidad de respuesta en emergencias (USGAO, 2007).

En general, los riesgos pueden ser manejados por medio de la prevención o la mitigación. La prevención busca evitar un accidente o un ataque; la mitigación reduce los efectos de un accidente o un ataque (ABS, 2004). La Tabla 7 ofrece algunas estrategias generales de prevención y mitigación. La combinación de estos tipos de estrategias puede mejorar la seguridad involucrada en incidentes accidentales o intencionales.

**Tabla 7. Estrategias de prevención y mitigación.**
**Tomada y modificada de ABS (2004).**

| **Prevención** | **Mitigación** |
|---|---|
| *Aislamiento:*<br>• *Separación física (distancia).*<br>• *Obstáculos físicos.*<br>• *Zonas restringidas o exclusión (amortiguación).*<br>• *Operaciones interrumpidas (circulación embarcaciones menores, tráfico aéreo).* | *Operaciones de Recuperación:*<br>• *Planes funcionando y actualizados.*<br>• *Equipo y personas listos y en su lugar.*<br>• *Simulacros.*<br>• *Planes de evacuación.* |
| *Espacios vacíos con gas inerte.* | *Mantenimiento de la movilidad (buque cisterna y remolque).* |
| *Inertización de espacios vacíos.* | *Limitación de la cantidad y Tasa de derrame.* |
| *Variación de tiempos de operación.* | *Fuerzas de respuesta para emergencias.* |
| *Inteligencia:*<br>• *Lazos de comunicación listos y en su lugar.* | *Infraestructura de control de incendios:*<br>• *Detectores de derrames.* |

| Prevención | Mitigación |
|---|---|
| • *Actualizaciones oportunas.*<br>• *Vínculos de comunicación entre diferentes niveles de Gobierno y Secretarías.* | • *Sistemas de inundación.*<br>• *Barreras radiantes (sistemas de alta presión de espuma de alta densidad).*<br>• *Infraestructura de refuerzo para el control de incendios* |
| *Incremento de movilidad (remolques).* | *Infraestructura redundante de amarre y descarga.* |
| *Escolta de seguridad armada (barco, avión o abordo).* | *Infraestructura costa afuera de amarre y descarga.* |
| *Barridos (buzos, sonar, guardacostas).* | *Límites de velocidad.* |
| *Vigilancia (abordo, en tierra, bajo el agua y área).* | *Barcos criogénicamente fortalecidos.* |
| *Verificación de antecedentes de los empleados.* | *Armadura de barcos, láminas absorbentes de energía.* |
| *Programa de control de acceso a buques cisterna.* | *Sistema de defensa de misiles.* |
| *Predicción de tormentas y planes para evitarlas* | *Sistemas redundantes de control.* |
| *Engranaje de seguridad* | *Fuente de combustible de refuerzo (petróleo)* |

A continuación se describen algunas medidas de prevención y mitigación para riesgos potenciales derivados de los escenarios más probables de ataques terroristas. Dichas medidas se encuentran resumidas en la Tabla 8.

*Secuestro de buques cisterna.*

Una serie de medidas de seguridad podría prevenir situaciones de secuestro de embarcaciones, incluyendo un control de seguridad armado a bordo del buque cisterna y el aislamiento e inspección del buque cisterna antes de la entrada a puerto mexicano, disminuyendo de manera considerable la potencialidad de secuestro de embarcaciones.

El secuestro de un buque cisterna debe considerarse como un escenario creíble ya que se lleva a cabo a través de esfuerzos coordinados de personas adentro de los buques cisternas y de grupos fuera de ella. Esta amenaza podría continuar con la ruptura y derrame de un depósito de carga de GNL por medio de explosivos previamente ubicados, pasados de contrabando o invalidando los engranajes del sistema de seguridad para descargar GNL intencionalmente en el buque cisterna, en el equipo de descarga de la terminal, o en el agua. El control y la vigilancia de un buque de GNL deben ser

mantenidos apropiadamente para asegurar que haya tiempo adecuado para responder ante un evento potencial de secuestro.

*Choque de embarcaciones.*

Los cambios en algunos operativos de seguridad podrían reducir las posibilidades de que sucediera una colisión entre embarcaciones. Por ejemplo, el requerimiento de una escolta de patrullas interceptoras de la Secretaría de Marina y remolcadores para los buques cisterna de GNL en áreas de alta incidencia, podría reducir la "Vulnerabilidad" de que algún terrorista embista intencionalmente un buque cisterna contra un elemento infraestructural crítico. Otra opción sería asegurar que los miembros de la tripulación pasen por procesos de evaluación y certificación adecuados, acorde a prácticas de países con procesos más estrictos (*v.g.* Estado Unidos o Inglaterra), y el buque cisterna haya sido aislado y revisando suficientemente antes de entrar a puerto mexicano para frustrar un intento de secuestro o un sabotaje desde adentro. Estos esfuerzos reducen la "Capacidad" de que un terrorista elija un momento, un lugar y un objetivo para la embestida y reduce el riesgo de una situación potencial de embestida.

*Explosión detonada.*

Los eventos en una explosión detonada implican necesariamente que existan explosivos situados previamente, en el buque cisterna o en una ubicación fija. Una medida podría ser, en algunas ocasiones o de forma periódica, requisar el barrido de la vía marítima, del fondo del puerto y de las áreas terminales en busca de explosivos o minas. Esto cobra mayor significancia en áreas de alto peligro como vías marítimas poco profundas o terminales con escaso control de seguridad, como es el caso de ECA. Para prevenir la colocación de un explosivo en el interior de los buques cisternas, puede aplicarse el mismo tipo de aislamiento, revisión y control previos del buque cisterna recomendados en el párrafo anterior.

*Ataques terroristas externos*

Los ataques terroristas pueden provenir de una amplia diversidad de vías. Un ataque como el perpetrado al USS Cole es uno de los escenarios más comúnmente señalado. Sin embargo se deben de considerar ataques a los buques con un amplio rango de municiones o explosivos a granel, con granadas autopropulsadas, misiles o inclusive con aviones (Clarke *et al.*, 2005). El tamaño de la ruptura y la proporción del derrama variará en función del tamaño del arma o de la carga explosiva utilizada.

La definición de zonas de seguridad robustas podría ser una medida efectiva para minimizar la potencialidad de un ataque. A su vez se debería establecer un perímetro de seguridad en torno a un buque cisterna, mantenido de manera efectiva a lo largo de su recorrido hacia puerto, para desarrollar las zonas de seguridad necesarias para prevenir algunos de estos eventos. Tales medidas podrían prevenir la aproximación de un atacante potencial a una distancia tal que pudiera causar un daño severo al buque cisterna. Esta zona de seguridad requiere de diferentes barcos y procedimientos de escolta, una vigilancia mejorada por arriba y por debajo del agua, una capacitación perfeccionada, o mejores procedimientos de respuesta de seguridad.

**Tabla 8. Estrategias de prevención y mitigación de riesgos para amenazas potenciales identificadas**

| ***Situación*** | ***Objetivos*** | ***Mecanismo*** | ***Consecuencias Potenciales*** | | ***Medidas de Reducción de Riesgos*** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ***Local*** | ***En cascada*** | ***Prevención*** | ***Mitigación*** |
| *Embestida* | Objetivos fijos a flote o en tierra | Distorsión mecánica | Incendio y daño al barco | Fuego a gran escala | -Control del barco<br>-Incremento de movilidad<br>-Escolta de remolcador | -Barreras absorbentes en -objetivos fijos.<br>-Capacidad de combate contra incendios. |
| *Explosión detonada* | Objetivos fijos a flote | Explosión previamente ubicada y coordinada | Daño al barco | Fuego a gran escala, bloqueo de vías marítimas | -Interdicción y vigilancia temprana<br>-Barrido<br>-Inteligencia<br>-Control de barco | -Fuerza de respuesta a emergencias<br>-Planes de evacuación<br>-Opción de remolque |
| *Toma desde adentro o secuestro* | Objetivos fijos a flote o en tierra | Alejamiento y negociación, o explosión | Elevada preocupación pública o fuego y daño al barco | Demanda pública del cese de operaciones o fuego de gran escala | -Interdicción y búsqueda temprana<br>-Verificación de antecedentes de empleados | -Fuerza de respuesta a emergencias.<br>-Planes de evacuación |
| *Terrorismo* | Objetivo a flote | Embarcación cargada de explosivos | Incendio y daño al barco | Fuego a gran escala y bloqueo de vías marítimas | -Zonas de seguridad.<br>-Círculo de seguridad alrededor del barco.<br>-Inteligencia | -Fuerza de respuesta a emergencias<br>-Planes de evacuación<br>-Opción de remolque |

## VI. Conclusiones

La omisión de los parámetros indicados por SEMARNAT en su guía Análisis Detallado de Riesgo Nivel 3 tiene como consecuencia que, en los estudios de riesgo presentados por ECA, ni se definan ni se justifican como es debido las zonas de amortiguamiento en los escenarios de riesgo considerados. Cabe hacer la observación de que la propia guía para la presentación del estudio de riesgo ambiental ANÁLISIS DETALLADO DE RIESGO Nivel 3 señala claramente que "Al encontrarse desvinculación o incongruencia en los valores presentados, puede llegarse incluso a un resultado negativo del proceso de evaluación".

ECA omite presentar resultados relevantes en su Estudio de Riesgo. Quest Consultants, empresa contratada para realizar el estudio de riesgo, reporta que una ruptura de la línea de una tubería de transferencia de GNL ocasionaría una nube de vapor que se expandiría a 857 metros desde el punto de emisión, afectando áreas fuera del predio de ECA. También dicha empresa presenta contorno de riesgo de exposición letal que rebasan los límites del predio de ECA (ver Figura 7). Esta información debía de ser presentada en el reporte del Estudio de Riesgo, y la SEMARNAT debió haberse basado en los resultados presentados por Quest Consultants para exigir a ECA medidas de mitigación para estos escenarios, como las que son derivadas de la Guía Análisis Detallado de Riesgo Nivel 3 (ver Tabla 1) y las que son exigidas en la NOM-013-SECRE-2004, *v.g.* un área de amortiguamiento que asegure que una radiación térmica de 5 $kW/m^2$ quede comprendida dentro de los límites del predio. Por consiguiente, en el Estudio de Riesgo de ECA, ni se definen ni se justifican como es debida las zonas de amortiguamiento en los escenarios de riesgo considerados, ni la SEMARNAT responde acorde a sus atribuciones y responsabilidades.

ECA nunca considera ni evalúa las posibles afectaciones causadas al medio natural y económico, los cuales son partes integral del ambiente, por lo que su Estudio de Riesgo es parcial e incompleto. Al no ser considerados, los montos de la fianza ambiental establecidos para ECA podrían estar subestimados.

La metodología propuesta por ECA no satisface en su totalidad a los requerimientos expresados en la NOM-013-SECRE-2004, ya que solo se limita a abordar el análisis de riesgo desde un enfoque probabilístico, soslayando las consideraciones establecidas en el enfoque determinístico de dicha norma. Cabe aclarar que la misma metodología exigida en la NOM-013-SECRE-2004 ya estaba establecida desde la entrada en vigor de la

norma de emergencia NOM-EM-001-SECRE-2002, por lo que a ECA le correspondía aplicar la metodología ya señalada desde la presentación del primer proyecto.

Al presentar una aproximación metodológica insuficiente, ECA no puede identificar correctamente riesgos críticos asociados a la operación de su instalación de regasificación de GNL. Las contingencias en embarcaciones representan escenarios de riesgo cuyas consecuencias son más graves que cualquiera de las derivadas de un accidente relacionado con la operación normal de las instalaciones, y al no identificarlos como tal, ECA soslaya los posibles impactos que podría ocasionar un evento de tal magnitud.

Es necesario reevaluar los riesgos asociados a la planta de regasificación de ECA para tomar medidas de mitigación y prevención de accidentes acordes a los escenarios identificados en el presente estudio. Buscar la certificación por parte de la Guardia Costera Estadounidense, donde se constate las buenas prácticas y procedimientos de seguridad en torno a las instalaciones, robustecer las medidas de seguridad y respuesta ante posibles situaciones de contingencia ampliando las facultades y coordinación con el gobierno local y las poblaciones vecinas, y un establecimiento de una zona de amortiguamiento proporcional al tamaño de los posibles escenarios de riesgo descritos en el presente estudio, son algunas de las medidas de mitigación y prevención mínimas que debería de perseguir ECA, para poder garantizar una reducción de los riesgos ambientales asociados a sus instalaciones.

## VII. Bibliografía


ABS Consulting. 2004. Consequence Assessment Methods for Incidents Involving Releases from Liquefied Natural Gas Carriers. ABS Consulting: Risk Consulting Division, 13 Mayo 2004. 128p.

Astorga, Luis. 2007. El tráfico de armas de Estados Unidos hacia México. Responsabilidades diferentes. International Drug Policy Consortium. 5 pp.

Barry, Thomas. 2002. Risk-Informed Performance-Based Industrial Fire Protection, Tennesse Valley Publishing. 50pp.

Clarke, Richard A., Evan Pressamn, Daniel Dolgin, Charles Wolf. 2005. LNG Facilities in urban areas. A Security Risk Management Analysis for Attorney General Patrick Lynch. Good Harbor Consulting, LLC. Rhode Island. 159 pp.

Cohen, Jack D. & Butler, Bret W. 1996. Modeling Potential Structure Ignitions from Flame Radiation Exposure with Implications for Wildland/Urban Interface Fire Management. 13th Fire and Forest Meteorology. Conference. Lorne, Australia 1996.

Comisión Nacional Forestal [CONAFOR] 2009. Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales. CONAFOR, Zapopan, Jalisco. 39 pp.

Delayen, J. R., Schlenker, R. A., Shepard, K. W., Specht, J.R., Young, L. 2001. Cryogenic Safety Manual. Physic Division, Cryogenic Safety Committee. Argonnne National Laboratory. Illinois. 45 pp.

Federal Emergency Management Agency (FEMA). Handbook of Chemical Hazard Analysis Procedures. Federal Emergency Management Agency Publications Office. 500 C Street, SW, Washington, D.C. 20472.

Freedman, J. R. 1984. Uncontrolled fire and chaparral residence in the Sierra Juárez, B. C. México, Tesis of Master degree. University of California Riverside 34 pp

Hightower, M., Gritzo, L., Luketa-Hanlin, A., Covan, J., Tieszen, S., Wellman, G., Irwin, M., Kaneshige, M., Melof, B., Morrow, C., Ragland, D. 2004. Guidance on Risk Analysis and Safety Implications of a Large Liquefied Natural Gas (LNG) Spill Over Water. Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico 87185 and Livermore, California 94550. 167pp.

Hightower, M., Gritzo, L., Luketa-Hanlin, A., Gritzo, L., Covan, J. 2006. Revisión de la evaluación independiente de los riesgos del proyecto propuesto para el puerto de aguas profundas de gas natural licuado en Puerto Cabrillo. Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico 87185 and Livermore, California 94550. 43 pp.

Hurst, C., 2008. The Terrorist Threat to Liquefied Natural Gas: Fact or Fiction?. Institute for the Analysis of Global Security.

International Energy Agency [IEA], 2010. World Energy Outlook 2010. Paris. 736 pp.

International Energy Agency [IEA], 2010. CO2 Emissions from Fuel Consumption. Highlights. 9 rue de la Fédération 75739 Paris Cedex 15, France. 130 pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007. Climate change 2007: synthesis report. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.). IPCC, Geneva, Switzerland. 104 pp

Kim, M. H., Kil, Y. P., Lee, J. M., Chun, M. S., Suh, Y. S., Kim, W. S., Noh, B. J. 2011. Cryogenic fatigue strength assessment for MARK-III Insulation System of LNG carriers. J. Offshore Mech. Arct. Eng. Volume 133, Issue 4, 041401.

Lehr, W., Simecek-Beatty, D. 2004. Comparison of hypothetical LNG and fuel oil fires on water. Journal of Hazardous Materials. 107: 3-9.

Libicki, Martin C., Peter Chalk, Melanie Sisson. 2007. Exploring Terrorist Targeting Preferences. RAND. 131 pp.

Smil, Vaclav, 2000. Energy In The Twentieth Century: Resources, Conversions, Costs, Uses, and Consequences Annual Review of Energy and the Environment, 2000. 25:21–51

Secretaría de Energía [SENER], 2010. Prospectiva del mercado de gas natural 2010-2025. Primera edición. México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2002. Guía para la presentación del estudio de riesgo ambiental. ANÁLISIS DETALLADO DE RIESGO Nivel 3. Tlalpan, D.F. 60 pp.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2003. Introducción al Análisis de Riesgo Ambiental. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) Periférico sur 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco, 129 pp.

Periódico El Universal (en línea). 2007. Se adjudica EPR ataques a ductos de Pemex en Veracruz. http://www.eluniversal.com.mx/notas/448461.html. Fecha de consulta: 12/05/2011.

Periódico La Jornada (en línea) 2010. Cierre de Sempra: una acción necesaria. Escrito por: Jaime Martínez Veloz. Consultado el 27/05/2011. http://www.jornada.unam.mx/2010/06/04/index.php?section=opinion&article=021a2pol

Periódico La Jornada (en línea) 2011. Clausuran la regasificadora de Sempra en Ensenada, B.C:. Escrito por: Roberto Garduño. Consultado el 27/05/2011.

Peynador, C y Escofet A. 2009. An ad hoc procedure for the environmental assessment of ship grounding at Todos Santos Bay (Baja California, México): Lessons and perspectives. En: Environmental Impact Assessments. 2009. Halley, G.T. and Fridian, Y.T. Editores. Nova Science Publishers Ing. New York. 493 pp.

Silva-Iñiguez, L. 1995. Factores de vulnerabilidad en sistemas litorales de Baja California (México): Bahía Salsipuedes, Bahía Todos Santos y Punta Cabra. Tesis de Maestría, CICESE. Ensenada (México): CICESE.

Vaudolon, A. 2000. Liquified Gases: Marine Transportation and Storage, Witherby & Company, Limited, Longon, 162 pp.

United States Government Accountability Office (USGAO). 2007. Federal Efforts Needed to Address Challenges in Preventing and Responding to Terrorist Attacks on Energy Commodity Tankers. GAO Highlights. 112 pp.

Watanabe, T., Morita, M. 1998. Asphyxia due to oxygen deficiency by gaseous substances. Fornsic Science International. 96: 47-59.