

**Política de gestión de riesgos:
El caso del transporte de gas natural por ductos**

Risk management policy:
the case of transmission of natural gas by pipelines

. José Luis Robles Laynes¹ Luis Pacheco Romero¹

RESUMEN

Este trabajo se plantea la interrogante: ¿El nivel de riesgo para las personas ubicadas en la Franja de Seguridad de un gasoducto aumenta en el tiempo?, entendiéndose como Franja de Seguridad al área aledaña al ducto que sería afectada en caso que hubiera una explosión en dicho ducto. La importancia de esta pregunta radica en que se presupone que el nivel de riesgo al cual están expuestas las personas ubicadas en áreas aledañas a instalaciones de un proyecto de inversión no debe aumentar sino disminuir (o mantenerse estable) en el tiempo.

Para el análisis se toma como referencia el ducto de transporte de gas natural de Camisea (infraestructura que abastece a gran parte del sector energético del Perú), modelándose el escenario del nivel de riesgos en el área de costa, para un horizonte de cincuenta años. El modelado incluye variables que están bajo el manejo de la empresa operadora del ducto de gas de Camisea, así como otras que son responsabilidad del Estado.

Los resultados de la simulación indican que el número de personas ubicadas en la Franja de Seguridad está en aumento, y que lo mismo ocurre con la frecuencia de fallas del ducto de gas natural, y el nivel de riesgo a lo largo de la Franja de Seguridad. Esto afecta a la población expuesta, a la propia empresa y al Estado, por lo cual es imperativo visibilizar este problema y tomar las acciones preventivas de manera oportuna.

Palabras clave: diagrama causal, diagrama de Forrester, Franja de Seguridad, gas natural, Integridad de Ductos, simulación.

ABSTRACT

This paper raises the question: Does the level of risk for people located in the Security Strip of a gas pipeline increase over time?, understood as a Security Strip the area adjacent to the pipeline that would be affected in case there was an explosion in that pipeline. This question is important because it is assumed that the level of risk to which people located in areas adjacent to investment project facilities are exposed should not increase but decrease (or remain stable) over time.

For the analysis, the pipeline of transmission of natural gas from Camisea (infrastructure that supplies much of the energy sector in Peru) is taken as a reference, modeling the risk level scenario in the coastal area, for a horizon of fifty years. The modeling includes variables that are under the management of the gas pipeline operator, and others that are under control of the State.

The results of simulation indicate that the number of people located in the Security Strip is increasing, and that the same occurs with the frequency of faults in the natural gas pipeline, and the level of risk along the Security Strip. This affects the exposed population, the company itself and the State, so it is imperative to visualize this problem and take preventive actions in a timely manner.

Keywords: causal diagram, Forrester Diagram, Security Strip, natural gas, system integrity of pipelines.

¹Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Sociales, Ciudad Universitaria, Lima, Perú.

INTRODUCCIÓN

El número de personas afectadas por factores de riesgo es muy alto, sobre el particular, el Ministerio del Ambiente (MINAM), indica que “De acuerdo al Mapa de Vulnerabilidad Física , el 46 % del territorio nacional se encuentra en condiciones de vulnerabilidad alta a muy alta, además el 36% de la población nacional (casi 10 millones de habitantes) ocupa y hace uso de este espacio territorial”. (MINAM, 2016, pp. 155-156). El mapa de vulnerabilidad mencionado hace referencia, entre otros, a que al año 2014 más de 2.7 millones de viviendas y más de 8000 centros educativos eran susceptibles a ser afectados por deslizamientos (MINAM, 2014).

El número de personas potencialmente afectadas a situaciones de riesgo indica que este tema debería estar en la primera plana de la agenda pública, en ese sentido, se plantea como objetivo principal investigar una dimensión del dilema planteado: el nivel de riesgo al cual están expuestas las personas ubicadas en las zonas aledañas a un gasoducto.

Esta investigación toma como referencia el ducto de transporte de gas natural de Camisea, el cual es de una relevancia mayúscula para nuestro país. Considérese que este ducto abastece al 61% de las centrales de generación eléctrica, al 25% de la industria, y al 12% del transporte. (Osinermin, 2014a, p. 176). El gas de Camisea también ha contribuido a mitigar las emisiones de efecto invernadero, estimándose que habría mitigado un aproximado de 54 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂), lo cual habría generado un valor financiero equivalente a US \$ 1306 millones en el periodo 2004-2013 (Osinermin, 2014b, p. 11).

Para efectos de este trabajo, se define a la Franja de Seguridad como el área aledaña al ducto que sería afectada en caso que haya una explosión. En ese sentido, la pregunta que dirige esta investigación es la siguiente: ¿El nivel de riesgo para las personas ubicadas en la Franja de Seguridad de un gasoducto aumenta en el

tiempo? En ese sentido, la hipótesis a verificar es que “El nivel de riesgo para las personas ubicadas en la Franja de Seguridad de un gasoducto aumenta en el tiempo”. Este aspecto es graficado, de alguna manera, en las imágenes 1 y 2.



Imagen 1 Viviendas aledañas a los ductos, a octubre 2010 La línea indica el trayecto de los ductos de Gas Natural (GN) y Líquidos de Gas Natural (LGN). Fuente: Archivo Osinermin.



Imagen 2 Viviendas aledañas a los ductos, a marzo 2011 Las líneas indican el trayecto de los ductos de Gas Natural (GN) y Líquidos de Gas Natural (LGN). Fuente: Archivo Osinermin.

La investigación expuesta en estas líneas contribuye al hacer patente que el nivel de riesgo al cual la población aledaña a la infraestructura de un proyecto de inversión está expuesta no debería aumentar con el tiempo, sino disminuir (o, en última instancia, mantenerse). Asimismo, se visibiliza el problema del alto porcentaje de ciudadanos viviendo en áreas de riesgo.

MATERIAL Y MÉTODO

La presente investigación es de tipo explorativo y descriptivo. Asimismo, en función a las variables analizadas, se contempla los niveles cualitativo y cuantitativo.

La hipótesis de este trabajo de investigación: “El nivel de riesgo para las personas ubicadas en la franja de seguridad de un gasoducto aumenta en el tiempo”, plantea las siguientes variables:

Tabla 1. Variables relacionadas a la hipótesis

Variable	Definición	Operacionalización	Análisis
Nivel de Riesgo	Combinación de las consecuencias de un evento y su frecuencia de ocurrencia.	$a_1 = b_1 \times c_1$	Cualitativo
Frecuencia	Número de incidentes en un gasoducto que pueden causar la fatalidad o incapacidad permanente de una o más personas que viven en la franja de seguridad de un gasoducto. Estos eventos se considerarán para un periodo de un año.	$b_1 =$ Número de eventos que pueden causar fatalidades o lesión permanente en un periodo de 1 año.	Cuantitativo
Consecuencias	Fatalidades o personas con incapacidad permanente, debido a la ocurrencia de un incidente en el gasoducto. Estos hechos desenlazan otras consecuencias, tangibles e intangibles, a la empresa, el Estado y la sociedad.	$c_1 =$ Número de fatalidades o de personas con incapacidad permanente debidas a la ocurrencia de un evento.	Cualitativo

Definidas las variables principales, se desarrollaron las variables necesarias a determinar la frecuencia, las cuales tendrán un cariz cuantitativo; así como las variables asociadas a las consecuencias, las cuales se analizaron de manera cualitativa.

El diseño utilizado para alcanzar el propósito de la investigación, una vez identificado el problema y planteada la hipótesis, contempló las siguientes etapas:

1° Determinación de las variables y desarrollo del modelo.

En esta etapa se determinan las variables que resultan relevantes para determinar la hipótesis de la investigación. Con dichas variables se desarrollará un “diagrama causal” explicativo de la situación, así como de la relación entre las variables (causa-efecto), la cual puede ser directa o positiva, o inversa o negativa. (ARACIL, 1995. Pág. 21).

Cabe indicar que el Diagrama Causal sólo es una representación (un modelo mental) del Mundo Real que hace un observador desde una perspectiva determinada, Por lo cual puede haber tantos Diagramas Causales como observadores existan (Rodriguez, 2016).

2° Formalización del modelo y simulación.

En esta etapa el diagrama causal es convertido en un diagrama de Forrester o de flujos y niveles, con la finalidad de incluir las ecuaciones del modelo, de manera tal que pueda ser simulado por una computadora, con la finalidad de determinar las proyecciones que el modelo genera. (ARACIL, 1995. Pág. 59).

Cabe anotar que las simulaciones de este trabajo se han realizado con el software Stella versión 10.1.2.

El alcance de esta investigación se limitará a evaluar el nivel de riesgo para las personas ubicadas en la Franja de Seguridad en el sector costa del ducto de gas natural de Camisea.

El periodo de evaluación será de 50 años, lo cual se ajusta al plazo máximo que la empresa operadora del ducto de transporte de gas de Camisea podría tener la concesión (60 años, contados desde agosto 2004, según lo indicado en la cláusula 4 de Contrato BOOT de “Concesión de Transporte de Gas Natural por ductos de Camisea al City Gate”).

Para determinar si el nivel de riesgo para las personas ubicadas en la Franja de Seguridad de un gasoducto aumenta en el tiempo, se debe considerar que el nivel de riesgo se definió como la combinación de las consecuencias de un evento y su frecuencia de ocurrencia.

En ese sentido, inicialmente se desarrollaron las variables que impactarían en la frecuencia de fallas de un ducto de gas natural que producirían muertes o incapacidad permanente, y posteriormente se desarrollaron las variables referidas a las consecuencias.

La Norma ASME B31.8S expone las 22 amenazas que pueden causar una afectación a la integridad de los ductos de gas natural. De dichas amenazas, se considerará aquellas que puedan

impactar en la frecuencia de fallas del ducto de transporte de gas natural de Camisea, según lo siguiente:

Tabla 2 Amenazas que impactarían la frecuencia de incidentes que puedan causar fatalidad o incapacidad permanente a las personas ubicadas en FS

Amenaza	Consideración	Justificación	
1. Corrosión externa.	No se espera cambios, respecto a lo proyectado en el estudio de riesgos..	<ul style="list-style-type: none"> Estas amenazas están consideradas en el valor de la frecuencia indicado en el Estudio de Riesgos de la empresa operadora del ducto de gas de Camisea (ER). Aunque la corrosión es dependiente del tiempo, la empresa mantiene programas de monitoreo y control de la corrosión interna y externa que mantienen este aspecto bajo control. El espesor de la tubería de los ductos considera en su diseño la corrosión. Estas amenazas están consideradas en el valor de la frecuencia indicado en el ER. Estas amenazas son fijas o estables en el tiempo. No van a aumentar ni a disminuir en el transcurso del tiempo. 	
2. Corrosión interna.			
3. SCC(stress corrosion cracking).			
4. Costura de la tubería defectuosa.	No se espera cambios, respecto a lo proyectado en el estudio de riesgos.	<ul style="list-style-type: none"> Si bien el ER considera las afectaciones de tercera parte de manera estática, no se realiza un análisis dinámico de esta afectación. La cual es considerada en este análisis. Se estima que el número de personas ubicadas en áreas vulnerables irá en aumento, en consideración a las proyecciones del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2014-2021 (PCM, 2014s). Lo anterior impactaría en el aumento de las personas que se colocarían en la Franja de Seguridad de los ductos. Asimismo, en periodos de elecciones, puede haber motivación política por parte de los candidatos para promover la invasión de la Franja de Seguridad. Esta amenaza considera el caso de una afectación mecánica que produce una falla luego de un lapso de tiempo. Esta amenaza está considerada en el valor de la frecuencia indicado en el Estudio de Riesgos de la empresa operadora del ducto de gas de Camisea. Si bien la subversión (narco-terrorismo) ocurre principalmente en la zona del VRAEM (alejada de la costa, a la cual se circunscribe el alcance de este trabajo) no se puede descartar que dicho problema no vaya a afectar los ductos en la costa. De otra parte, la baja aprobación de las principales instituciones del Estado cuestiona su legitimidad y la propia democracia. Tal es el caso de la alta desaprobación del Poder Judicial y el Congreso. Asimismo, no se puede descartar la presencia de conflictos sociales que puedan afectar la integridad de los ductos. La empresa mantiene programas de capacitación y adiestramiento adecuados, por lo cual esta amenaza estaría bajo control. Esta amenaza está considerada en el valor de la frecuencia indicado en el ER. No se estima que en la costa las temperaturas disminuyan (o aumenten) hasta afectar a los ductos. En la costa al sur de Lima (a la cual se limita el alcance de este trabajo) no es común la presencia de rayos. Se estima que aumente debido al cambio climático, el cual puede afectar la presencia de lluvias. Cabe indicar que en el análisis de Estudios de Riesgos de TGP, este factor se considera limitado, respecto a las causas de falla. Ni el ducto de GN ni el de LGN han fallado en el sector de costa (área del alcance de este estudio) por esta razón. Esta amenaza es sobremana relevante en el área de selva, por lo cual no se espera que la frecuencia de falla en la zona de costa sea modificada por este tema. Presencia de fallas no consideradas, ni conocidas durante la evaluación. El evento de tipo "cisne negro", el suceso extremo que no hay que tratar como "una excepción que haya que ocultar bajo la alfombra" (Taleb, 2011, p. 37). Cada persona analiza los riesgos en base a su propia experiencia, conocimientos y punto de vista. Es imposible que una persona (o equipo de personas) considere todos los factores. 	
5. Tubo defectuoso			
6. Cordón de soldadura defectuoso.			
7. Realización defectuosa de la soldadura.			
8. Arrugas o dobleces en curvados.			
9. Roscas estropeadas/ tubos agrietados/etc.			
10. Fallas en empaques O- ring.			
11. Fallas en dispositivos de alivio y/o control.			
12. Fallas en empaquetaduras.			
13. Otras filas en equipos.			
14. Daño infligido por tercera parte			
15. Daño mecánico previo de la tubería (modo de falla retardado).			Se estima que la frecuencia de fallas causadas por daño infligido por tercera parte aumente.
16. Vandalismo			No se espera cambios, respecto a lo proyectado en el estudio de riesgos.
17. Procedimientos operacionales incorrectos.			No se espera cambios, respecto a lo proyectado en el estudio de riesgos.
18. Bajas temperaturas.	No se espera cambios, respecto a lo proyectado en el estudio de riesgos.		
19. Rayos.	No se espera cambios, respecto a lo proyectado en el estudio de riesgos.		
20. Lluvias fuertes o inundaciones.	No se espera cambios, respecto a lo proyectado en el estudio de riesgos.		
21. Movimientos (deslizamientos) de tierra.	No se espera cambios, respecto a lo proyectado en el estudio de riesgos.		
22. Desconocida.	Se estima que la frecuencia de fallas causada por esta amenaza aumente		

Fuente: ASME B-31.8S. Elaboración propia

En consideración a lo anterior, se estableció el siguiente modelo causal para determinar la frecuencia de fallas del ducto, representado en la

figura 1, y , en cuanto a la definición de las variables relacionadas a la frecuencia es mostrada en la tabla 3:

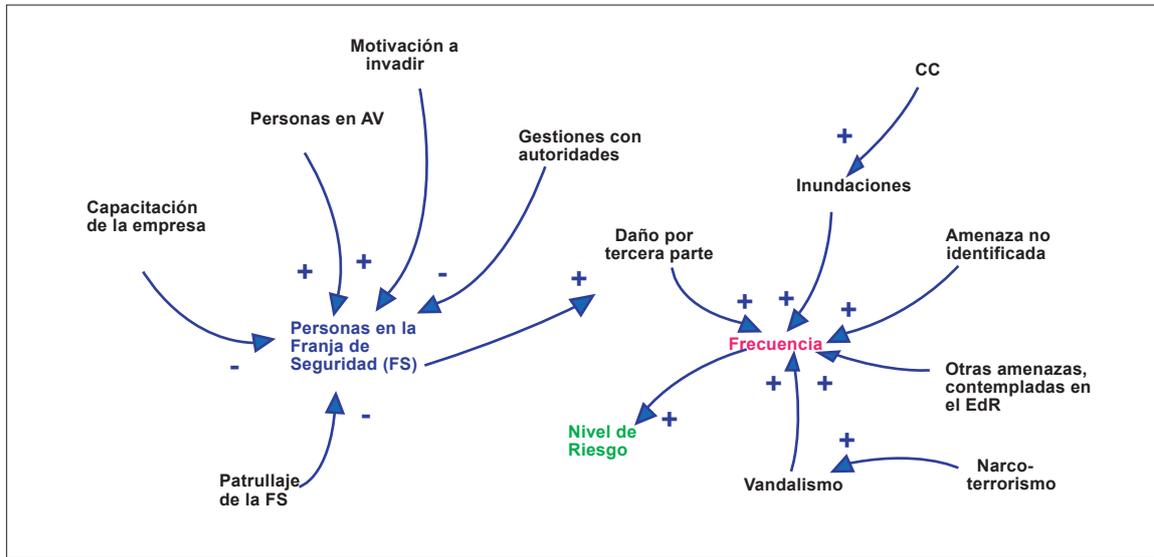


Figura 1. Diagrama causal de elementos que impactarían la frecuencia de ocurrencia de incidentes de un ducto de GN

Tabla 3. Variables relacionadas a la Frecuencia en el Diagrama Causal

Variable	Definición
Amenazas no identificadas	Afectación a los ductos de GN capaz de producir fatalidad o incapacidad permanente a las personas ubicadas en la franja de seguridad, causada por factores no consideradas, ni conocidas durante el diseño del ducto ni durante la evaluación de riesgos.
CC	Cambio climático, entendido como un cambio en el estado del clima que puede identificarse mediante cambios en la media y/o la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente décadas o más. (Adgard et al., 2014, p. 1760)
Capacitación de la empresa.	Capacitación realizada por la empresa operadora a las personas ubicadas en las áreas de influencia directa de los ductos de GN, referida a los riesgos de invadir la Franja de Seguridad (FS).
Daño por tercera parte	Afectación de un ducto por tercera parte (personas ajenas a la empresa) que pueda causar fatalidad o incapacidad permanente a las personas ubicadas en FS.
Frecuencia	Número de incidentes en un gasoducto que pueden causar la fatalidad o incapacidad permanente de una o más personas que viven en FS. Estos eventos se considerarán para un periodo de un año.
Gestiones con autoridades.	Gestiones realizadas por la empresa operadora con las autoridades de las áreas de influencia directa de los ductos de GN.
Inundaciones.	Afectación a los ductos de GN capaz de producir fatalidad o incapacidad permanente a las personas ubicadas en la franja de seguridad, causada por inundaciones y/o lluvias copiosas. Se considera este factor, debido a que la empresa puede ejecutar actividades puntuales para mitigar esta amenaza, pero no puede construir la infraestructura necesaria para atender este problema a una escala regional.
Motivación a invadir	Motivación de los postulantes a puestos públicos que promueven la invasión de la franja de seguridad. Se considera que esta motivación ocurre cada 4 años, que es el periodo de gobierno de una alcaldía.
Narcoterrorismo	Actividades de narcotraficantes o terroristas, que actúan en un área determinada, ya sea de manera independiente y/o conjunta.
Nivel de riesgo	Combinación de las consecuencias de un evento y su frecuencia de ocurrencia
Personas en AV	Personas localizadas en zonas con un alto riesgo de afectaciones de tipo antrópico o natural.
Personas en la FS	Número de personas ubicadas en la Franja de Seguridad (FS) de los ductos de GN.
Patrullaje de la FS	Patrullaje realizado por la empresa operadora para monitorear el aumento de personas en FS.
Vandalismo.	Afectación a los ductos de GN capaz de producir fatalidad o incapacidad permanente a las personas ubicadas en la franja de seguridad, causada por sabotaje, robo o atentado.

A partir del diagrama mostrado en la Figura 1 se elaboró un Diagrama de Forrester, con la finalidad de poder simular el modelo planteado. Los tipos de variable en este modelo se presentan

en la tabla 4. Luego, en la tabla 5, se exponen las variables utilizadas en el diagrama de Forrester para la simulación.

Tabla 4. Tipos de variables en el diagrama de Forrester.

Tipo de variable	Definición	Representación
Nivel	Variable de acumulación (o desacumulación) en el tiempo.	
Flujo	Señala el ingreso o salida de elementos a una variable de nivel.	
Auxiliar	Permite la circulación entre flujos y niveles que presentan diferentes unidades.	

Fuente: Rodríguez, 2016. Elaboración propia.

Tabla 5. Variables utilizadas para el Diagrama de Forrester (D-F), a partir de las variables del modelo causal

Variable del modelo causal	Variable en el D-F	Operacionalización	Ecuación / valor	Tipo de variable
Amenazas no identificadas	N° fallas x amenazas no identificadas	Este evento causaría una falla cada 100 años, por lo cual su frecuencia anual es de 1×10^{-2} . Para un periodo de cincuenta años sería de $0.5 (50 \times 10^{-2})$. ¹	0.5	○
CC	Acciones ante CC	Si se toma acciones efectivas ante el cambio climático se le asigna el valor de 1. Si no, se le adjudica un valor de 0.	¿Se toma acciones eficaces? • Sí: 1 • No: 0.	○
Capacitación de la empresa²	Tasa capacitación	Los programas de educación pública realizados por la empresa podrían reducir el flujo de personas hacia la Franja de Seguridad (FS) hasta un máximo de 15%. Se estima que la tasa de reducción de las personas que van hacia la FS, por actividades del operador del ducto de GN de Camisea, es del 7.5% (la mitad del máximo).	7.5%	○
	Reducción x capacitación	El número de personas que no ingresa a la FS por la capacitación recibida por la empresa, sería el producto de dicho número por el porcentaje de reducción por capacitación ("Tasa capacitación").	"Personas de AV que van a FS" x "Tasa capacitación"	○
Daño por tercera parte³	N° fallas daño x terceros	Para determinar el número de casos se dividirá el "N° personas en la Franja de Seguridad" entre 3.6, que es el promedio de personas por vivienda en el ámbito rural. (INEI, 2015, p. 72). Con lo cual hallamos el N° aproximado de viviendas en la FS. En consideración a la "pirámide de incidentes" se estima que por cada 600 viviendas instaladas, habría la ocurrencia de 1 incidente con la capacidad de producir una falla al ducto de GN. ⁴	(("N° de personas en la Franja de Seguridad" - 300^2) / 3.6) / 600	○

¹ Si bien esta relación sigue a la ecuación de Poisson, por temas prácticos se considerará un comportamiento lineal para esta variable.

² El operador del ducto de camisea realiza programas de educación pública a las personas ubicadas en las áreas de influencia directa de los ductos. Se considera que esta actividad podría mitigar el riesgo de afectación hasta en un 15% (Muhlbauer, 2007 - sección 3/43).

³ Se estima que el número de casos de daño causados por tercera parte guarda relación con el número de personas que haya en la Franja de Seguridad.

⁴ Según lo indicado por Botta: "La ya famosa pirámide de los accidentes o de Bird, realizada en 1969 en un estudio con más 1.750.000 accidentes reportados por 297 compañías en 21 grupos industriales diferentes, reveló como una de sus conclusiones más destacadas que: por cada accidente con consecuencias graves o mortales, se produjeron 10 lesiones leves que sólo requirieron primeros auxilios, 30 accidentes que sólo produjeron daños materiales y 600 incidentes sin lesión ni daños materiales". (Botta, 2010, p. 27).

⁵ Número de personas colocadas en la Franja de Seguridad en el año 1. El eEstudio de Riesgos de TGP indica que dicho número es de 300 (TGP, 2012, p. 97).

⁶ Si bien esta relación sigue a la ecuación de Poisson, por temas prácticos se considerará un comportamiento lineal para esta variable.

Tabla 5. Variables utilizadas para el diagrama de Forrester (D-F), a partir de las variables del modelo causal.

		El Estudio de Riesgos de la empresa operadora del ducto de gas de Camisea (ER), señala la siguiente frecuencia de fallas, para eventos que pueden causar fatalidades o incapacidad permanente:																													
Frecuencia	N° de fallas según ER	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Caso (/a)</th> <th>Evento (en zona poblada)</th> <th>Frecuencia Km/año</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>33</td> <td>Flash fire(/b) por fuga de NG por agujero de 1"</td> <td>4.90E-05</td> </tr> <tr> <td>34</td> <td>Flash fire por fuga de NG por rotura de tubería</td> <td>1.05E-06</td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>UVCE(/c) por fuga de GN por agujero de 1/4"</td> <td>4.87E-05</td> </tr> <tr> <td>36</td> <td>UVCE por fuga de GN por agujero de 1"</td> <td>4.90E-05</td> </tr> <tr> <td>37</td> <td>Jet fire(/d) por fuga de GN por agujero de 1/4"</td> <td>1.51E-05</td> </tr> <tr> <td>38</td> <td>Jet fire por fuga de GN por agujero de 1"</td> <td>1.84E-05</td> </tr> <tr> <td>39</td> <td>Jet fire por fuga de GN por rotura de tubería</td> <td>2.63E-05</td> </tr> <tr> <td colspan="2">TOTAL</td> <td>2.08E-04</td> </tr> </tbody> </table> <p>(/a) Número de caso, según la evaluación de TGP. (/b) Llamada o fogonazo. (/c) Unconfined Vapor Cloud Explosión, UVCE. (/d) Chorro de fuego (similar a un lanzallamas). Fuente: TGP, 2012, pp. 142 y ss.</p>	Caso (/a)	Evento (en zona poblada)	Frecuencia Km/año	33	Flash fire(/b) por fuga de NG por agujero de 1"	4.90E-05	34	Flash fire por fuga de NG por rotura de tubería	1.05E-06	35	UVCE(/c) por fuga de GN por agujero de 1/4"	4.87E-05	36	UVCE por fuga de GN por agujero de 1"	4.90E-05	37	Jet fire(/d) por fuga de GN por agujero de 1/4"	1.51E-05	38	Jet fire por fuga de GN por agujero de 1"	1.84E-05	39	Jet fire por fuga de GN por rotura de tubería	2.63E-05	TOTAL		2.08E-04	0.0104	
	Caso (/a)	Evento (en zona poblada)	Frecuencia Km/año																												
33	Flash fire(/b) por fuga de NG por agujero de 1"	4.90E-05																													
34	Flash fire por fuga de NG por rotura de tubería	1.05E-06																													
35	UVCE(/c) por fuga de GN por agujero de 1/4"	4.87E-05																													
36	UVCE por fuga de GN por agujero de 1"	4.90E-05																													
37	Jet fire(/d) por fuga de GN por agujero de 1/4"	1.51E-05																													
38	Jet fire por fuga de GN por agujero de 1"	1.84E-05																													
39	Jet fire por fuga de GN por rotura de tubería	2.63E-05																													
TOTAL		2.08E-04																													
	N° total estimado de fallas en 50 años	Al "N° de casos según ER" corresponde agregarle las fallas que se originarían por: Daño por tercera parte (para un entorno dinámico, inundaciones, vandalismo y amenazas no identificadas).	"N° de fallas según ER" + "N° fallas daño x terceros" + "N° fallas x Inundaciones" + "N° fallas x vandalismo" + "N° fallas x amenazas no identificadas"																												
	Frecuencia de fallas por año	El "N° total estimado de fallas en 50 años" considera las fallas que se producirían en dicho lapso de tiempo. Para hallar la frecuencia de fallas anual, se divide dicho valor entre 50.	"N° total estimado de fallas en 50 años" / 50																												
Gestiones con autoridades. ²	Tasa de gestiones con autoridades	Los programas de educación pública realizados por la empresa podrían reducir esta tendencia hasta un máximo de 10%. Se estima que la empresa realiza esfuerzos para reducir esta tendencia en un 5%.	5%																												
	Reducción x gestiones	El número de personas que no ingresa a la FS por las gestiones con autoridades, sería el producto de dicho número por la "Tasa de gestiones con autoridades".	"Personas de AV que van a FS" x "Tasa de gestiones con autoridades"																												
Inundaciones	N° fallas x inundaciones	El ER indica que "ha habido 40 eventos Fuertes y Muy Fuertes en 475 años". (TGP, 2012, pp. 85 y 86), así, considerando la Pirámide de Incidentes, por cada 30 accidentes con la capacidad de dañar a la infraestructura, habría un incidente grave. (Botta, 2010, p. 27). Considerando la pirámide de incidentes, en 475 años habría 1.33 incidentes ³ con la potencialidad de causar daños graves al ducto, lo cual resulta en una frecuencia de fallas anual de 2.8×10^{-3} (para un periodo de 50 años, dicha frecuencia sería de 0.14). ⁴	¿Se toma acciones eficaces? • Sí: 0.07. • No: 0.14.																												
	Motivación a invadir	Ingreso x motivación a invadir Se estima que cada 4 años (periodo de duración de la alcaldía en el Perú) aumenta en 60 el número de personas en la FS por motivaciones políticas de los candidatos a la alcaldía.	60 personas que ingresan a FS cada 4 años, desde el 2018.																												
Narco terrorismo	Prevención a narco terrorismo	Esta variable está vinculada a la variable "vandalismo". Se asignan valores en función a que se tome acciones preventivas eficaces.	¿Se toma acciones eficaces? • Sí: 1 • No: 0.																												

⁷ Si bien esta relación sigue a la ecuación de Poisson, por temas prácticos se considerará un comportamiento lineal para esta variable.

⁸ El operador del ducto de GN de Camisea realiza Coordinaciones con instituciones del Estado y autoridades locales para comunicar y/o denunciar las invasiones a la Franja de Seguridad. se considera que esta actividad podría mitigar el riesgo de afectación hasta en un 10%.

⁹ Cociente de 40 (número de eventos fuertes y muy fuertes en 475 años) y 30 (la pirámide de incidentes estima que por cada 30 incidentes con la potencialidad de afectar al ducto, uno sería grave).

¹⁰ Si bien, esta relación sigue a la ecuación de Poisson, por temas prácticos se considerará un comportamiento lineal para esta variable.

Tabla 5. Variables utilizadas para el diagrama de Forrester (D-F), a partir de las variables del modelo causal.

	Tasa AV	La tasa anual de crecimiento de la población vulnerable es de 1.55% (PCM, 2014, p. 38).	1.55%	
Personas en AV	Flujo a AV	Producto del número de personas en áreas vulnerables (AV) por la "Tasa AV".	"Personas en AV" x "Tasa AV"	
	Personas en AV	Este valor corresponde al 36% de la población nacional (MINAM, 2016, p. 155). La población al año 2016 fue de 31 488 625 según lo indicado por la PCM. (PCM, 2014, p. 36)	11 335 905	
	Porcentaje de AV que va a FS	Se considera el cociente entre el número de personas en FS (300 en el año 2012) y la población ubicada en AV en dicho año: 6 611 309 ² . Este valor representa el 0.00454% de la población vulnerable (= 300 / 6 611 309).	0.0000454	
Personas en la FS¹	Personas de AV que van a FS	La fracción de AV que se dirige a FS sería el producto del número de las personas en AV por el "Porcentaje de AV que va a FS".	"N° de Personas ubicadas en Áreas Vulnerables" x "Porcentaje de AV que va a FS"	
	N° de personas a FS	Corresponde al flujo de personas de AV a FS, al cual se le sustrae el número de personas que no ingresarían por actividades de la empresa respecto a: patrullaje, capacitación, o gestiones con autoridades.	"Personas de AV que van a FS" – "Reducción x patrullaje" – "Reducción x gestiones" – "Reducción x capacitación"	
	N° personas en la Franja de Seguridad	El "N° de personas a FS" se agrega, cada año, a esta variable de nivel. El valor inicial es de 300 personas.	300	
Patrullaje de la franja de seguridad³	Tasa patrullaje	El patrullaje realizado por la empresa podría reducir esta tendencia hasta un máximo de 15%. Se estima que la tasa de reducción de las personas que van hacia la FS, por actividades del operador del ducto de GN de Camisea, es del 7.5%.	7.5%	
	Reducción x patrullaje	El número de personas que no ingresa a la FS por el patrullaje realizado por la empresa, sería el producto de dicho número por el porcentaje de reducción por patrullaje ("Tasa patrullaje").	"Personas de AV que van a FS" x "Tasa patrullaje"	
Vandalismo.	N° fallas x vandalismo	Si ocurriera una falla por vandalismo cada 15 años, su frecuencia sería de 3.33 cada 50 años (si no se toma medidas eficaces de prevención frente al narcoterrorismo). Y, si se toman medidas de prevención, sería de 2 en 50 años.	¿Se toma acciones eficaces? • Sí: 2. • No: 3.33.	

¹¹ Para determinar la evolución del número de personas en la Franja de Seguridad (FS), es necesario considerar un flujo de personas desde las Áreas Vulnerables (AV) a FS, el cual se adicionará a las personas que ya se encuentran en FS. Cabe indicarse que el estudio de Riesgos indica que el número de personas en la FS al año 2012, en el sector de costa, es de 300 (TGP 2012, p. 97)

¹² La PCM indica que 2012 la población era de 18 364 747 (PCM, 2014, p. 36). El 36% de dicho valor es de 6 611 309.

¹³ El operador del ducto de GN de Camisea realiza programas de patrullaje en la Franja de Seguridad (FS). En consideración a lo indicado en MUHLBAUER, 2004 (sección 3/43). el porcentaje asignado a la mitigación del riesgo por "Patrol Frequency" sería del 15%.

La Figura 2 muestra el Diagrama de Forrester, formulado para simular el problema planteado. Asimismo, antes de enunciar las variables que impactarían a la consecuencia, es necesario

Recordar que estas se pueden dividir en tangibles o “percibidas” e intangibles o “no percibidas”, tal como se observa en la tabla 6.

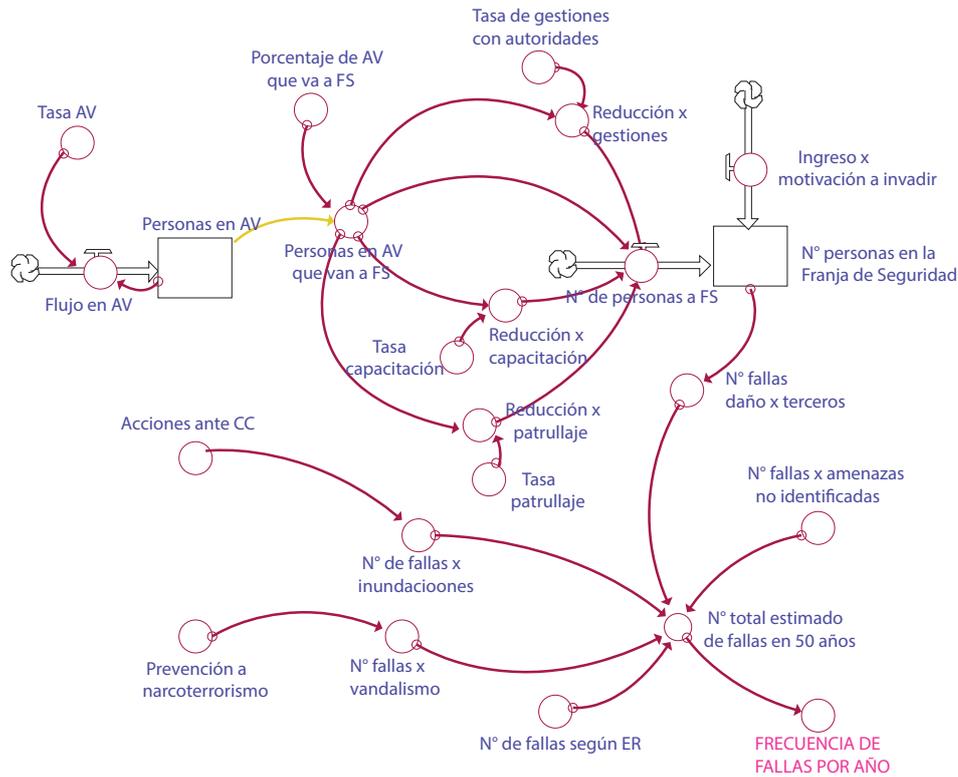


Figura 2. Diagrama de Forrester - Modelo para simular la frecuencia.

Tabla 6 . consecuencias percibidas y no percibidas.

TIPO	DEFINICIÓN
Consecuencia percibida	Consecuencias directas de un incidente que pueda producir una o más fatalidades, o incapacidades permanentes. Tienen carácter tangible. Estas consecuencias se pueden presupuestar, y se tienen en consideración al realizar los análisis de riesgo.
Consecuencia no percibida	Consecuencias indirectas de un incidente que pueda producir una o más fatalidades, o incapacidades permanentes. Tienen carácter intangible (por ejemplo, la imagen de la empresa). Estas consecuencias no se suelen presupuestar y rara vez son consideradas al realizar los análisis de riesgo, corresponde a los riesgos “ocultos”.

Elaboración propia.

Las consecuencias de la falla de un ducto de gas natural que produzca fatalidades, clasificadas para los actores implicados (empresas, Estado, población), son expuestas en la tabla 7. Por otro

lado, el modelo causal explicativo del nivel de riesgo de las personas ubicadas en la Franja de Seguridad, incluyendo las consecuencias, el expuesto en la figura 3:

Tabla 7 . consecuencias percibidas y no percibidas.

Actor	Tipo de consecuencia	Consecuencias	Definición
Empresa	Tangible (percibido)	Multas.	Sanción económica impuesta por el Estado a la empresa operadora del ducto de gas natural, por el incumplimiento de sus obligaciones a la normativa legal o técnica.
		Reparación de daños.	Gastos incurridos por la empresa, provenientes de indemnizaciones y de la reparación de daños y perjuicios.
		Demandas judiciales.	Gastos incurridos en atención a las demandas judiciales del Estado y de los afectados.
		Pérdida y/o reparación de infraestructura.	Costos por la reparación y/o reposición de la infraestructura de la empresa impactada por la ocurrencia de una falla, con la finalidad de continuar con el servicio de transporte de gas natural.
		N° de personas muertas o con incapacidad permanente en la FS.	Número de fatalidades y/o de personas con incapacidad permanente ubicadas en la Franja de Seguridad del gasoducto. Para la empresa hay una diferencia sustancial en que los afectados sean trabajadores de la empresa (puesto que éstos se encuentran asegurados) o ciudadanos comunes, ajenos a la operación del gasoducto.
	Encarecimiento de la operación.	Luego de la ocurrencia de un incidente con afectación de personas, se espera el encarecimiento de la operación de un gasoducto, debido entre otros, a los siguientes factores: encarecimiento de la prima de los seguros, penalidades por incumplimiento de los contratos, tiempo perdido de la operación, gestión de riesgos sociales, etc.	
Estado	Tangible (percibido)	Pérdida de prestigio.	Pérdida de la confianza por parte de la sociedad y del Estado, de tener la capacidad de brindar un servicio seguro del transporte de gas natural. Esto conllevaría entre otras cosas, a que el Estado lo supervise con mayor continuidad y le exija medidas de seguridad adicionales a las ya implementadas, o que la comunidad sea más renuente a la operación de transporte de gas natural.
		Costos ocultos.	Costos indirectos en los cuales se incurre después de la ocurrencia de accidentes, no presupuestados y, por lo mismo, no asegurados. Estos costos varían entre seis y 53 veces los costos “visibles”.
	Intangible (no percibido)	Desabastecimiento energético.	Desabastecimiento de gas natural con lo cual se reduce la producción de energía y/o encarecimiento de la energía debido a que esta se tiene que producir con combustibles más costosos.
Población	Tangible (percibido)	Demandas judiciales.	Gastos incurridos en atención a las demandas judiciales de la empresa y de los afectados.
		Fatalidad o incapacidad permanente de personas en la FS.	Muerte o incapacidad permanente de una o más personas ubicadas en la Franja de Seguridad del gasoducto.
	Intangible (no percibido)	Conflictos sociales.	Conflictos y demandas de la sociedad civil ante la ocurrencia de muertes de las personas ubicadas en la Franja de Seguridad.
		Pérdida de legitimidad.	Reducción de la credibilidad de las instituciones del Estado, respecto a que puedan garantizar la seguridad de los ciudadanos.
Población	Tangible (percibido)	Costos ocultos.	Costos indirectos en los cuales se incurre después de la ocurrencia de accidentes, no presupuestados y, por lo mismo, no asegurados.
		Pérdida de bienes.	Para las personas que moran en la Franja de Seguridad, la pérdida de bienes suele ser mínima, debido a que sus viviendas están realizadas con materiales precarios.
	Intangible (no percibido)	Fatalidad o incapacidad permanente de personas en la FS.	Muerte o incapacidad permanente de una o más personas ubicadas en la Franja de Seguridad del gasoducto.
Población	Intangible (no percibido)	Pérdida de (sus) vidas.	Las personas ubicadas en la Franja de Seguridad (y en general la mayoría de las personas expuestas a un riesgo) perciben que el riesgo afectará a otros, no a ellos
		Costos ocultos.	Costos en los cuales se incurre después de la ocurrencia de accidentes, un costo de este tipo, para las personas ubicadas en la Franja de Seguridad sería el tiempo invertido en permanecer en dicha franja, con la finalidad de no ser desalojado.

Fuente: elaboración propia

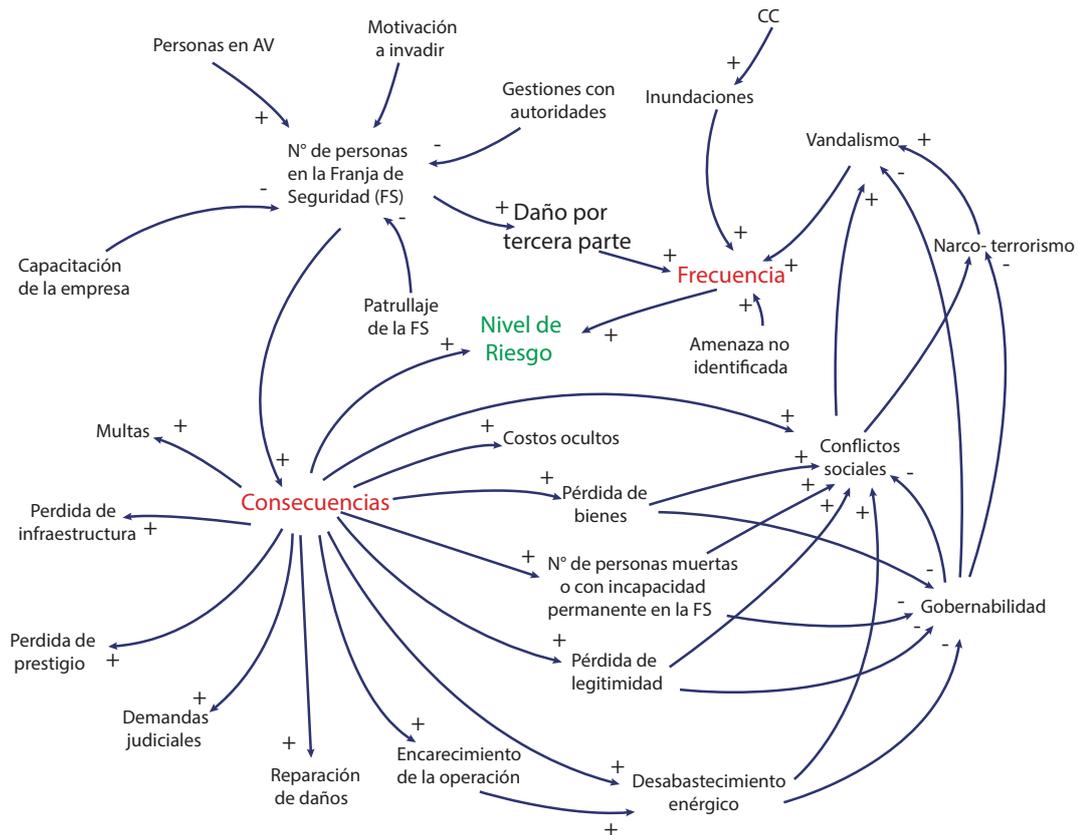


Figura 3. Diagrama causal de elementos que impactarían en el Nivel de Riesgos en la Franja de Seguridad.

RESULTADOS

Personas en áreas vulnerables y en la franja de seguridad

El modelo señala que, en cincuenta años, el número de personas en áreas vulnerables

aumentaría de manera acelerada desde 11 335 905 hasta 24 459 782 (24 millones 459 mil 782), cincuenta años después. Asimismo, el número de personas en la Franja de Seguridad aumenta desde 300 a 31 772 (31 mil 772), cincuenta años después.



Gráfico 1. Personas en áreas vulnerables y en la Franja de Seguridad
Fuente: elaboración propia.

Número de personas en FS y frecuencia de fallas

La frecuencia de fallas que podrían causar fatalidades o incapacidad permanente a las personas ubicadas en la Franja de Seguridad, aumentaría desde estimado por el modelo va aumentando desde 0.0796, al inicio de la simulación, hasta 0.371 cincuenta años después.

Debe tomarse en cuenta que esta relación no es lineal.

Cabe indicar que en el gráfico, la variable “N° personas en la Franja de Seguridad” se encuentra a una escala de cero a 40 mil, y la variable “FRECUENCIA DE FALLAS POR AÑO” está graficada a una escala de cero a uno.

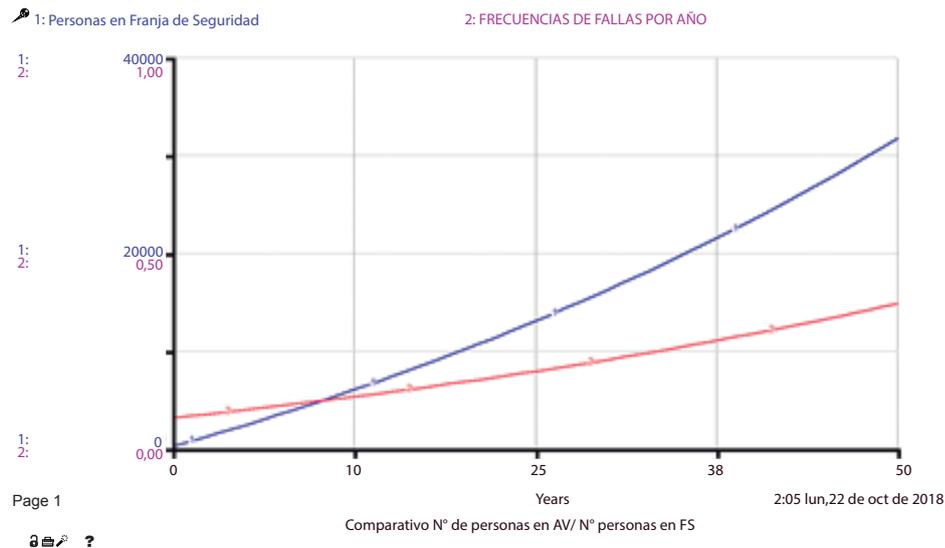


Gráfico 2. Comparativo del número de personas en la Franja de Seguridad y la Frecuencia de Fallas
Fuente: elaboración propia.

Consideración de las Consecuencias

El modelo propuesto en la Figura 3 plantea que una falla que produzca fatalidades o incapacidad

permanente, aparte de dicho incidente, podría generar además otras consecuencias. Estas consecuencias son analizadas en la tabla 8:

Tabla 8. Variación de las consecuencias

Actor	Tipo	Consecuencia	Variación
Empresa	Tangible	Multas.	Se espera que el costo relativo de las multas no presente gran variación.
		Reparación de daños.	No se espera que haya variación en los costos relativos de reparación de un incidente de gran magnitud.
		Demandas judiciales.	No se espera que haya variación en los costos relativos por demandas judiciales.
		Pérdida y/o reparación de infraestructura.	No se espera que haya variación en los costos relativos en los cuales se incurra por pérdidas y/o reparación de infraestructura.
		N° de personas muertas o con incapacidad permanente en la FS.	Se espera que aumente el número de personas en la Franja de Seguridad (FS) que serían afectadas en caso de que ocurriera una falla de gran magnitud en el ducto de transporte de GN. La magnitud de esta variable aumentaría en magnitud.
	Encarecimiento de la operación.	Se espera que, de ocurrir una falla que produzca fatalidades o incapacidad permanente a las personas ubicadas en la Franja de Seguridad, la operación se encarezca en costos de mitigación de riesgos de índole social, por aumento de la prima de seguros, tiempo perdido de la operación, etc. La magnitud de esta variable aumentaría en magnitud.	
	Intangible	Pérdida de prestigio.	Se espera que una falla de gran magnitud produzca la pérdida de la confianza de la sociedad y del Estado. La magnitud de esta variable aumentaría en magnitud.

Estado	Tangible	Empresa	Costos ocultos.	Aunque este es un costo no percibido, se espera que no haya una variación en estos costos, en términos relativos. Se espera que esta variable aumente en magnitud debido al desabastecimiento de gas natural y al consecuente encarecimiento de la energía. La magnitud de esta variable también aumentaría.
			Demandas judiciales.	No se espera que haya variación en los costos relativos por demandas judiciales.
			Fatalidad o incapacidad permanente de personas en la FS.	Se espera que aumente el número de personas en la Franja de Seguridad que serían afectadas en caso de que ocurriera una falla de gran magnitud en el ducto de transporte de GN. La magnitud de esta variable también aumentaría.
			Conflictos sociales.	Se espera un aumento en el número de conflictos y demandas de la sociedad civil ante la afectación de una cantidad mayor de personas en la Franja de Seguridad. La magnitud de esta variable también aumentaría.
	Intangible		Pérdida de legitimidad.	Se espera que una falla de gran magnitud produzca la reducción de la credibilidad de las instituciones del Estado, respecto a que puedan garantizar la seguridad de los ciudadanos. La magnitud de esta variable también aumentaría.
Población	Tangible		Costos ocultos.	Aunque este es un costo no percibido, se espera que no haya una variación en estos costos, en términos relativos.
			Pérdida de bienes.	En consideración a que habría un aumento en el número de personas en la Franja de Seguridad que serían afectadas en caso de que ocurriera una falla de gran magnitud en el ducto de transporte de GN, también sería mayor la pérdida de bienes de dichas personas. La magnitud de esta variable también aumentaría.
		Fatalidad o incapacidad permanente de personas en la FS.	Se espera que aumente el número de personas en la Franja de Seguridad que serían afectadas en caso de que ocurriera una falla de gran magnitud en el ducto de transporte de GN. La magnitud de esta variable también aumentaría.	
	Intangible		Pérdida de (sus) vidas.	No se espera que, sin concientización continua, las personas ubicadas en FS perciban la magnitud del riesgo a sus propias vidas.
			Costos ocultos.	Aunque este es un costo no percibido, se espera que no haya una variación en estos costos, en términos relativos.

Fuente: elaboración propia.

De la tabla anterior, encontramos que ninguna consecuencia disminuiría en magnitud, y que algunas de ellas aumentarían.

Las consecuencias que aumentarían de

magnitud son detalladas en la tabla 9.

Cabe indicar que el aumento en la magnitud de las consecuencias citadas también promovería el aumento de la frecuencia de los incidentes.

Tabla 9. consecuencias que aumentan su magnitud

Actor	Consecuencia
Empresa	<ul style="list-style-type: none"> • N° de personas muertas o con incapacidad permanente en la FS. • Encarecimiento de la operación. • Pérdida de prestigio.
Estado	<ul style="list-style-type: none"> • Desabastecimiento energético. • Fatalidad o incapacidad permanente de personas en la FS. • Conflictos sociales. • Pérdida de legitimidad.
Población	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de bienes. • Fatalidad o incapacidad permanente de personas en la FS.
Nota: Las otras consecuencias no variarían en términos relativos.	

Nota: Las otras consecuencias no variarían en términos relativos.

Variación del Nivel de Riesgo

El “nivel de riesgo”, según lo definido en la Tabla 1, se ha definido como la “Combinación de las consecuencias de un evento y su frecuencia de ocurrencia”. Por lo cual, el “nivel de riesgo” es proporcional a la frecuencia y a las consecuencias.

Lo expuesto significa que si hay un aumento de la frecuencia, y la consecuencia se mantiene constante, habrá un aumento del nivel de riesgo; de otro lado, si hay un aumento en la magnitud de las consecuencias, y la frecuencia se mantiene constante, habrá un aumento en el nivel de riesgo. Asimismo, si aumentan ambas magnitudes (la de frecuencia y de consecuencia), también aumentaría la magnitud del “nivel de riesgo”.

El Gráfico 2 indica que la frecuencia de ocurrencia de incidentes con la potencialidad de producir fatalidades o incapacidad permanente aumenta en el tiempo. Asimismo, de lo expuesto en la Tabla 8, encontramos que la magnitud de las consecuencias también aumentaría.

En ese sentido, si aumenta la frecuencia, y aumenta la magnitud de las consecuencias, el nivel de riesgo también aumentaría, con lo cual la hipótesis de esta tesis respecto a que “el nivel de riesgo para las personas ubicadas en la Franja de Seguridad de un gasoducto aumenta en el tiempo” resulta verdadera.

DISCUSIÓN

Los resultados presentados corresponden a un escenario de simulación en el cual no se toman medidas correctivas respecto a los resultados encontrados. Debe considerarse sin embargo que, si bien la simulación es una herramienta poderosa, también presenta desventajas inherentes a toda representación aproximada de un mundo real, recuérdese que “no es posible asegurar que el modelo sea válido.

Es riesgoso tomar medidas erróneas basadas en aplicar conclusiones falsas obtenidas mediante

un modelo que no representa la realidad.”. (BALLÓN, 2010, p. 90).

No obstante, los datos alcanzados nos permiten afirmar que el nivel de riesgo en las áreas aledañas a un ducto de gas natural aumenta en el tiempo, lo cual afecta a la población expuesta, a la propia empresa y al Estado.

En ese sentido, corresponde tomar las consideraciones pertinentes para reducir el nivel de riesgo, y, la mejor manera de hacerlo, es limitar el número de personas que resulten afectadas por la ocurrencia de la falla de un gasoducto; vale decir, disminuir el número de personas en la Franja de Seguridad.

De otra parte, en consideración a que el nivel de riesgo para las personas aumenta en el tiempo, el Estado debería considerar los costos para mitigar los riesgos al presupuestar un proyecto de inversión (o cualquier proyecto en general). En ese sentido, se debe normar las exigencias que obliguen a las empresas a reducir, o por lo menos a no aumentar, el Nivel de Riesgo para las poblaciones aledañas a sus instalaciones.

No podemos perder de vista que el nivel de riesgo al cual está expuesta una población es dinámico y cambiante en el transcurrir de los años. Es tarea de las instituciones del Estado, la Sociedad Civil (Colegios Profesionales, Universidades, autoridades), y las propias empresas inversoras, garantizar que dicho nivel se mantenga estable o se reduzca en el tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adgard J. Shipper E. (2014). Glossary. (En: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, pp. 1757-1776). Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.

Aracil, J. (1995). *Dinámica de Sistemas*; Isdefe; Madrid-España, 1995.

- ASME. (2016). Standard ASME B31.8S "Managing System Integrity of Gas Pipelines". USA: American Society of Mechanical Engineers.
- Ballón, E. (2010). *Modelo Dinámico del Sector Económico Informal – Aplicación de la metodología de los sistemas suaves dinámicos*. Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería de Sistemas. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Botta, N. (2010). *Los accidentes de trabajo*. Rosario, Argentina: Proteger.
- MEM (2000). Contrato BOOT de "Concesión de Transporte de Gas Natural por ductos de Camisea al City Gate", aprobado por Resolución Suprema N° 101-2000-EM. Lima, Perú: Ministerio de Energía y Minas.
- IAS (INSTITUTO ANDINO DE SISTEMAS); *Fundamentos y elaboración de modelos*; Seminario realizado por el Centro de Enseñanza Virtual del IAS. Lima-Perú, 2015.
- INEI (2015). Perú: *Encuesta Demográfica y de Salud Familiar- ENDES, 2014*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- MINAM (2016). *El Perú y el cambio climático. Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- MINAM (2014). Mapa de susceptibilidad física de zonas propensas a inundaciones y deslizamientos en la costa y sierra frente a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos externos. Recuperado el 15 de octubre de 2018, Tomada de la web de <http://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-susceptibilidad-fisica-zonas-propensas-inundaciones-deslizamientos>.
- Muhlbauer, K. (2004). *Pipeline Risk Management Manual*. Ideas, Techniques and Resources. USA: Elsevier Inc.
- Muhlbauer, K. (2014). *Pipeline Risk Assessment: The Definitive Approach and Its Role in Risk Management*. Pre-release version.
- Osinergrmin (2014a). *La industria del gas natural en el Perú. A diez años del Proyecto Camisea*. Lima – Perú: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.
- Osinergrmin (2014b). El proyecto Camisea y la mitigación del Cambio Climático en el Perú. Reporte de Análisis Económico Sectorial; Año 3 – N° 4. Lima, Perú: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.
- PCM (2014). Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2014-2021, aprobado por Decreto Supremo N° 034-2014-PCM. Lima: Presidencia del Consejo de Ministros.
- Rodriguez, R. (abril de 2016). Dirección Estratégico Empresarial mediante la Dinámica de Sistemas. Sesión 3: DS: *Fundamentos y elaboración de modelos. Seminario virtual realizado por el Instituto Andino e Sistemas*. Lima: Instituto Andino e Sistemas. Taleb, N. (2011). *El cisne negro*. Barcelona, España: Espasa Libros, S.L.U.
- TGP (2012). *Estudio de Riesgos de los Ductos de Transporte de GN y GNL*. TGP, Lima-Perú: Transportadora de Gas del Perú S.A.
- Correo electrónico: Robles_Josel@hotmail.com