

Experiencia en desarrollo interno para realizar Estudios QRA

Gerencia Técnica, Transportadora de Gas del Sur, atrujill@tgs.com.ar

Gerencia Técnica, Transportadora de Gas del Sur, leonardo.galimany@tgs.com.ar

Gerencia Técnica, Transportadora de Gas del Sur, hermann.dazeo@tgs.com.ar

Sinopsis

El avance y desarrollo urbano, así como los proyectos de infraestructura en cercanía de los ductos se ha incrementado, y en muchos casos, invadiendo las franjas de seguridad.

Ello representa para los operadores una preocupación en la seguridad de las instalaciones y la comunidad. Adicionalmente, la puesta en vigencia de la NAG 100 Adenda 2 – Año 2016, que aborda estos casos, exige a las operadoras la ejecución de análisis de riesgo cuantitativos (QRA) para evaluar el impacto y la necesidad de acciones de mitigación.

Dichos estudios representan transacciones y procesamiento de grandes volúmenes de datos, tiempo de cálculo y emisión de reportes, usualmente servicios contratados a especialistas externos, representando todo el proceso periodos de tiempos extensos.

Fue así que tgs, contando con bases de datos estructuradas, el conocimiento técnico en riesgo y ciencia de datos, desarrollo una aplicación para realizar los QRA, estructurando la toma de datos desde un GIS, automatizando el proceso de alimentación de datos y cálculos, así como la generación de reportes.

La solución consistió, por un lado, en desarrollar un modelo automático en ArcGIS que, para cada tramo de tubería bajo análisis, busca, filtra, procesa y estructura los datos que luego se usan en el cálculo de riesgo. Y, por otro lado, el desarrollo de una aplicación web interactiva en lenguaje de programación R junto con el framework Shiny Server para proporcionar una interfaz fácil de usar que permite a los usuarios, tomar los datos exportados del GIS y llevar a cabo evaluaciones detalladas de riesgos de manera eficiente. La aplicación web ofrece una plataforma flexible y fácil de usar que puede adaptarse a diferentes contextos y requisitos específicos de los usuarios.

Entre las funcionalidades clave de la aplicación se incluyen:

- Automatización del procesamiento de datos: permitiendo estructurar y preparación de datos para cálculo de riesgo directamente desde una base de datos GIS corporativa.
- Visualización de datos: La herramienta permite a los usuarios explorar y visualizar los datos del gasoducto mediante gráficos interactivos y tablas descriptivas.
- Análisis de riesgos: Los usuarios pueden realizar análisis de riesgos detallados utilizando modelos probabilísticos para evaluar la probabilidad de eventos como fugas, rupturas o explosiones, así como las posibles consecuencias asociadas.
- Evaluación de medidas de mitigación: La aplicación también permite a los usuarios simular el impacto de diferentes medidas de mitigación de riesgos para identificar las estrategias más efectivas para mejorar la seguridad y la integridad del gasoducto.
- Up-grade interna: aprendiendo de su utilización, las mejoras son incorporadas sin necesidad de asistencia externa y con rapidez.

Compartiremos la experiencia en esta solución, la cual optimizo los tiempos de realización de los QRA, implementar una plataforma propia y evolucionable aprovechando el know-how interno.

1. Introducción

La normativa NAG 100 Parte G, adenda 2, publicada en 2016, estipula la necesidad de realizar una evaluación exhaustiva de seguridad en los sistemas de transporte por gasoductos que operan a un nivel de tensión superior al 30% de la TFME y que además contengan viviendas o sitios aptos para el transporte de seres humanos dentro del círculo de Impacto Potencial. Todo ello para identificar el nivel de riesgo de operar la línea en el entorno de personas y definir las medidas mitigatorias de dicho riesgo. Adicionalmente, y como parte de la implementación de la mencionada normativa, ella especifica un periodo de 5 años para la ejecución de los estudios y sus acciones resultantes.

La realización de los estudios de seguridad, denominada análisis de Riesgo Cuantitativo (QRA) representa un proceso complejo y exhaustivo de recolección de datos, alineamiento, procesamiento y calculo de los escenarios de probabilidad de falla para cada amenaza a la integridad de las tuberías. además, dada su especificidad, es una tarea realizada por consultas dedicadas a este proceso.

Por lo anterior, lograr la realización de los estudios cumpliendo los plazos establecidos para hallazgos y ejecución de medidas de mitigación, represento un desafío, atento la capacidad de las prestadoras del servicio se vio afectada por los métodos vigentes de trabajo, la alta demanda de operadores en realizar los estudios y cumplir con la regulación, así como contar con los estudios y resultados en tiempo suficiente como para planificar y ejecutar las acciones que pudieran resultar.

Fue así que tgs, viendo la experiencia de los primeros 3 años de realizar los estudios con servicios externos, para mejorar como llevar adelante la exigencia normativa, evaluó y contemplo el desarrollo de una herramienta propia de diagnóstico que permita ejecutar evaluaciones de seguridad de manera dinámica y a demanda, emulando un entorno de tiempo real.

Este enfoque se apoya en el vasto conocimiento técnico acumulado (Know How) y en la disponibilidad de una fuente de información completa y estructurada, alojada tanto en la plataforma de Sistemas de Información Geográfica (GIS) como en los resultados del reporte de Inspección en Línea (ILI). Aprovechando las capacidades de geoprocесamiento y las ventajas inherentes a estas tecnologías, se busca automatizar la alineación y recopilación de datos necesarios para llevar a cabo las evaluaciones de seguridad de manera eficiente y precisa.

Para el procesamiento y análisis de esta información, se utiliza el software R. Esta elección permite realizar análisis estadísticos avanzados, modelado de datos y generar visualizaciones efectivas para comprender mejor los resultados de la evaluación de riesgos. La integración de GIS, reportes ILI y el software R ofrece una solución integral para la gestión eficiente y precisa

de los datos, mejorando la capacidad de identificar y mitigar riesgos potenciales en la operación de los gasoductos.

2. Definiciones

QRA	Evaluación Cuantitativa de Riesgos.
GIS	Sistemas de Información Geográfica, de “Geographic Information System”
ILI	Inspección en Línea mediante herramienta inteligente, de “in line inspection”
TFME	Tensión de fluencia mínima especificada, desarrollada en NAG 100. Sección 3
CIP	Círculo de Impacto Potencial, desarrollado en NAG100-Adenda 2010 Parte O

3. Automatización de tareas mediante la concatenación de flujos de trabajo en un Sistema de Información Geográfica (GIS)

El punto de partida en un estudio QRA es contar con datos de diseño, operativos, de inspección, características del entorno que lo rodea, entre otros. Su alineación requiere de un proceso complejo, donde demanda conocimiento y tiempo debido a la variedad de fuentes y formatos. Ello, cuando lo realiza un consultor externo, demanda tiempo de procesamiento interno en la compañía, interpretación y comprensión de los datos de parte del consultor, idas y vueltas en consultas y aclaraciones, y su posterior proceso demandando tiempos extensos y viables de mejorar. Aquí es donde tgs, contando con una base de datos geoespacial, identifico una oportunidad de mejor.

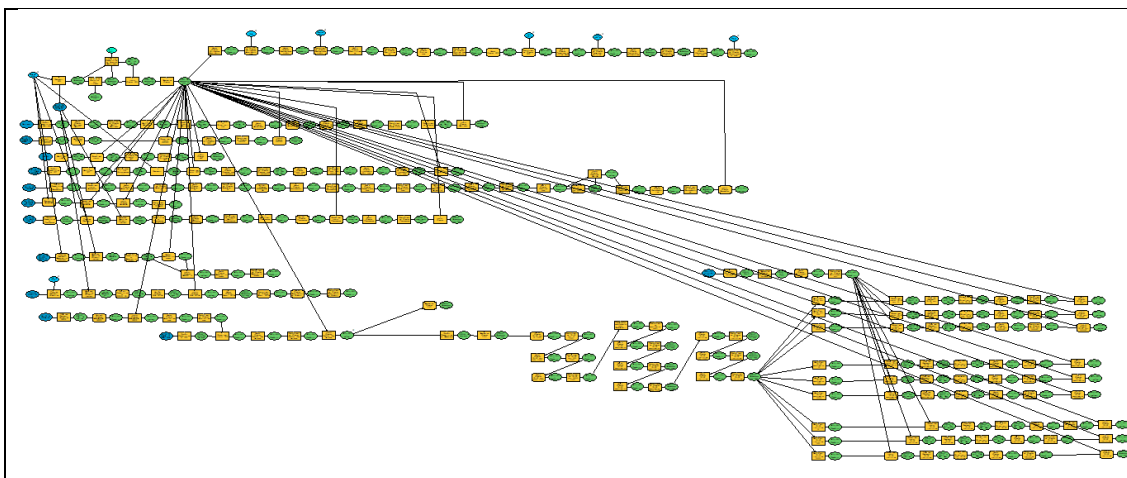
En el ámbito del análisis de datos geoespaciales, la automatización de tareas como la concatenación de flujos de trabajo desempeña un papel fundamental para mejorar la eficiencia y la precisión de los procesos. En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica (GIS) ofrecen herramientas poderosas para la automatización de flujos de trabajo mediante la concatenación de tareas, facilitando la obtención de la información necesaria para efectuar las evaluaciones de riesgos.

La principal ventaja de la concatenación de flujos de trabajo en un GIS radica en su capacidad para automatizar procesos complejos y repetitivos. Mediante el uso de herramientas como ModelBuilder en ArcGIS o Modeler en QGIS, es posible crear diagramas visuales que representan la secuencia de tareas a realizar. Estos diagramas permiten la conexión de diferentes herramientas y procesos, estableciendo relaciones de entrada y salida entre ellas.

Al automatizar las tareas dentro del GIS, se logra una serie de beneficios significativos. En primer lugar, la automatización aumenta la eficiencia al eliminar la necesidad de realizar manualmente tareas repetitivas. Además, garantiza la consistencia en los resultados al seguir una secuencia predefinida de operaciones. Asimismo, la automatización facilita la reproducibilidad de los análisis al proporcionar un registro claro de las operaciones realizadas.

El siguiente diagrama ilustra la concatenación de herramientas GIS que permitió la automatización del proceso de evaluación de riesgos. En el diagrama, las fuentes de datos GIS se

representan en azul y a la izquierda, las herramientas de entrada en amarillo y los resultados de cada herramienta en verde y a la derecha.



4. Reportes de Inspección en Línea (ILI)

Los reportes de Inspección en Línea (ILI) son elementos esenciales en la gestión de la integridad de los gasoductos. Proporcionan una evaluación detallada del estado interno de las tuberías, obtenida mediante herramientas de inspección avanzadas introducidas dentro del sistema de transporte de manera no intrusiva.

Estos informes, de gran volumen de datos, contienen información sobre la ubicación, clasificación y severidad de los defectos relevados, así como detalles dimensionales que son cruciales para calcular los Puntos de Evaluación de Falla (POE). Los POE son utilizados en el análisis de riesgos para evaluar la probabilidad de ocurrencia de fallas en el sistema, que será desarrollado más adelante.

5. Criterios de selección para la Metodología de Procesamiento de Datos

Para la selección de la metodología de procesamiento de datos, se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- Capacidad de modelado: Los cálculos necesarios se realizan con una resolución de 1 metro, lo que implica la necesidad de procesar tramos de cañería del orden de los 150 km, equivalente a aproximadamente 150.000 filas de datos.
- Operaciones funcionales vectorizadas: Se ha priorizado la utilización de operaciones funcionales vectorizadas para facilitar la programación y mejorar la eficiencia en el procesamiento de datos.
- Facilidad de representación gráfica: Se requiere la capacidad de representar la información de forma gráfica e intuitiva para facilitar la comprensión de los resultados obtenidos.

- Generación de reportes personalizables: Es importante que la metodología seleccionada permita la generación de reportes personalizables que puedan adaptarse a las necesidades específicas del proyecto.
- Capacidad de generación de interfaz gráfica: Se busca una metodología que cuente con la capacidad de generar una interfaz gráfica para su uso, lo que facilitará la interacción con los datos y la aplicación de los análisis correspondientes.

Teniendo en cuenta estos criterios, se ha optado por la utilización de un lenguaje de programación R como la metodología más adecuada para el procesamiento de datos en este contexto.

R es un lenguaje de programación y un entorno de desarrollo diseñado específicamente para el análisis estadístico y la visualización de datos. Es un software de código abierto ampliamente utilizado por científicos de datos, estadísticos y analistas en una variedad de campos, desde la investigación académica hasta la industria.

R ofrece una amplia gama de paquetes y herramientas especializadas para el análisis de datos, lo que lo convierte en una opción popular para tareas como modelado estadístico, minería de datos, aprendizaje automático y visualización de datos. Su sintaxis es sencilla y flexible, lo que facilita su aprendizaje y su uso tanto para usuarios novatos como experimentados.

Resultados similares se pueden obtener mediante la utilización del lenguaje Python.

6. Interfaz de usuario

Como interfaz de usuario se eligió Shiny Server que consiste en una plataforma web de código abierto que permite el desarrollo y la implementación de aplicaciones interactivas basadas en R. Diseñado para facilitar la creación de interfaces de usuario dinámicas y personalizables, Shiny Server permite a los usuarios de R convertir sus análisis y modelos estadísticos en aplicaciones web interactivas sin necesidad de conocimientos avanzados en desarrollo web.

7. Infraestructura

Tanto la programación de usuario en R (back end) como la interfaz de usuario mediante Shiny Server (front end) se desarrollan y gestionan mediante la plataforma Posit.

Está formado por los siguientes componentes:

- Posit Workbench: para el desarrollo de los códigos de programación.
- Posit Connect: para la puesta en producción como front end de los desarrollos de código.
- Posit Package Manager: es el gestor de los paquetes o librerías a utilizar en los códigos de programación.

Posit sirve como entorno de desarrollo integrado (IDE), brindando la plataforma necesaria para los siguientes aspectos:

- Colaboración: Facilita el trabajo en equipo en proyectos
- Gestión centralizada: proporciona a los administradores de TI las herramientas para gestionar y supervisar el uso del software dentro de una organización. Los administradores pueden crear y administrar cuentas de usuario, asignar permisos de acceso, establecer políticas de seguridad e implementar actualizaciones.
- Seguridad: Ofrece una serie de funciones de seguridad, como autenticación de usuario, control de acceso basado en roles y cifrado de datos.

8. Información proveniente del sistema GIS

Por cada metro de cañería, presenta la siguiente información:

- OBJECTID: Identificador único para cada registro de la cañería.
- NOMEN: Nombre o identificación específica de la cañería.
- Gasoducto: Indica si la cañería pertenece a un sistema de gasoducto.
- Sector: Zona o sector geográfico donde se encuentra la cañería.
- Tramo: Sección específica de la cañería.
- RID: Identificador único de ruta de la cañería.
- Progresiva: Medida de la distancia a lo largo de la cañería.
- Cruce_Huellas: Indica si la cañería es cruzada por una huella.
- Cruce_Caminos_Secundarios: Indica si la cañería es cruzada por un camino secundario.
- Cruce_Rutas: Indica si la cañería es cruzada por una rutas provincial, nacional o autopista.
- Cruce_Ferrocarril: Indica si la cañería cruza líneas de ferrocarril.
- Cruce_LAT: Indica si la cañería cruza líneas de alta tensión.
- Clase_de_Trazado: I, II, III y IV.
- Tipo_de_Zona: Rural, Suburbana, Urbana.
- Inspección_de_fuga: Indica si se han realizado inspecciones por fugas.
- Material: Grado del material de la cañería.
- Diámetro: Diámetro de la cañería.
- Espesor: Espesor de la pared de la cañería.
- Cambios_de_Cañería: Indica si hay cambios en el material de la cañería.
- Revestimiento: Tipo de revestimiento aplicado a la cañería.
- Fecha_de_Construcción: Fecha en la que se construyó la cañería.
- Soldadura: Tipo de soldadura utilizada en la cañería.
- MAPO: Máxima presión de operación permitida para la cañería.
- TFME: Tensión de fluencia mínima especificada de la cañería.
- Tapada: profundidad de tapada.
- Resistividad: Resistividad del suelo alrededor de la cañería.

- Prueba_Hidráulica: Indica si se ha realizado una prueba hidráulica en la cañería.
- Señalización: Estado de la señalización de la cañería.
- Patrullaje: Frecuencia de patrullaje.
- Cinta_de_Peligro: Indica si hay cinta de peligro colocada sobre la cañería.
- Protección_catódica: Indica si se encuentra protegida catódicamente la cañería.
- Temperatura_Gas: Temperatura del gas dentro de la cañería.
- Tensión_Fluencia: Tensión de fluencia del material de la cañería.
- Velocidad_de_corrosión: Velocidad de corrosión de la cañería.
- Distancia_Planta_Compresora: Indica si la distancia desde la descarga de la planta compresora es menor a 32km.
- Historial_de_fallas: Historial de fallos o incidentes relacionados con la cañería.
- Caño_Camisa: Indica si hay un caño camisa.
- CIP_ph_1, CIP_ph_50, CIP_ph_100: Cantidad de personas dentro de la distancia de probabilidad de mortalidad al 1%, 50% y 100% producidas por un defecto pinhole.
- CIP_agujero_1, CIP_agujero_50, CIP_agujero_100: Cantidad de personas dentro de la distancia de probabilidad de mortalidad al 1%, 50% y 100% producidas por un defecto agujero.
- CIP_rotura_1, CIP_rotura_50, CIP_rotura_100 Cantidad de personas dentro de la distancia de probabilidad de mortalidad al 1%, 50% y 100% producidas por un defecto de rotura.
- Recobertura: Indica la existencia de cambio de revestimiento externo.
- ANTECEDENTES_SCC: Antecedentes relacionados stress corrosión cracking.
- ILI: Si posee Inspección de herramientas inteligentes.
- Losetas: si hay Losetas aplicadas para protección de la cañería.

9. Cálculo de Riesgo

La ejecución de la tarea se divide en dos pasos:

- El armado del dataset
- La Confección de QRA.

El armado del dataset consiste en unificar la información que proviene del sistema GIS con la que es originada por el reporte ILI. Además, se efectúan los cálculos necesarios para el paso siguiente. Confección de QRA: a partir de la información del paso anterior, se efectúan los cálculos de Riesgo Individual y Social, junto con los gráficos y reportes de información que sirve como soporte para la elaboración del Informe.

10. Metodología para la Evaluación del Riesgo Individual y Social

La metodología para la evaluación del riesgo individual y social tiene en cuenta los requisitos establecidos en el Estudio de Evaluación de Seguridad presentado por la Adenda N° 2 NAG 100, Apéndice G-20, así como los criterios establecidos por el Health and Safety Executive (HSE). También se tienen en cuenta las recomendaciones IGEM/TD/1 "Recommendations on Transmission and Distribution Practice" y IGEM/TD/2 "Application of Pipeline Risk Assessment to Proposed Developments in the Vicinity of High Pressure Natural Gas Pipelines", publicadas por The Institution of Gas Engineers de Gran Bretaña. (<https://www.igem.org.uk/>)

El nivel de riesgo ALARP (As Low As Reasonably Practicable) se considera tolerable solo si una reducción adicional del mismo es impracticable o si se requiere una acción desproporcionada en tiempo y esfuerzo en comparación con la reducción alcanzada.

Cuando no hay infraestructura que permita la presencia de personas en la vecindad de los radios de riesgo social, ya sea en su circulación (caminos, rutas, pasos vecinales, ferrocarriles) o en su ocupación (viviendas u otro tipo de construcciones) dentro del círculo de impacto de la falla, el riesgo social se considera nulo.

La Práctica Recomendada IGE/TD/1 recomienda que la frecuencia de falla base puede ser obtenida a partir de bases de datos publicadas como UKOPA (Reino Unido, Gases), EGIG (Europa Occidental, Gas Natural) u OPS (Office of Pipeline Safety, USA, Gas Natural).

La Adenda N°2 de NAG 100 (2016) presenta el siguiente esquema base de evaluación de riesgos:

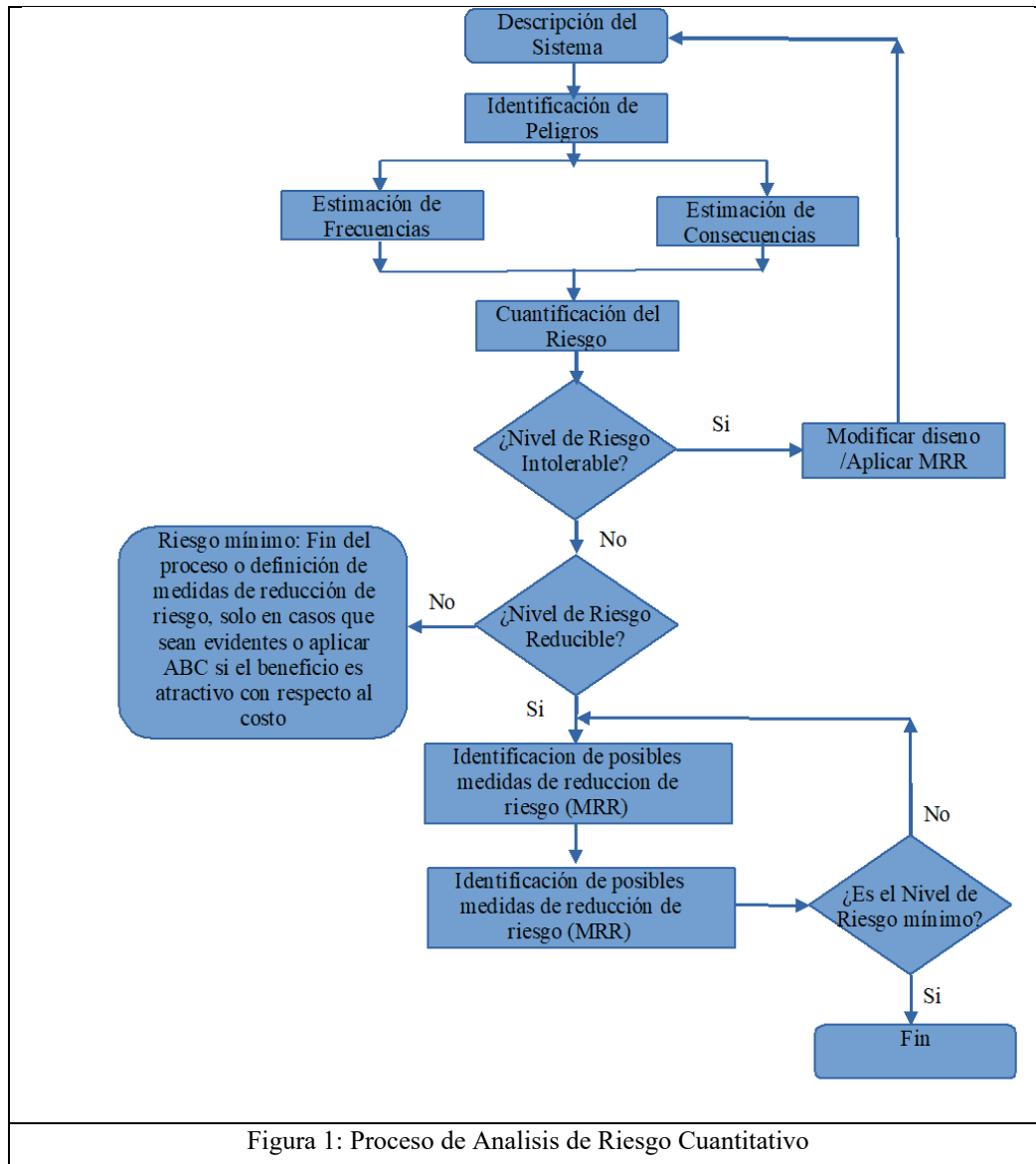


Figura 1: Proceso de Analisis de Riesgo Cuantitativo

11. Cálculos adicionales a los datos del reporte ILI

Además de los datos proporcionados por el reporte de Inspección en Línea (ILI), son necesarios cálculos adicionales:

- Profundidad del defecto actualizada: Teniendo en cuenta el año de inspección y la velocidad de corrosión, se actualiza la profundidad de los defectos detectados en el gasoducto.
- Área del defecto: Se determina el área de cada defecto detectado en el gasoducto.
- POE Fuga (Probabilidad de Excedencia de una Fuga): Esta métrica representa la probabilidad de que una fuga exceda cierto umbral crítico, basada en la gravedad y la ubicación del defecto.

- POE Rotura (Probabilidad de Excedencia de una Rotura): Similar al POE Fuga, esta métrica indica la probabilidad de que un defecto en el gasoducto cause una rotura.

12. Probabilidad de falla por tipo de amenaza

Una vez consolidada la información proveniente tanto del GIS como del reporte ILI en un único conjunto de datos, se procede a calcular las probabilidades de falla por diferentes tipos de amenazas.

Para los casos en los que no se dispone de una inspección en línea, se calculan las probabilidades de ocurrencia de fuga y rotura (POE Fuga y POE Rotura) mediante fórmulas específicas.

Se estiman las siguientes probabilidades:

- Probabilidad de falla por año de fabricación/construcción
- Probabilidad de falla por daño por terceros
- Probabilidad de ocurrencia de SCC
- Probabilidad de ignición
- Probabilidad de falla con ignición

Con esta información, se procede a calcular las consecuencias de las posibles fallas. Específicamente, se determina la distancia de consecuencia por efecto de la radiación térmica, representada por el Círculo de Impacto Potencial (CIP).

13. Cálculo de riesgos

Utilizando la secuencia de tratamiento mencionada anteriormente, se procede al cálculo de los riesgos asociados. Este cálculo incluye:

- Riesgo Individual al 1% de probabilidad de muerte: Se estima el riesgo individual para eventos que presentan una probabilidad de ocurrencia del 1% de causar la muerte.
- Riesgo Social: Se evalúa el riesgo a nivel social, considerando el impacto acumulativo de los eventos en la comunidad o la sociedad en su conjunto.

14. Información generada

Una vez procesados los datos a través de la interfaz web con el usuario, se generan los siguientes reportes:

a) Reporte formato “pdf” con los siguientes gráficos:

- Probability of Excedence (POE) Fuga
- Probability of Excedence (POE) Rotura
- Probabilidad de ignición
- Probabilidad de falla con ignición

- Radios de impacto al 1%, 50% y 100% de probabilidad de muerte
- Probabilidad de falla por amenaza de rotura, agujero y pinhole.
- Máximo Riesgo Individual al 1% de probabilidad de muerte sobre el eje del gasoducto.
- Máximo Riesgo Social sobre el eje del gasoducto.

b) Reporte en formato de texto que indica las progresivas donde los riesgos individuales superan el umbral ALARP (As Low As Reasonably Practicable) o alcanzan un nivel intolerable.

15. Utilización de la información generada

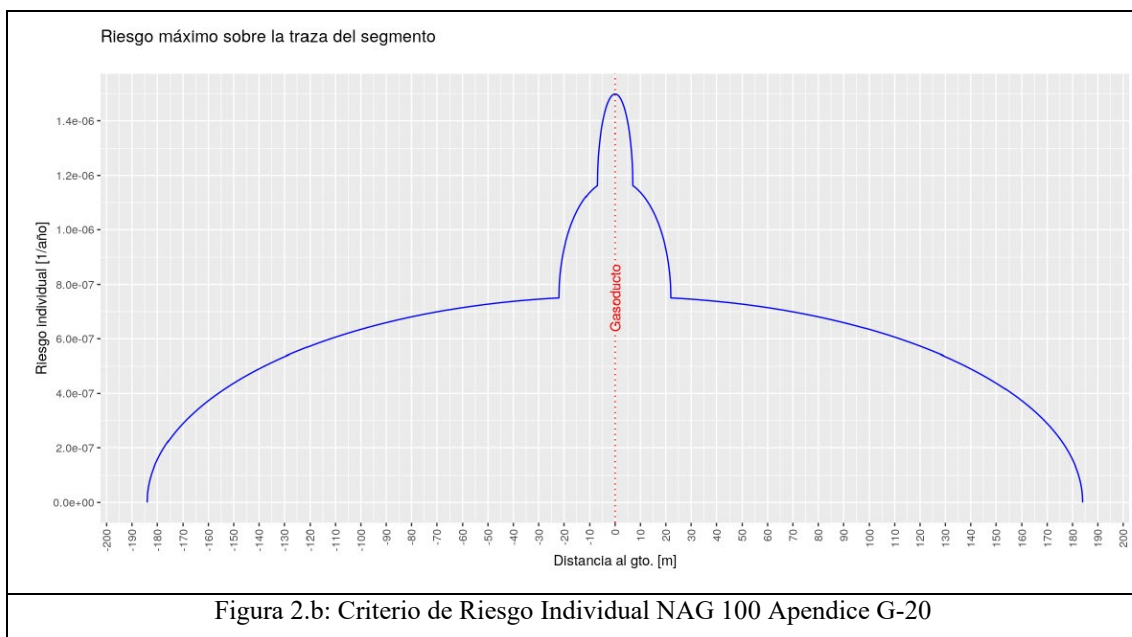
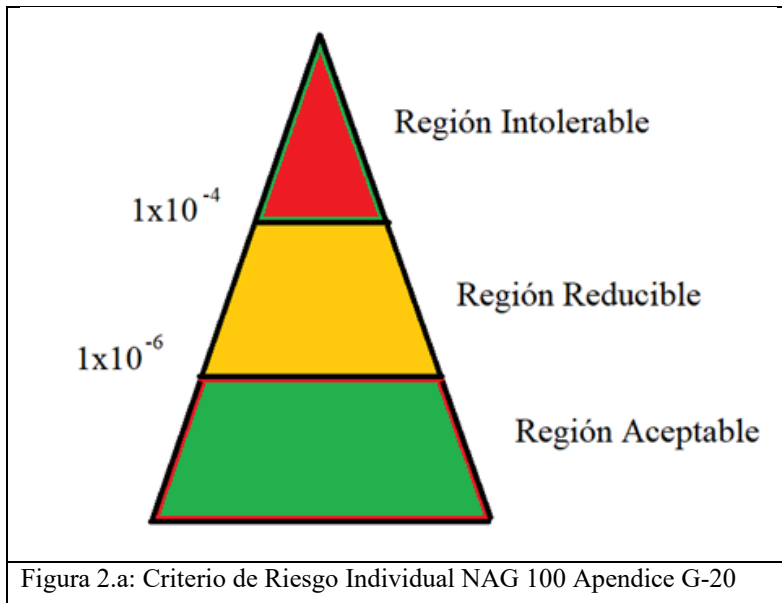
La información tanto gráfica como las ubicaciones generadas en texto son fundamentales para evaluar la conformidad con los requisitos y para identificar las causas en caso de exceder las tolerancias. En tal caso, esta información también es crucial para proponer medidas de mitigación.

Para cumplir con los requisitos del Reporte QRA establecidos por el ENARGAS, es obligatorio incluir los Máximos Riesgos Individuales y el Riesgo Social. Estos elementos proporcionan una visión integral del riesgo asociado y son esenciales para la toma de decisiones informadas.

La evaluación del riesgo individual se realiza, según NAG 100, comparándola con el criterio ALARP que establece:

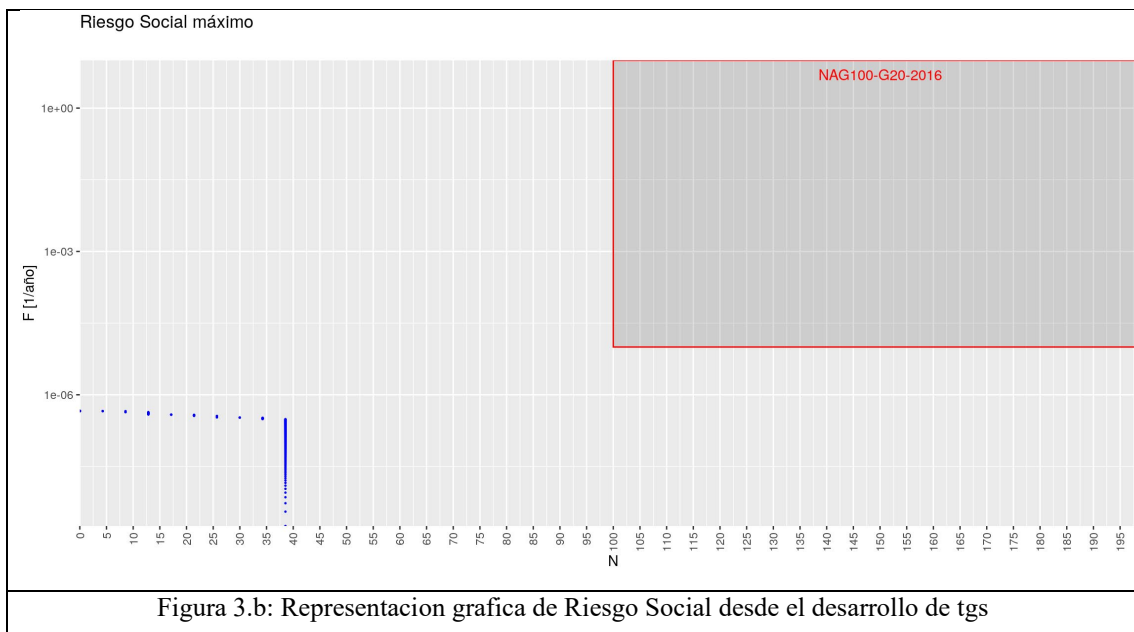
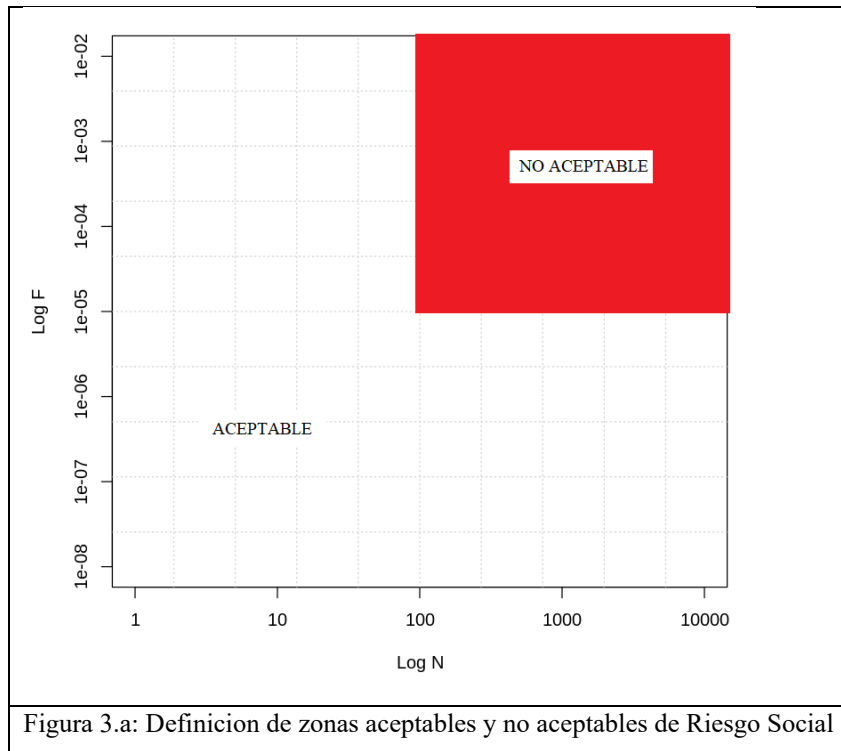
- **REGIÓN INTOLERABLE:** Si el riesgo está en la región intolerable, el mismo no puede ser justificado. Se considera región de riesgo intolerable si el valor de riesgo individual es superior a 1×10^{-4}
- **REGIÓN REDUCIBLE:** Si el riesgo está en la región reducible, el riesgo es tolerable solo si una reducción adicional del mismo es impracticable o si se requiere una acción desproporcionada en tiempo esfuerzo respecto de la reducción alcanzada (criterio ALARP, As Low As Reasonably Practicable). Esta región está definida por valores de riesgo individual desde 1×10^{-4} hasta 1×10^{-6}
- **REGIÓN ACEPTABLE:** Si el riesgo está en la región aceptable, el nivel de riesgo residual es considerado insignificante. Se considera región de riesgo aceptable si el valor de riesgo individual es inferior a 1×10^{-6}

El criterio ALARP mencionado coincide con el establecido en la IGEM/TD/1 y la norma inglesa BS 8010 (ambas referenciadas por la NAG 100). Estos conceptos están ilustrados gráficamente en la Figura 2.a y 2.b.



El riesgo social es una medida de la relación entre la frecuencia de un accidente y el número de víctimas que resultan. Se mide normalmente a través de las llamadas curvas F-N. Las curvas F-N son la representación gráfica de la información acerca de la frecuencia de potenciales accidentes fatales en un sistema en función del número de fatalidades que podría causar.

Las Figuras 3.a y 3.b representa la región de riesgo intolerable según NAG 100 y como se visualiza el resultado de un tramo de gasoducto desde el desarrollo.



16. Conclusiones

En este estudio, se ha llevado a cabo una evaluación cuantitativa de riesgos (QRA) para gasoductos, utilizando una metodología que integra datos provenientes de diversas fuentes, incluyendo herramientas de inspección en línea (ILI) y sistemas de información geográfica (GIS). A través del análisis de estos datos, se han identificado y evaluado las amenazas potenciales para la integridad de los gasoductos, así como los posibles impactos asociados con dichas amenazas.

Los resultados obtenidos han proporcionado una visión detallada del riesgo en diferentes áreas a lo largo de los gasoductos, permitiendo una mejor comprensión de las vulnerabilidades y áreas críticas que requieren atención. Se ha demostrado que la integración de datos y la aplicación de técnicas de análisis avanzadas son fundamentales para una evaluación exhaustiva y precisa del riesgo en infraestructuras de este tipo.

Además, se ha destacado la importancia de contar con información gráfica y ubicaciones generadas en texto para facilitar el análisis y la toma de decisiones. Estos elementos son esenciales para evaluar la conformidad con los requisitos establecidos y para identificar las causas de posibles desviaciones, lo que a su vez permite proponer medidas de mitigación eficaces.

Este desarrollo fue implementado y utilizado para la evaluación de los últimos dos años del plan quinquenal inicial de la exigencia normativa, durante el cual se completó la totalidad del sistema y se realizaron posteriores reevaluaciones que experimentaron cambios en el entorno. Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios en términos de los tiempos del proyecto, así como en la optimización de recursos.

17. Bibliografía

NAG 100 (1993). Normas Argentinas Mínima de Seguridad Para el Transporte y Distribución de Gas Natural y Otros Gases por Cañerías. Recuperado el 27/05/24 de <https://www.enargas.gob.ar/secciones/normativa/pdf/normas-tecnicas/NAG-100.pdf>
NAG-100 Adenda N° 2 (2016). NAG 100 Año 1993 Adenda N°2 Año 2016 Normas Argentinas Mínima de Seguridad Para el Transporte y Distribución de Gas Natural y Otros Gases por Cañerías. Recuperado el 27/05/24 de <https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/260000-264999/261034/res3778.pdf>
Posit. (2024). Posit: The home of RStudio and Posit Workbench. Recuperado el 27/05/24 de <https://posit.co/>
EGIG Report (2020)- EGIG 11th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970 – 2019). Doc. number VA 20.0432, 17TH of December 2020. <https://www.egig.eu/>
EGIG Report (2018)- EGIG 10 th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970 – 2016) Doc. number VA 17.R.0395 March 2018. <https://www.egig.eu/>

18. Breve Cv

Adrian Trujillo, Ingeniero Electrónico con mas de 30 años de experiencia como analista en la industria de petróleo y gas. Aptitudes principales: Artificial Intelligence (AI), Business Intelligence Tools. Data Science. Machine Learning. Deep Learning.

Leonardo Galimany, Técnico Geógrafo Matemático, Posee mas de 20 años de experiencia de manejo, procesamiento, migración, clasificación, edición, actualización y captura de datos espaciales utilizando los Sistemas de Información Geográfica (GIS)

Hermann Agustín Dazeo, Ingeniero en materiales especializado en la industria de Oil & Gas con más de tres años de experiencia. Se destaca por su habilidad en la evaluación de riesgo e integridad en diversas instalaciones de la cadena de valor de esta industria.