



# Gestión de Riesgos en Ductos

Ricardo Rodrigues  
Químico, Director Ejecutivo de ITSEMAP do Brasil





Los grandes avances en el sector de la energía en Brasil y en particular en las áreas de petróleo y gas, han precisado de una serie de inversiones no sólo en los procesos de prospección, producción y exploración, sino también en la infraestructura relacionada con el transporte de los productos extraídos en los campos de explotación y en las unidades de refino.

En este contexto, destacan las inversiones en la recuperación de la red ferroviaria del país y en la construcción de ductos para el transporte de petróleo, derivados, gas y alcohol, infraestructura que viene siendo ampliada en los últimos años.

Solamente PETROBRAS TRANSPORTE (TRANSPETRO) cuenta actualmente con una red de 7.000 km de oleoductos y 4.000 km de gasoductos, además de 26 terminales fluviales y 20 terminales terrestres.

En el área de distribución de gas natural, Brasil cuenta actualmente con 26 empresas distribuidoras presentes en prácticamente todos los estados del país. Destacan algunas empresas multinacionales como Gas Natural y el Grupo Eni, entre otras.

Además del área de petróleo y gas, son muy relevantes las inversiones en biodiésel y etanol, éste en particular, en la medida en que Brasil se sitúa entre los mayores productores y exportadores de alcohol.

Muchos son los proyectos, obras y proyectos de ductos en ejecución, lo que ha generado una gran demanda tanto en el perfeccionamiento técnico en todas las etapas de desa-



**En Brasil, desde 1981 está reglamentado el análisis de los riesgos asociados a proyectos que operan con sustancias peligrosas.**

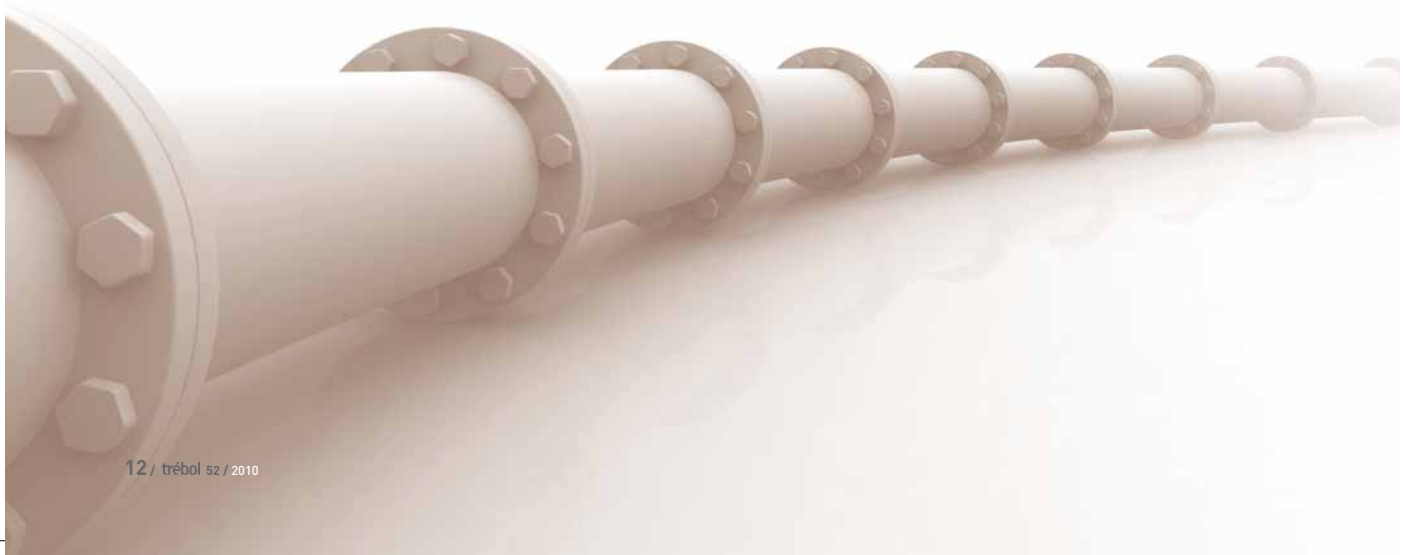


rollo de estas instalaciones, como en los aspectos relacionados con el análisis de los riesgos ambientales.

De esta forma, se han desarrollado un buen número de estudios y avances técnicos, no sólo por los promotores de los proyectos, sino también por los responsables de la cadena de ingeniería de riesgos. El resultado es el diseño de "herramientas" técnicas avanzadas para la identificación, evaluación y control de los riesgos asociados a ductos destinados al transporte de productos peligrosos.

En Brasil, desde 1981 está reglamentado el análisis de los riesgos asociados a proyectos que operan con sustancias peligrosas, tanto desde el punto de vista de seguridad para las personas como para el medio ambiente. En ese año entró en vigor la Ley Federal n  6938, que establece la Política Nacional de Medio Ambiente. Posteriormente, en 1986, con la publicación de la Resolución en el 01/86 del Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), los estudios de análisis de riesgos se incorporaron al proceso de obtención de licencias medioambientales.

Así, desde hace más de 20 años, todos los proyectos nuevos que afectan al medio ambiente o suponen una amenaza para las comunidades vecinas, deben presentar un Análisis Cuantitativo de Riesgo (ACR) a los órganos de competencia medioambiental de forma que se verifique que los niveles de riesgos transferidos son tolerables cuando se comparan con criterios reconocidos internacionalmente.





## LOS ACR (Análisis Cuantitativos de Riesgos)

De modo general, los ACRs contemplan el siguiente alcance:

► **Descripción del proyecto y de la región:** esta primera etapa tiene por finalidad presentar las grandes líneas del proyecto/proceso en análisis, así como las principales características ambientales de la localización del mismo, núcleos de población, áreas ambientalmente sensibles y condiciones climáticas y meteorológicas. En el caso de ductos, por tratarse de proyectos lineales, es importante que todo el trazado sea cartografiado y sean identificados todos aquellos elementos vulnerables que puedan ser afectados en caso de accidente, ya sea por fugas de líquidos a cuerpos de agua, incendios, explosiones o emisiones de gases tóxicos a la atmósfera. La figura 1 presenta un ejemplo de cartografía de un ducto realizado para un ACR, elaborado por ITSEMAP Brasil.

► **Características y propiedades de las sustancias:** deben ser caracterizadas todas las sustancias peligrosas involucradas en el proceso en evaluación. Desde un punto de vista general, las principales informaciones a presentar son:

- Composición y propiedades físicas y químicas;
- Características de peligrosidad;
- Riesgos de incendio y medidas de protección y combate;
- Parámetros toxicológicos;
- Primeros auxilios;
- Acciones en caso de emergencia.

► **Análisis Histórico de Accidentes (AHA):** tiene por principal finalidad respaldar las frecuencias de accidentes definidas, los tipos de escenarios y los daños probables, así como sus causas. Para ello, se consultan bancos de datos y referencias internacionales de accidentes como:

- UKOPA (*United Kingdom Onshore Pipeline Operator's Association, UK*);

**Figura 1. Ejemplo de cartografía de Trazado de Ducto (ITSEMAP Brasil)**



- DOT/OPS (*Department of Transportation, Office of Pipeline Safety, USA*);

- CONCAWE (*Conservation Of Clean Air, Water and the Environment, BE*);

- PARLOC (*Pipelines and Risers, Loss of Containment, UK*);

- MHIDAS (*Major Hazardous Incident Data Service, UKAEA*);

- EGIG (*European Gas Incident Data Group*).

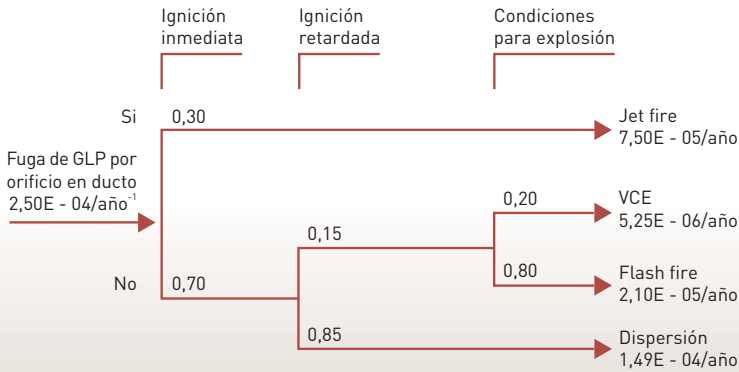
► **Identificación de escenarios:** esta etapa tiene por finalidad identificar las diferentes hipótesis accidentales t picas de la fase de operación del proyecto en estudio. En el caso de los ductos, normalmente se asocian a pérdidas de contención por grandes roturas o aparición de orificios en las tuberías. Para la tipificación de las causas se suelen aplicar diferentes metodologías como: *HazOp, FME o, Checklist's*, entre otras. Por otro lado, en estudios de ductos es bastante común el uso del Análisis Preliminar de Peligros (APP).

► **Estimación de las frecuencias:** se deben estimar las frecuencias anuales de ocurrencia de cada uno de los escenarios accidentales identificados en la etapa anterior, tomando como referencia los registros históricos analizados en el AHA realizado previamente. La elaboración

**Todos los proyectos nuevos que afectan al medio ambiente o suponen una amenaza para las comunidades vecinas, deben presentar un Análisis Cuantitativo de Riesgo (ACR).**



Figura 2. Ejemplo de Árbol de Eventos en Gasoducto



VCE (Vapor Cloud Explosion): Explosión de nube de vapor  
 Jet fire: incendio de fuga de gas/líquido a presión  
 Flash fire: deflagración sin efectos explosivos



ción de Árboles de Eventos, como muestra la figura 2, ilustra los diferentes escenarios (evoluciones) accidentales que pueden presentarse a partir de las hipótesis accidentales, y calcula su frecuencia de suceso.

- ▶ **Cálculo de consecuencias y análisis de vulnerabilidad:** las diferentes consecuencias (efectos físicos) asociadas a los escenarios de accidentes estudiados se calculan utilizando modelos de simulación adecuados que representen los fenómenos estudiados, como incendios, explosiones y emisiones de sustancias tóxicas. La valoración de estos efectos se hace en términos de vulnerabilidad de las áreas afectadas por medio de ecuaciones del tipo *PROBIT* (*Probabilistic Unit Method*). En general, los rangos de los efectos físicos considerados, tanto para evaluación de los riesgos, como para el apoyo en el desarrollo de futuros planes de respuesta a emergencia, son:
  - ▶ **Radiación térmica:** *Probits* correspondientes a 1%, 50% y 99% de probabilidad de ocurrencia y efectos correspondientes a 3,0 kW/m<sup>2</sup>.
  - ▶ **Incendio en Nube de Vapor (Flashfire):** Límite Inferior de Inflamabilidad (LII).
  - ▶ **Sobrepresión:** *Probits* correspondientes a 1%, 50% y 99% de probabilidad de ocurrencia y efectos correspondientes a 0,05 bar.

En el caso de ductos destinados al transporte de productos líquidos es necesario calcular los volúmenes fugados con anterioridad a la realización de las simulaciones de los efectos físicos. Dependiendo del trazado y extensión del ducto en estudio, este cálculo que puede ser muy complejo incluye además, los aspectos operacionales (tiempos de parada de bombeo de producto y de cierre de válvulas, intermedias y finales).

### LeakMAP

Para cubrir tal necesidad, ITSEMAP desarrolló una aplicación informática específica que efectúa estos cálculos, denominada *LeakMAP*.

De modo general el Programa *LeakMAP* determina el volumen total fugado en un ducto, considerando la suma del volumen fugado en el tiempo hasta la detección de la fuga y del producido en el vaciado de la columna hidráu-



**Figura 3. Criterios de tolerancia de Riesgo Individual para Ductos (CETESB, 2003)**



\* ALARP: As Low As Reasonably Practicable

lica. Así, en estos cálculos se consideran, entre otros, los siguientes parámetros:

- ▶ Coeficiente de descarga de la fuga.
- ▶ Profundidad de enterramiento de las tuberías.
- ▶ Diámetro nominal y espesor de la pared de la tubería.
- ▶ Alturas manométricas en la salida y llegada del producto.
- ▶ Densidad y presión de vapor del producto transportado.
- ▶ Perfil hidráulico del ducto.
- ▶ Diámetro del orificio de fuga.
- ▶ Tiempo máximo estimado para contención de la fuga.
- ▶ Tiempo estimado para la detección de la fuga.

- ▶ Tiempo para paralización del bombeo.
- ▶ Tiempo necesario para el bloqueo de las válvulas para aislamiento del punto de la fuga.

Como resultado, el programa suministra la tasa inicial de descarga, velocidad inicial de descarga, tiempo de duración de la fuga y volumen total fugado.

- ▶ **Estimación y evaluación de los Riesgos:** la combinación de las frecuencias de ocurrencia con los efectos físicos estudiados proporciona una cuantificación de los riesgos, que deben ser expresados como Riesgo Individual (RI) y Riesgo Social (RS), éste representado en forma de curva F-N (frecuencia acumulada x número de víctimas fatales potenciales).

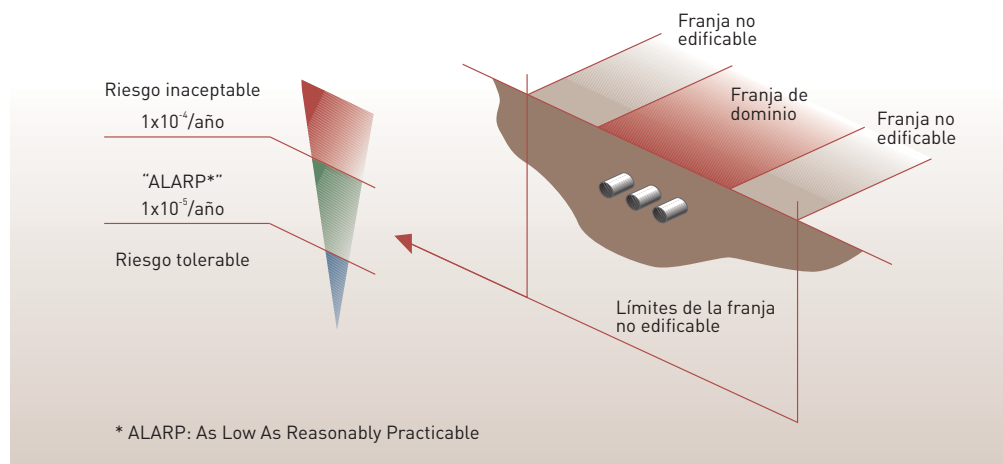
Para la realización de estos complejos cálculos, ITSEMAP ha desarrollado la herramienta QuantoX con un complemento específico para el análisis de riesgos lineales, como puedan ser los trazados de ductos.

Los niveles de riesgos estimados deben compararse con los criterios de tolerancia establecidos por los Órganos Medioambientales que autorizan y fiscalizan los proyectos, cuyos criterios de RI (riesgo individual de fatalidad por año) están presentados en la Figura 3.

**El Programa LeakMAP determina el volumen total fugado en un ducto, considerando la suma del volumen fugado en el tiempo hasta la detección de la fuga y del producido en el vaciado de la columna hidráulica.**



**Figura 4. Criterios de Riesgo Individual para Franja no Edificable (IBAMA, 2005)**



**Antes de la entrada en operación de un nuevo ducto, el operador debe haber establecido un Programa de gestión de Riesgos (PGR).**





Otro aspecto importante es que para la instalación de ductos adicionales en trazados existentes en los que ya operen otras tuberías destinadas al transporte de sustancias peligrosas, se debe estimar el riesgo total de la franja de terreno afectado. Si el nivel de riesgo acumulado es superior al permitido, se definir  una franja de protección adicional en la que estará prohibida la construcción de edificación alguna, de forma que se garantice la seguridad de las personas en las inmediaciones del ducto, como muestra la figura 4.

► **Medidas mitigadoras y de gestión de riesgos:** son las que se deben definir y establecer en caso de que los riesgos del ducto en estudio superen el nivel de tolerancia según los criterios establecidos en las normas legales de referencia. Su objetivo es reducir los riesgos y garantizar el nivel de seguridad necesario.



Por último, es conveniente recordar que antes de la entrada en operación de un nuevo ducto, el operador debe haber establecido un Programa de Gestión de Riesgos (PGR) como forma de garantizar la puesta en marcha del proyecto de forma segura y con los riesgos plenamente controlados. De forma general, el alcance de un PGR contempla:

- Información de seguridad.
- Política de análisis y revisión de riesgos.
- Gestión de modificaciones.
- Mantenimiento y garantía de la integridad de sistemas críticos.
- Normas y procedimientos operacionales.
- Política de capacitación de recursos humanos involucrados en la operación del ducto.
- Procedimientos de investigación de incidentes.
- Programa de auditorías.
- Plan de emergencia.

## Conclusión

El transporte por tubería de productos peligrosos, si bien disminuye notablemente el riesgo respecto de otros modos de transporte presenta unos riesgos residuales con potencial alto impacto en las actividades humanas y en el medio ambiente.

Con el fin de controlar dicho riesgo, tanto las autoridades competentes en la aprobación y supervisión de la operación como las propias compa as operadoras disponen de políticas y criterios para la determinación de los niveles de riesgo admisibles y actuaciones técnicas y de gestión necesarias.

La complejidad de las metodologías de evaluación de riesgo hacen necesario el uso de herramientas específicas, muchas de las cuales ha desarrollado ITSEMAP para satisfacer las necesidades de sus clientes.

[www.itsemap.com](http://www.itsemap.com)