

ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE CUENCA Y EVALUACIÓN DE CONTINGENCIAS DEL CRUCE OLEODUCTO PUERTO ROSALES- LA PLATA Y RÍO SALADO

Marcelo García y Renzo Marzola, Knight Piésold e YPF S.A.,
mgarcia2@knightpiesold.com/renzo.marzola@ypf.com

Sinopsis

YPF S.A. tiene a su cargo la operación y mantenimiento de un oleoducto que transporta crudo desde el puerto de Bahía Blanca hasta la refinería situada en la ciudad de Berisso. Éste, en su trayecto, al igual que otros ductos, atraviesa varias áreas sensibles, entre ellos el río Salado, eje de la principal cuenca de la provincia de Buenos Aires. En sintonía con la última serie de inundaciones en la zona, se realizó un estudio que consistió en dos etapas. En la primera se realizó la completa caracterización de la cuenca del río Salado, obteniendo así, con información histórica de hasta 100 años de antigüedad, el área de inundación máxima tomando tiempos de retorno de 50 y 25 años. Para la segunda etapa del estudio se simuló matemáticamente, teniendo en consideración datos del cauce aguas abajo del cruce y del crudo transportado, diferentes escenarios de derrame para distintos caudales del río, con el objetivo final de evaluar el plan de contingencia (PC) actual para el ducto y proponiendo modificaciones según las condiciones del río.

Introducción

Knight Piésold Argentina Consultores (KP) ha elaborado el presente estudio de caracterización de la cuenca del río Salado y evaluación de contingencias del cruce del Oleoducto Puerto Rosales - La Plata (PR-LP), perteneciente a YPF S.A. (YPF) con el río Salado.

El Oleoducto PR-LP bombea crudo desde Puerto Rosales, ubicado en la localidad de Punta Alta y concluye en la Refinería La Plata, localizada en la ciudad de Ensenada. En su trayecto, intercepta entre otros cauces, al río Salado en las coordenadas 35°44'33.98"S - 58°38'10.44"O.

El estudio analiza distintos escenarios hidrológicos del río Salado en correspondencia con potenciales incidentes de derrame del crudo transportado por el Oleoducto en el cauce del río. De esta forma se establecieron áreas de impacto ambiental y se clasificaron de acuerdo al riesgo que presentan para el medio ambiente.

Para su confección se llevaron a cabo estudios ambientales de la cuenca del río Salado con la finalidad de establecer las principales características hidrológicas del mismo, identificar los aspectos sociales relevantes, evaluar el comportamiento del hidrocarburo frente a un potencial derrame, identificar las potenciales áreas afectadas, evaluar el daño ambiental y establecer áreas de riesgo en relación a los diferentes escenarios hidrológicos y a su entorno ambiental y social.

La caracterización hidrológica incluyó el relevamiento y análisis de datos meteorológicos históricos de la cuenca del río Salado, en tanto que el análisis social estuvo focalizado fundamentalmente en el área localizada aguas abajo del cruce del Oleoducto con el río Salado.

El análisis del comportamiento del hidrocarburo (HC) en las aguas del río Salado, frente a un potencial evento de rotura del Oleoducto en el cruce, consideró diferentes escenarios en lo que respecta al régimen hídrico, la duración e intensidad del evento de derrame.

En base al estudio de caracterización ambiental y comportamiento del HC para los diferentes escenarios hidrológicos se llevó a cabo una evaluación ambiental, la cual incluyó una evaluación de los impactos ambientales, una evaluación de riesgo y la determinación de la sensibilidad ambiental.

Así mismo, en base a la caracterización hidrológica y el comportamiento del HC en el río Salado se llevó a cabo un análisis del actual Plan de Contingencias de YPF, con el objeto de evaluar la suficiencia y capacidad de las medidas de acción frente a un potencial derrame de crudo en el río, y proponer mejoras.

La elaboración del documento se llevó a cabo en base al desarrollo de estudios propios y de los antecedentes disponibles, algunos de los cuales fueron aportados por YPF.

Desarrollo

El presente estudio ha sido desarrollado con la finalidad de caracterizar hidrológicamente la cuenca del río Salado, evaluar el comportamiento del hidrocarburo en el río (asociado a potenciales roturas del Oleoducto PR-LP), evaluar los potenciales impactos ambientales y el riesgo ante la ocurrencia del evento de derrame, y revisar el actual Plan de Contingencia en relación a su capacidad para resolver eficazmente un evento de derrame en el río.

Los objetivos del presente estudio ambiental incluyen:

- Establecer velocidades de flujo del río Salado para distintos escenarios hidrológicos sin inundación.
- Identificar el área de inundación del río Salado para una tormenta de diseño equivalente a un Tiempo de Retorno (TR)=25 años y TR=50 años.
- Evaluar el comportamiento del hidrocarburo en el río Salado, asociado a potenciales roturas del Oleoducto, para distintos escenarios hidrológicos y caudales de derrame.
- Establecer potenciales áreas afectadas y clasificarlas en relación a su entorno ambiental y social con diferentes grados de riesgo.
- Revisar el actual Plan de Contingencia de YPF y proponer adaptaciones de acuerdo a los resultados obtenidos.

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados, el alcance del estudio considera el desarrollo de los siguientes temas principales:

- Caracterización ambiental del río Salado, con énfasis en los aspectos hidrológicos y socioeconómicos.
- Comportamiento del hidrocarburo en el río Salado frente a diferentes escenarios de derrame.
- Evaluación ambiental del potencial impacto.
- Niveles de riesgo ambiental.
- Evaluación del actual Plan de Contingencia.

Caracterización ambiental

La cuenca del río Salado se desarrolla en la faja central y NO de la provincia de Buenos Aires (Argentina), incluyendo el sector sur de la provincia de Santa Fe y una pequeña porción de la provincia de Córdoba; abarcando un área de aproximadamente 170.000 km². La característica más notable de la cuenca del río Salado es la falta de relieve, gran parte del área está constituida por una llanura de pendiente suave (0,01%) ubicada por debajo de los 100 msnm.

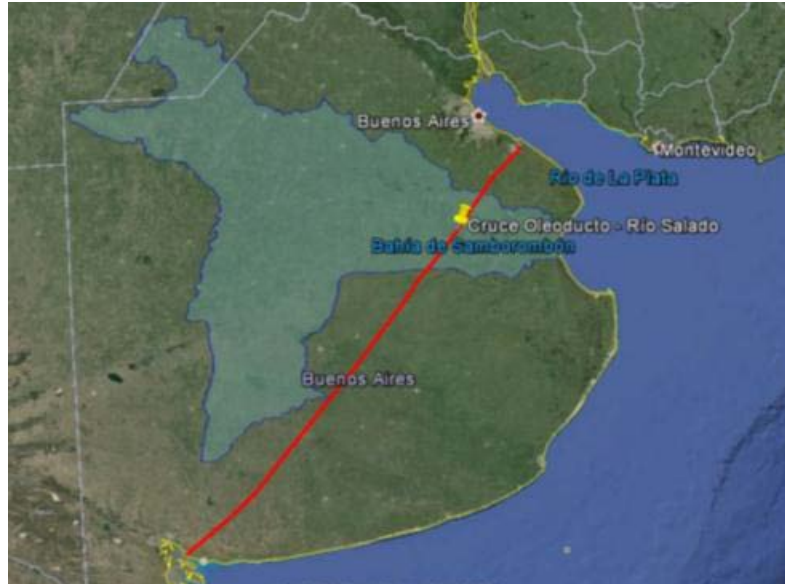


Imagen 1. Cuenca del Río Salado y traza del Oleoducto.

El río Salado nace en la laguna El Chañar, en la localidad santafesina de Teodelina, y desemboca a 640 km, en el río de la Plata, casi en el centro costero de la bahía de Samborombón.

El clima es templado cálido con lluvias todo el año que disminuyen de norte a sur y de este a oeste, desde 1100 a unos 600 mm anuales. La temperatura media anual oscila entre 13 y 17 °C.

La vegetación dominante es la estepa de gramíneas, existiendo también praderas, estepas sammófilas, estepas halófilas, bosques marginales y diversos tipos de vegetación hidrófila.

En cuanto a la fauna existente en la provincia Pampeana, las actividades llevadas a cabo en este sector tienen que ver principalmente con la cría de ganado bovino y ovino.

La zona de estudio puede considerarse como completamente antropizada, siendo los usos básicos del suelo la agricultura y la ganadería (INA, 2012).

El río Salado debido a sus características no presenta utilidad para el hombre como fuente de agua dulce o para riego (por su alta conductividad), o como vía navegable (principalmente por su escasa profundidad y sus ciclos de inundación y sequía) o como fuente de energía hidroeléctrica (debido a su escasa pendiente).

Sin embargo, el sector de las lagunas localizadas cerca de áreas urbanas, suelen tener actividades múltiples: pesca deportiva, comercial, náuticas y de contacto directo. Además, en estas áreas urbanas pueden asentarse industrias que a través de arroyos descargan sus efluentes a las lagunas (Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe, 2010).

Caracterización Hidrológica

A los fines de conocer el tipo y la distribución temporal y espacial de las precipitaciones, se efectuó en primer lugar una recopilación de los datos existentes de las estaciones de medición de precipitaciones que han funcionado en la zona. Los datos históricos de precipitación fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional.

Las estaciones meteorológicas y los períodos de registro se detallan a continuación:

Estación meteorológica	Período de registro
Venado Tuerto	Mayo 1989 – abril 2015
Junín	Agosto 1958 – abril 2015
Nueve de Julio	Enero 1931 – abril 2015
Las Flores	Octubre 1987 – abril 2015
Bolívar	Enero 1953 – abril 2015
Azul	Enero 1911 – abril 2015
Olavarría	Noviembre 1987 – abril 2015
Tandil	Mayo 1948 – abril 2015

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas

En base al estudio pluviométrico se establecieron los parámetros hidráulicos del río Salado, los cuales se presentan en el siguiente cuadro:

Tirante h (m)	Área (m ²)	Per. Mojado (m)	Radio Hid. (m)	Velocidad		Caudal (m ³ /s)	Ancho Sup. (m)	Nº Froude (Fr)
				m/s	km/h			
0,1	10,02	100,36	0,1	0,12	0,432	1,22	100,3	0,12
0,5	50,38	101,8	0,49	0,35	1,26	17,83	101,5	0,16
1	101,5	103,61	0,98	0,56	2,016	56,64	103	0,18
1,5	153,38	105,41	1,46	0,73	2,628	111,41	104,5	0,19
1,75	179,59	106,31	1,69	0,8	2,88	144,1	105,25	0,2
2	206	107,21	1,92	0,87	3,132	180,11	106	0,2
2,5	259,38	109,01	2,38	1,01	3,636	261,5	107,5	0,21
3	313,5	110,82	2,83	1,13	4,068	354,73	109	0,21
3,5	368,38	112,62	3,27	1,25	4,5	459,18	110,5	0,22
4	424	114,42	3,71	1,35	4,86	574,35	112	0,22

Cuadro 2. Parámetros de escurrimiento – Tiraje normal

La velocidad de escurrimiento se encuentra gobernada principalmente por la pendiente del canal, la cual es muy baja. Por lo tanto, la velocidad de escurrimiento, para las diferentes alturas de tirante, son relativamente bajas (1,35 m/s ➔ h:4 m), con un escurrimiento sub-crítico. En el caso de caudales superiores, el canal produciría desborde, con una notable disminución de velocidad. Para el tirante mayor que no produce desborde, establecido en 4 m, se eroga un caudal de aproximadamente 600 m³/s, equivalente a un evento de

precipitación de 10 mm sobre toda la cuenca. Por lo tanto, para eventos de precipitación mayores a 10 mm (sobre toda la cuenca), el canal desbordaría en varios puntos de su traza.

Área de Inundación del río Salado

A partir de los datos del análisis pluviométrico se obtuvieron las precipitaciones de diseño para la elaboración de los mapas de inundación. En este sentido, se confeccionaron mapas de isoyetas considerando tiempos de retorno de TR=25 años y TR=50 años.

La estimación de los caudales máximos se efectuó en base a un hidrograma sintético del Soil Conservation Service (SCS), el cual considera principalmente datos de características generales de la cuenca.

Los caudales asociados a los TR=25 años y TR=50 años corresponden a: 2093 y 3055 m³/s, respectivamente.

Para el modelamiento del comportamiento hidrológico se ha utilizado el modelo HEC-RAS. Este programa es una aplicación que modela el flujo de agua en ríos y canales. El área inundada para TR=25 años ha sido estimada en 255.109,53 ha, en tanto que para TR=50 años corresponde a 323.810,32 ha.

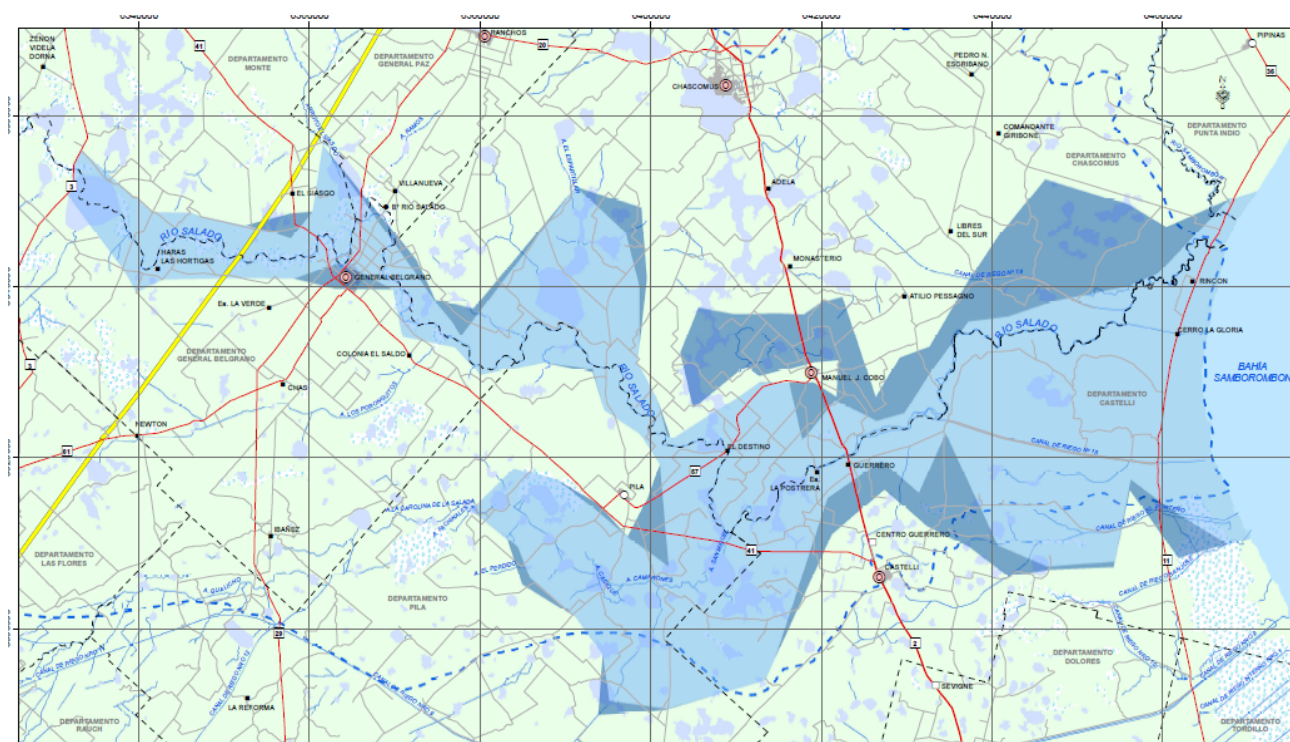


Imagen 2. Área de inundación a TR=25 y TR=50 años.

Caracterización Socioeconómica

El Oleoducto PR-LP atraviesa la provincia de Buenos Aires en sentido sudoeste-noroeste, pasando en su recorrido varios partidos. En el presente estudio se abordan aquellos partidos que se ubican en las márgenes del río Salado, desde el cruce con el mencionado ducto hasta su desembocadura en el río de La Plata. Estos son: Monte, General Paz, Chascomús y Lezama, en la margen norte, y General Belgrano, Pila y Castelli, en la margen sur.

Todos los partidos de interés pertenecen a la región Pampeana y dentro de ésta a la subregión Pampa Deprimida, representada por una extensa llanura acompañada de depresiones ocupadas por lagunas y cursos de agua pertenecientes a la cuenca del río Salado. Esta subregión abarca 9.207.700 ha, lo que representa aproximadamente el 30% de la superficie total de la provincia.

Aproximadamente el 80% de la población se concentra en los centros urbanos, constituidos por las ciudades cabeceras de cada partido.

La localidad de General Belgrano, cabecera del partido homónimo, es la localidad más cercana al cruce del Oleoducto con el río Salado. A su vez, la ciudad se emplaza sobre el río y es la más importante en su cercanía, aguas abajo del cruce. El partido de General Belgrano cuenta con una población de 17.365 habitantes. De éstos, 15.394 habitan en la ciudad cabecera, 338 en Gorchs y 1.633 en la zona rural. Se desarrollan actividades vinculadas a la provisión de insumos y servicios para la actividad agropecuaria (talleres, venta de maquinarias y repuestos, etc.), así como también una fábrica ferroviaria. Es de destacar que los establecimientos industriales no utilizan en forma directa el agua del río Salado en sus procesos.

La Región Pampeana constituye un área de destacadas condiciones para las actividades agropecuarias. Sus producciones más importantes por el lado de la agricultura son el trigo, el maíz, el girasol y la soja, mientras que la ganadería se especializa en los bovinos.

La actividad pecuaria extensiva más importante en la provincia es la cría, engorde de vacunos y la producción de leche y productos secundarios también proveniente del ganado bovino.

Además de estas actividades principales, se encuentran en la zona algunos establecimientos industriales. Se encuentra en expansión la apicultura, encontrándose habilitados por la provincia de Buenos Aires dos establecimientos apícolas en Chascomús y uno en General Belgrano.

Descripción del oleoducto y del crudo

El Oleoducto PR-LP se construyó en el año 1973. Posee una tapada mínima de un (1) metro, salvo en cruces especiales donde se aumenta la profundidad. El cruce con el río Salado se efectúa en forma subterránea, a una profundidad de 2,70 m por debajo del fondo del río.

Actualmente el Oleoducto opera con un régimen promedio de transporte de 53.400 m³/día y fue diseñado para operar con crudo liviano y pesado.

Las características técnicas son las siguientes:

- Longitud total: 584,6 km.
- Presión Máxima de Operación Admisible: 40 Kg/cm².
- Caudal máximo operativo: 2.220 m³/h.
- Diámetro de la cañería: 32" (pulgadas) en toda su extensión.
- Norma de fabricación: API 5L X52.
- Material: acero.
- Espesor: 6,35 mm.

- Revestimiento: esmalte asfáltico.

El tramo Puerto Rosales - La Plata posee 9 válvulas de bloqueo, numeradas de la VB-1 a la VB-8, más la válvula correspondiente a la estación Ranchos. Estas válvulas se encuentran ubicadas estratégicamente con el objeto de controlar emergencias o posibles derrames por roturas o fallas en el sistema.

En el caso del cruce del Oleoducto con el río Salado, las válvulas de bloqueo corresponden a: VB-5 y VB-6.

Detección de fugas

En la condición de operación el sistema puede detectar fugas con un valor mínimo de caudal de 10 m³/h, en tanto que sin operación puede detectarse valores de hasta 0,5 m³/h. En este último caso el ducto se sectoriza por el accionamiento de las válvulas de bloqueo, y mediante la relación de descompresión se efectúa la medición.

Características del crudo

El Oleoducto transporta petróleo crudo (Fluido categoría A) en forma de remesas, con la denominación NRN, CMN, MSH y ESSO, según la especificación del crudo.

La composición resulta de una combinación compleja de hidrocarburos, compuesta en su mayor parte de hidrocarburos alifáticos alicíclicos y aromáticos. También puede contener cantidades pequeñas de nitrógeno, oxígeno y compuestos de azufre.

El producto presenta las siguientes características:

Parámetro	Característica
*Aspecto	Líquido oleoso y viscoso
*Color	Negro
*Olor	Característico
*Punto de ebullición	<0°C-550°C (ASTM D-2892)
**Densidad	0,8743 g/cm ³ at 15°C
**API	30,61
*Viscosidad	65,587 cSt (a 20°C) / 28,929 cSt (a 40°C).
*Estabilidad	Extremadamente Inflamable y Combustible
*Peligrosidad	Puede provocar cáncer.
*Punto de inflamación/Inflamabilidad	< 10°C
*Punto de vertido	-6 °C (ASTM D-97)

Cuadro 3. Características del Crudo Transportado por el Oleoducto

* Valores obtenidos de la ficha de seguridad del Crudo Mezcla Nacional

** Corresponde al promedio ponderado en función del volumen transportado, para las remesas NRN y CMN, durante el período: 1 de mayo 2015 al 9 junio 2015. Fuente YPF.

Comportamiento del hidrocarburo en el Río Salado

Tomando como base la caracterización hidrológica detallada de la cuenca del río Salado, y los datos técnicos del Oleoducto PR-LP y del crudo transportado, se llevó a cabo una simulación del comportamiento del HC frente a una contingencia de ruptura del Oleoducto en el cruce con el río Salado.

El modelamiento del derrame ha sido desarrollado para escenarios hidrológicos del río Salado “sin desborde”, considerando a su vez caudales mínimo, medio y máximo. No se ha modelado el comportamiento de un derrame de HC para la situación “con desborde” del río, esto por la dificultad de establecer velocidades y direcciones del flujo fuera de los límites del canal de desagüe.

Para el escenario hidrológico “sin desborde” se han considerado dos (2) escenarios de derrame en base a la capacidad del sistema de detección de fugas que posee el Oleoducto PR-LP. A su vez, se han considerado diferentes volúmenes de derrame de HC, en consideración de los tiempos de duración del evento y la velocidad de respuesta al cierre de las válvulas de bloqueo del sistema (VB-05 y VB-06).

El río Salado ha sido sectorizado en tramos, en correspondencia con los cruces de caminos que intersecta durante su recorrido. Esto considerando que los cruces de camino son la vía más rápida de acceder al río Salado y efectuar cualquier acción de contingencia frente a un potencial derrame de HC por rotura del Oleoducto PR-LP.

Tramo del río Salado	Detalle	Distancia (km)	Distancia Acum. (km)
1	Oleoducto – Puente 1	12,87	12,87
2	Puente 1 – Puente 2	10,60	23,47
3	Puente 2 – Puente 3	5,26	28,73
4	Puente 3 – Puente 4	21,81	50,54
5	Puente 4 – Puente 5	31,90	82,44
6	Puente 5 – Puente 6	26,11	108,55
7	Puente 6 – Puente 7	31,23	139,78
8	Puente 7 – Puente 8	4,00	143,78
9	Puente 8 – Puente 9	39,22	183,00
10	Puente 9 – Desembocadura río La Plata	7,00	190,00

Cuadro 4. Sectorización del río Salado

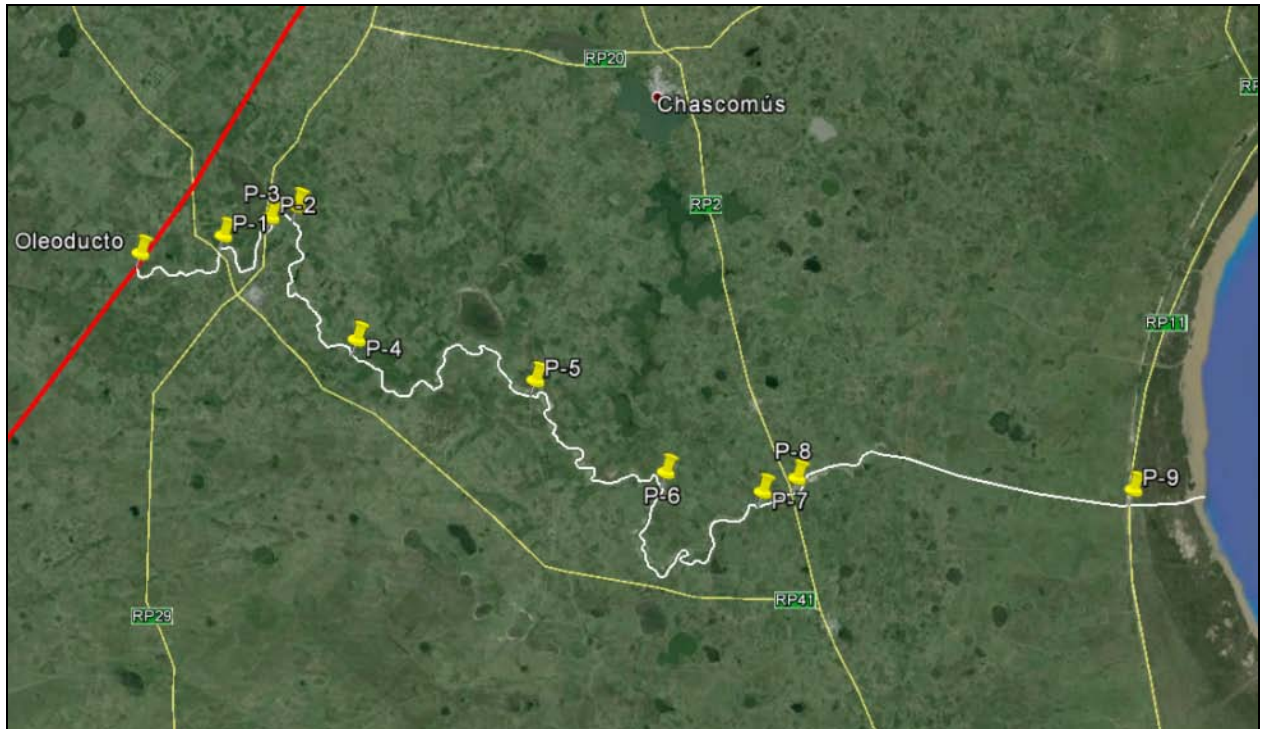


Imagen 3. Tramos del río Salado - Localización de puentes

El comportamiento físico-químico del hidrocarburo en el agua puede ser simulado mediante la aplicación de un modelo de derrame de HC en agua. En este sentido, se ha desarrollado una simulación que considera el proceso físico de la transformación de una mancha de petróleo, incluyendo los fenómenos de advección (transporte en el agua), esparcimiento, evaporación, disolución, emulsificación, cambios en densidad y en viscosidad, y adherencia en las orillas del río. Con excepción de la adherencia en las orillas del río, el resto de los parámetros han sido estimados mediante el software ADIOS II - Versión 2.0.8 (US Department of Commerce), el cual ha sido programado para simular la condición de derrame en un río.

La simulación se ha desarrollado en base a un modelo matemático desarrollado por Knight Piésold, el cual se alimenta, en parte, de los resultados obtenidos mediante el software ADIOS II. Si bien este software (ADIOS II) ha sido diseñado para derrames en el mar, el mismo puede ajustarse para simular las condiciones de flujo de un río. En este sentido, se ajustaron las variables asociadas a salinidad del agua, velocidad del flujo, temperatura, carga de sedimentos, altura de las olas (las cuales se redujeron a un valor casi nulo), viento (se introdujo al modelo considerando un valor mínimo y constante durante toda la simulación). En el punto 6.2.2 del presente documento se especifican los supuestos y la configuración del modelo.

El modelamiento del derrame consideró quince (15) situaciones:

Escenario	Situación	Duración del derrame	Velocidad del agua del río (km/h)	Caudal de derrame (m ³ /h)
A) Derrame mayor a 10 m ³ /h (Detectable por el sistema de detección de fugas)	A1	*10 min	2,016	2220
	A2	*10 min	3,132	
	A3	*10 min	4,86	

Escenario	Situación	Duración del derrame	Velocidad del agua del río (km/h)	Caudal de derrame (m ³ /h)
B) Derrame menor a 10 m ³ /h (No detectable por el sistema de detección de fugas)	B1	6 hs	2,016	9,9
	B2	12 hs		
	B3	24 hs		
	B4	48 hs		
	B5	6 hs	3,132	
	B6	12 hs		
	B7	24 hs		
	B8	48 hs		
	B9	6 hs	4,86	
	B10	12 hs		
	B11	24 hs		
	B12	48 hs		

Cuadro 5. Situaciones Analizadas por el Modelo de Derrame de HC

*Corresponde al tiempo de cierre de las válvulas de Bloqueo del oleoducto en el cruce con el río Salado

Interpretación de resultados

Velocidad de avance de la mancha de HC

Independientemente de que se trate de un derrame mayor a 10 m³/h (Escenario A) o menor a 10 m³/h (Escenario B), la velocidad de avance de la mancha de HC en el río es mayor a medida que aumenta el caudal del agua. Esto disminuye los tiempos de llegada de la mancha de HC a las intersecciones del río con los caminos. En la situación más desfavorable (máximo caudal del río) la mancha de HC se desplazará a una velocidad de 4,86 km/h, recorriendo el tramo N° 1 en solo 2,65 hs (2 hs y 39 min), en tanto que para un caudal mínimo del río, el desplazamiento para este tramo se realizará en 6,38 hs (6 hs y 23 min). Por lo tanto, cuando el caudal del río es máximo, el impacto del derrame (área de sacrificio ambiental) se incrementa por unidad de tiempo.

Esto también resulta de interés al momento de establecer los tiempos de respuesta de la brigada de emergencia frente a un derrame de HC en el río: a mayor caudal del río, menor tiempo de respuesta para contener el derrame.

Pérdidas de HC

Las pérdidas totales de HC se deben a los efectos de evaporación y de adherencia a bordes. La evaporación es responsable, en mayor medida, de la pérdida total de HC. El efecto de evaporación es más importante en los tramos iniciales del río, para todas las situaciones planteadas.

En todos los casos se aprecia que con el aumento de la velocidad del agua del río, o el caudal, las pérdidas de HC se incrementan levemente, con lo cual el volumen de HC remanente al final de cada tramo es menor.

La adherencia del HC a los bordes del río se ve incrementada con el aumento de la velocidad del agua, motivado por una mayor turbulencia en las orillas, lo cual aumenta la superficie mojada en la ribera del canal. A medida que la mancha de HC avanza en el río, desde su punto de vertido, se observa una disminución del HC adherido a los bordes del río. Esto debido a que el espesor de la mancha de HC y su concentración disminuyen a medida que transcurre el tiempo y la mancha avanza. La mayor pérdida de HC por adherencia a bordes por unidad de superficie de ribera se produce, en todos los casos, en el tramo N°1, ya que es el sector del río dónde existe mayor concentración de crudo.

Se observa que para el escenario A (derrame de HC mayor a $10 \text{ m}^3/\text{h}$ durante 10 min), las pérdidas totales de HC en el final del tramo N° 10 representan entre el 40% y el 43%. De este porcentaje, aproximadamente el 50 % se pierde en el tramo N° 1, motivado fundamentalmente por el efecto de la evaporación del HC. También se aprecia que el incremento en el caudal del agua del río, o en la velocidad, incrementa levemente las pérdidas totales de HC.

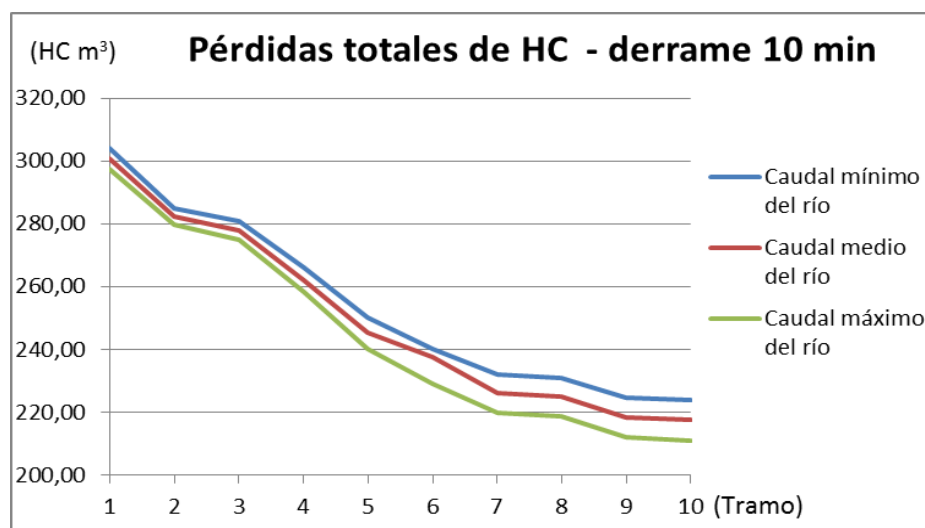


Gráfico 1. Escenario A - Pérdidas de HC en función de la duración del derrame y del caudal del río.

En las situaciones analizadas en el Escenario B (derrame continuo de HC, menor a $10 \text{ m}^3/\text{h}$, y tiempos de derrame desde 6 hs a 48 hs), se observa que las pérdidas totales de HC al final del tramo N° 10 son superiores a las observadas en el escenario A, para casi todas las situaciones.

Para un derrame de 6 hs y caudal mínimo del río, las pérdidas totales de HC pueden alcanzar el 100%, en tanto que para un derrame de 48 hs y caudal máximo del río las pérdidas alcanzan el 40%. Las mayores pérdidas de HC no deben considerarse como un incremento en la tasa de pérdida, sino que el volumen HC derramado es pequeño en relación al trayecto que la mancha de crudo debe recorrer, perdiéndose en el camino casi en su totalidad.

Por lo tanto, en escenarios de bajo caudal de derrame y máxima velocidad del río (o máximo caudal) el HC remanente al final de cada tramo será menor, o la cantidad de HC perdido será mayor.

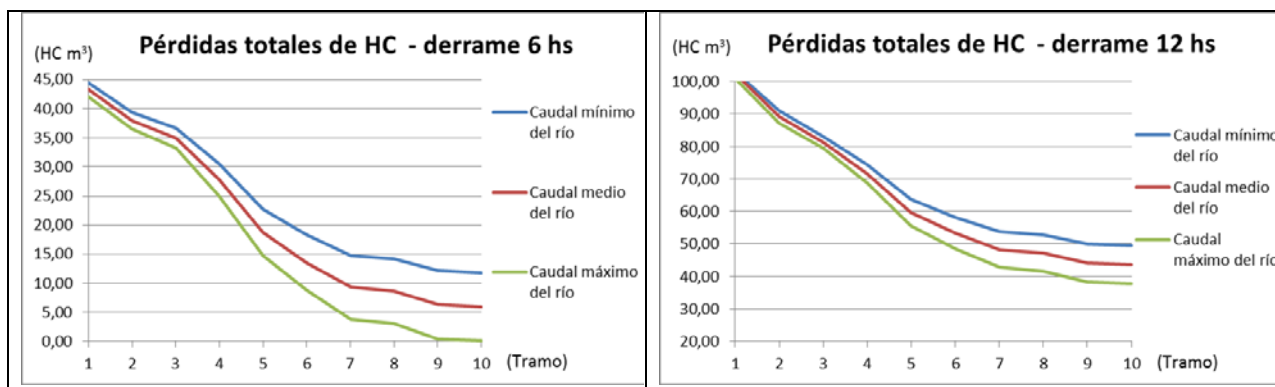


Gráfico 2. Escenario B - Pérdidas de HC para una duración del derrame de 6 hs y 12 hs, en función del caudal del río.

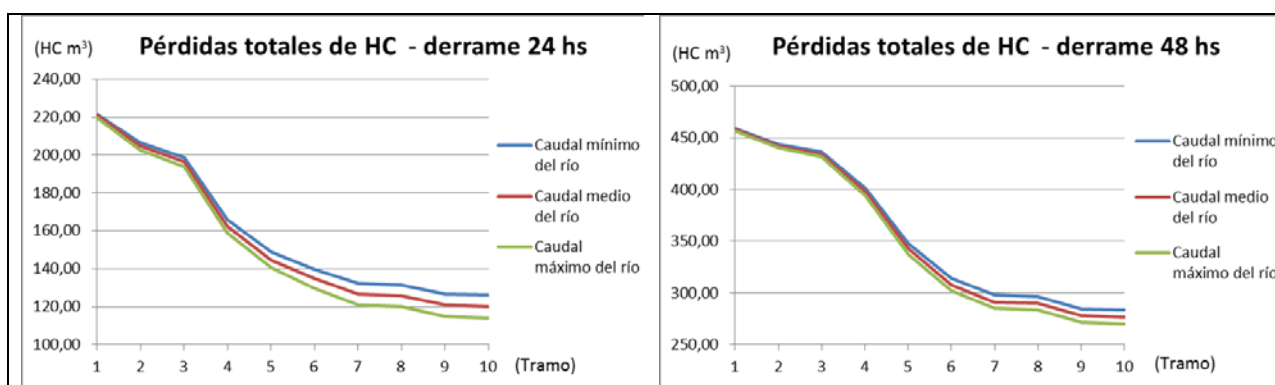


Gráfico 3. Escenario B - Pérdidas de HC para una duración del derrame de 24 hs y 48 hs, en función del caudal del río.

Variación de parámetros fisicoquímicos y propiedades del crudo

- Benceno: Este parámetro presenta una alta tasa de evaporación. En todas las situaciones se observa una pérdida de aproximadamente el 100 % durante el lapso del derrame. Ver gráficos presentados en el apartado 6.2.5 – Resultados del modelo.
- Densidad y viscosidad: Estos parámetros se comportan de forma similar. Una vez producido el derrame de HC, a medida que transcurre el tiempo se observa un incremento en el valor de estos parámetros. En general, la viscosidad se incrementa de 93,7 cSt (a 14 °C) a aprox. 1.000 cSt en las primeras 6 hs de producido el derrame; para 48 hs de producido el derrame, la viscosidad alcanza aprox. 20.000 cSt. La densidad varía desde 0,875 g/ml (a 14 °C) a aprox. 0,91 g/ml en las primeras 6 hs de transcurrido el derrame, en tanto que para 48 hs la densidad estimada alcanza 0,945 g/ml. Cabe precisar que estos valores corresponden a los valores medios del rango de variación, por lo que los valores reales observados podrían ser diferentes. La variación de estos parámetros puede observarse con mayor detalle en los gráficos presentados en el apartado 6.2.5 – Resultados del modelo.
- Agua contenida en el crudo: En general, se observa que en las primeras 6 hs de transcurrido el derrame la cantidad de agua contenida en el HC puede variar entre 1% y 30%, lo cual dependerá de la velocidad con la cual se forma la emulsión agua-aceite. Para un período de 48 hs la proporción de agua contenida en el HC alcanza aprox. el 48%. Ver gráficos presentados en el apartado 6.2.5 – Resultados del modelo.

Evaluación ambiental

Evaluación del Impacto Ambiental

El análisis de los impactos ambientales se realizó considerando una operación normal del Oleoducto, y condiciones de escurrimiento del río Salado sin desborde. A los fines de establecer un escenario acotado, además se consideró que el derrame de HC se extenderá desde el cruce del Oleoducto con el río Salado hasta la Bahía de Samborombón.

La evaluación y la determinación de la magnitud de los impactos se llevó a cabo utilizando una metodología que consta de los siguientes cuatro pasos secuenciales:

- Etapa I – Identificación de las obras y actividades para la evaluación.
- Etapa II – Identificación de los factores y aspectos ambientales.
- Etapa III – Identificación preliminar de las relaciones causa–efecto.
- Etapa IV – Evaluación de los impactos ambientales: La calificación y evaluación de los impactos ambientales se basa en la metodología propuesta por Conesa Fernández-Vítora.

Los impactos identificados resultaron negativos, de carácter “crítico” (en los aspectos ambientales de: calidad del agua en función de su uso actual y potencial, calidad de cursos superficiales, y fauna acuática), “severo” (en los aspectos ambientales de afectación de la fauna terrestre), y “moderado” (en los aspectos ambientales de: calidad del suelo y/o contaminación, contaminación con gases, olores, y partículas en suspensión, afectación de la flora, unidades de paisaje, economía local y regional). Los factores ambientales de mayor importancia se asocian a la modificación de la calidad y cantidad del agua, y a la vida acuática.

Evaluación del riesgo

La valoración del riesgo se realizó en base a la metodología PMEX 1990, la cual establece que la dimensión del riesgo (DR), sobre los receptores (Medio ambiente, Ser Humano y Bienes Materiales), es igual al producto de la probabilidad o posibilidad de ocurrencia (P) del mismo; por la exposición o acercamiento (E); y por la consecuencia (C).

$$DR = P \times E \times C \quad (1)$$

Fórmula 1. Cálculo del riesgo ambiental

Los riesgos ambientales fueron evaluados para cuatro situaciones: sin desborde y con desborde del río Salado, y en cada caso para un derrame de hidrocarburo menor a 10 m³/h y mayor a 10 m³/h.

La evaluación de riesgo arrojó el siguiente resultado:

Receptor Tipo de derrame	Medio Ambiente	Ser Humano	Bienes Materiales
Derrame menor a 10 m³/h - sin desborde	RIESGO ALTO	RIESGO ALTO	RIESGO ACEPTABLE
Derrame mayor a 10 m³/h - con desborde	RIESGO MODERADO	RIESGO POSIBLE	RIESGO ACEPTABLE
Derrame mayor a 10 m³/h - sin desborde	RIESGO POSIBLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE
Derrame menor a 10 m³/h - con desborde	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE	RIESGO ACEPTABLE

Cuadro 6. Evaluación de riesgos ambientales.

La situación más riesgosa corresponde a un derrame continuo de crudo con un caudal menor a 10 m³/h, sin desborde del río. Esto se debe a que es más probable que ocurra un derrame de este tipo en un escenario de río en condición normal (sin desborde), a que se produzca una rotura total del Oleoducto en coincidencia con una condición de río con desborde. Otro motivo se debe a que el sistema no puede detectar derrames de bajo caudal, pudiendo permanecer activo durante un lapso de tiempo prolongado, y los receptores (medio ambiente y seres humanos) podrían verse afectados sin saberlo por no percibir la contaminación del agua. El hombre podría hacer uso de este río o consumir peces o animales que se contaminaron con metales pesados y otras sustancias bio-acumulables que se encontraban en el agua.

Evaluación de Sensibilidad Social

Los factores de análisis que determinan el grado de sensibilidad socioeconómica están definidos por posibles afectaciones a los factores sociales, culturales y económicos que estructuran la sociedad; generadas por la introducción y presencia de agentes vinculados a un proyecto.

La metodología utilizada para caracterizar el grado de sensibilidad, considera cinco niveles de sensibilidad:

- Sensibilidad muy baja/ insignificante. Definida cuando los cambios sobre las condiciones sociales comprometidas son muy poco significativos; no existirán cambios esenciales en las condiciones de vida y las prácticas sociales preexistentes.
- Sensibilidad baja. Definida cuando los cambios sobre las condiciones sociales comprometidas son poco significativos; los cambios en las condiciones de vida y las prácticas sociales serán mínimos.
- Sensibilidad media. Definida cuando la intervención debida a la ejecución del Proyecto transformará, de forma moderada las condiciones económico-sociales, que pueden controlarse con planes de manejo socio-ambiental.
- Sensibilidad alta. Definida cuando las potenciales consecuencias del Proyecto implicarían modificaciones acentuadas sobre la estructura social, que pueden controlarse con planes de manejo socio-ambiental.
- Sensibilidad muy alta. Definida cuando las potenciales consecuencias del Proyecto implicarían modificaciones profundas sobre la estructura social de los grupos intervenidos y que son complejas de controlar con planes de manejo socio-ambiental.

El análisis de sensibilidad social se efectuó en 3 (tres) unidades de estudio. Las unidades N° 2 (localizada desde el Puente N° 4 hasta el Puente N° 6) y la N° 3 (localizada desde el Puente N° 6 hasta su desembocadura en la Bahía de Samborombón) presentaron un grado de sensibilidad “media”; mientras que la unidad N° 1 (localizada desde el cruce del Oleoducto con el río Salado hasta el Puente N° 4) presentó una sensibilidad “alta”.

La sensibilidad “alta” de la unidad N°1 se debe a que las potenciales consecuencias de un derrame de hidrocarburo implicarían modificaciones acentuadas sobre la estructura social (agricultura de secano, zona costanera, turismo, vida recreativa/social, reserva forestal la Colonia El Salado, rutas provinciales RP 29 y RP 41, entre otras), las que podrían controlarse con planes de manejo socio-ambiental.

Evaluación del actual plan de contingencias

Se efectúa un análisis del actual Plan de Contingencias (PC) de YPF, en relación a su capacidad para resolver un potencial evento de derrame de crudo en el río Salado, como consecuencia de una rotura parcial o total del Oleoducto PR-LP en el cruce con el río.

YPF S.A posee un plan de contingencias vigente, cuya última revisión se llevó a cabo en el año 2012, el cual es de aplicación en el ámbito de los conductos (oleoductos, poliductos, gasoductos y Jp ductos), que se extienden en el territorio argentino, para el transporte de petróleo y sus derivados.

El Plan de Contingencias se encuentra conformado por los siguientes documentos:

- Procedimiento general GEL_PG_17: Preparación y respuesta ante emergencias y/o situaciones de crisis.
- Preplanning – escenario de riesgos.
- Plan de actuación ante emergencias GEL_INS_613.
- Preplanning – estaciones de bombeo:
 - Estación de Bombeo Puerto Rosales,
 - Estación de Bombeo Dorrego,
 - Estación de Bombeo Indio Rico,
 - Estación de Bombeo Laprida,
 - Estación de Bombeo Chillar,
 - Estación de Bombeo Chacharí,
 - Estación de Bombeo Las Flores.
- Plan de Contingencia en conductos. Puerto Rosales– La Plata.

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente estudio ha cumplido con los objetivos inicialmente establecidos.

La caracterización hidrológica de la cuenca del río Salado ha permitido estimar los caudales del río Salado y sus respectivas velocidades de flujo para diferentes tirantes críticos.

Tirante crítico (m)	Velocidad		Caudal (m ³ /s)
	m/s	km/h	
0,1	0,12	0,432	1,22
0,5	0,35	1,26	17,83

Tirante crítico (m)	Velocidad		Caudal (m ³ /s)
	m/s	km/h	
1	0,56	2,016	56,64
1,5	0,73	2,628	111,41
1,75	0,8	2,88	144,1
2	0,87	3,132	180,11
2,5	1,01	3,636	261,5
3	1,13	4,068	354,73
3,5	1,25	4,5	459,18
4	1,35	4,86	574,35

Cuadro 7. Parámetros hidráulicos del río Salado.

Se observa que a medida que aumenta el caudal del río, la velocidad de escurrimiento se incrementa. Desde el punto de vista práctico, se puede conocer la velocidad del río midiendo la altura del agua (tirante crítico) en una sección previamente aforada del canal.

Mediante el análisis de las precipitaciones y un modelo de elevación del sector se estimó el área de inundación del río Salado. Para TR=25 años corresponde a 255.109,53 ha y para TR=50 años el área de inundación sería de 323.810,32 ha. En este sentido, para eventos de precipitación mayores a 10 mm (sobre toda la cuenca), el canal desbordaría en varios puntos de su traza.

El río fue sectorizado en 10 tramos, en correspondencia con los cruces de caminos que intersecta durante su recorrido, ya que se consideran como la vía más rápida de acceder al río y efectuar cualquier acción de contingencia frente a un potencial derrame de HC.

Tramo	Distancia (km)	Distancia Acumulada (km)	Velocidad del río 2,016 Km/h		Velocidad del río 3,132 Km/h		Velocidad del río 4,86 Km/h	
			Tiempo de recorrido (hs)	Tiempo de recorrido acumulado (hs)	Tiempo de recorrido (hs)	Tiempo de recorrido acumulado (hs)	Tiempo de recorrido (hs)	Tiempo de recorrido acumulado (hs)
1	12,87	12,87	6,38	6,38	4,11	4,11	2,65	2,65
2	10,60	23,47	5,26	11,64	3,38	7,49	2,18	4,83
3	5,26	28,73	2,61	14,25	1,68	9,17	1,08	5,91
4	21,81	50,54	10,82	25,07	6,96	16,14	4,49	10,40
5	31,90	82,44	15,82	40,89	10,19	26,32	6,56	16,96
6	26,11	108,55	12,95	53,84	8,34	34,66	5,37	22,34
7	31,23	139,78	15,49	69,34	9,97	44,63	6,43	28,76
8	4,00	143,78	1,98	71,32	1,28	45,91	0,82	29,58
9	39,22	183	19,45	90,77	12,52	58,43	8,07	37,65
10	7,00	190	3,47	94,25	2,23	60,66	1,44	39,09

Cuadro 8. Distancias y tiempos de recorrido en función de la velocidad del agua, para cada tramo del río

En relación al comportamiento del HC en el río Salado, independientemente de que se trate de un derrame mayor a $10 \text{ m}^3/\text{h}$ (Escenario A) o menor a $10 \text{ m}^3/\text{h}$ (Escenario B), la velocidad de avance de la mancha de HC en el río es mayor a medida que aumenta el caudal del agua. Esto disminuye los tiempos de llegada de la mancha de HC a las intersecciones del río con los caminos. En la situación más desfavorable (máximo caudal del río) la mancha de HC se desplazará a una velocidad de $4,86 \text{ km/h}$, recorriendo el tramo N° 1 en solo 2,65 hs (2 hs y 39 min), en tanto que para un caudal mínimo del río, el desplazamiento para este tramo se realizará en 6,38 hs (6 hs y 23 min). Por lo tanto, cuando el caudal del río es máximo, el impacto del derrame (área de sacrificio ambiental) se incrementa por unidad de tiempo.

Esto también resulta de interés al momento de establecer los tiempos de respuesta de la brigada de emergencia frente a un derrame de HC en el río: a mayor caudal del río, menor tiempo de respuesta para contener el derrame.

Las pérdidas totales de HC durante el derrame y el transporte del mismo en el río se deben a los efectos de evaporación y de adherencia a bordes. La evaporación es responsable, en mayor medida, de la pérdida total de HC. El efecto de evaporación es más importante en los tramos iniciales del río, para todas las situaciones planteadas.

En todos los casos se aprecia que con el aumento de la velocidad del agua del río, o el caudal, las pérdidas de HC se incrementan levemente, con lo cual el volumen de HC remanente al final de cada tramo es menor. No obstante, esta situación implica que la mancha de HC avanza más rápidamente, con lo cual el tiempo de respuesta para contener el derrame es menor.

La adherencia del HC a los bordes del río se ve incrementada con el aumento de la velocidad del agua, motivado por una mayor turbulencia en las orillas, lo cual aumenta la superficie mojada en la ribera del canal. A medida que la mancha de HC avanza en el río, desde su punto de vertido, se observa una disminución del HC adherido a los bordes del río. Esto debido a que el espesor de la mancha de HC y su concentración disminuyen a medida que transcurre el tiempo y la mancha avanza. La mayor pérdida de HC por adherencia a bordes, por unidad de superficie de ribera, se produce en todos los casos en el tramo N°1, ya que este es el sector del río donde existe mayor concentración de crudo.

La diferencia entre un derrame mayor a $10 \text{ m}^3/\text{h}$ (escenario A) y uno menor a $10 \text{ m}^3/\text{h}$ (escenario B), más allá del volumen derramado y del comportamiento relacionado a las pérdidas de HC, radica fundamentalmente en que en el escenario B la fuga no es detectada por el sistema. Esto implica que la fuga podría permanecer activa durante un tiempo prolongado sin ser identificada, afectando en mayor grado al medio ambiente.

La Evaluación Ambiental permitió identificar y evaluar los potenciales impactos ambientales como consecuencia de un eventual derrame de HC en el río Salado. Los impactos identificados resultaron negativos, de carácter “crítico” (en los aspectos ambientales de: calidad del agua en función de su uso actual y potencial, calidad de cursos superficiales, y fauna acuática), “severo” (en los aspectos ambientales de afectación de la fauna terrestre, y “moderado” (en los aspectos ambientales de: calidad del suelo y/o contaminación, afectación de la flora, contaminación con gases, olores, y partículas en suspensión, unidades de paisaje, economía local y regional). Los factores ambientales de mayor importancia se asocian a la modificación de la calidad y cantidad del agua, y a la vida acuática.

Los riesgos ambientales fueron evaluados para cuatro situaciones: sin desborde y con desborde del río Salado, y en cada caso para un derrame de hidrocarburo menor a $10 \text{ m}^3/\text{h}$ y mayor a $10 \text{ m}^3/\text{h}$. La situación

más riesgosa corresponde a un derrame continuo de crudo con un caudal menor a 10 m³/h, sin desborde del río. Esto se debe a que es más probable que ocurra un derrame de este tipo en un escenario de río en condición normal (sin desborde), a que se produzca una rotura total del Oleoducto justo en una condición de río con desborde. Otro motivo se debe a que el sistema no puede detectar derrames de bajo caudal, pudiendo permanecer activo durante un lapso de tiempo prolongado, y los receptores (medio ambiente y seres humanos) podrían verse afectados sin saberlo por no percibir la contaminación del agua. El hombre podría hacer uso de este río o consumir peces o animales que se contaminaron con metales pesados y otras sustancias bio-acumulables que se encontraban en el agua.

El análisis de sensibilidad social se efectuó en 3 unidades de estudio. Las unidades N° 2 (localizada desde el Puente N° 4 hasta el Puente N° 6) y la N° 3 (localizada desde el Puente N° 6 hasta su desembocadura en la Bahía de Samborombón) se caracterizaron por presentar un grado de sensibilidad “media”; mientras que la unidad N° 1 (localizada desde el cruce del Oleoducto con el río Salado hasta el Puente N° 4) presentó una sensibilidad “alta”.

En relación al actual Plan de Contingencias de YPF y su capacidad para contener derrames de HC en el río Salado, se observa que el estudio es de utilidad para añadir al plan la velocidad del agua del río frente a las variaciones de caudal y el comportamiento del crudo para estas situaciones. Respecto a los tiempos de respuesta de la brigada de emergencia, el conocimiento de la velocidad de la mancha permitirá optimizar el punto de contención del derrame y así disminuir el área de sacrificio.

Finalmente, el presente estudio aporta las herramientas necesarias para optimizar el actual PC de YPF, permitiendo disminuir el área de sacrificio ambiental y el riesgo para los seres humanos, el medio ambiente y los bienes materiales.

Las recomendaciones se encuentran orientadas a optimizar el actual Plan de Contingencias de YPF, e incluyen:

- Incorporar los caudales-velocidades-tirantes críticos del río Salado incluidos en el presente informe.
- Incorporar los tiempos estimados de avance de la mancha de HC para los diferentes caudales del río, incluidos en el presente documento.
- Incorporar los tiempos de respuesta de la brigada de emergencia para acceder a cada uno de los cruces de los caminos con el río Salado y preparar las medidas de mitigación en el lugar.
- Confeccionar una tabla que incorpore todas las variables antes citadas, a fin de facilitar la toma de decisiones frente a un evento de derrame de crudo en el río Salado.
- Incorporar un sistema de medición continuo de caudal/velocidad del agua del río, que funcione on-line, a fin de conocer permanentemente la velocidad del río, o en su defecto un sistema de aforo que permita medir el tirante crítico, y por ende la velocidad del agua, en un punto de fácil acceso.
- Evaluar la necesidad de contar con un sistema continuo (on-line) de detección de hidrocarburos en agua, aguas abajo del cruce del Oleoducto. Esto permitirá detectar tempranamente un derrame inferior a 10 m³/h.

BIBLIOGRAFÍA

- Angel L. Cabrera. Fitogeografía de la República Argentina. 1971.
- Cámara de Comercio, Industria, Producción y Servicios, General Belgrano, provincia de Buenos Aires.

- CEDEX – España. Recomendaciones para el Cálculo de Avenidas. 1993.
- Centro Estudios Sociales y Ambientales/Informe Final IAI 2004 - ENSO-Argentina.
- CITAB (Centro de Estudios de la Provincia de Buenos Aires del Banco Provincia).
- CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales). Impacto hídrico urbano, cuenca del río Salado, General Belgrano, provincia de Buenos Aires.
- Chow, Ven Te. Open Channel Hydraulics. Mc Graw Hill Civil Engineering Series, New York. 1959
- Datos Meteorológicos: Servicio Meteorológico Nacional.
- Dirección Provincial de Fiscalización Agropecuaria y Alimentaria. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. “Empresas pecuarias, alimentarias y veterinarias habilitadas”.
- Germán Monsalve Sáenz. Hidrología en la ingeniería. 1999.
- INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001.
- INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.
- INDEC. Censo Nacional Agropecuario (CNA) 2002.
- Informe Final del Plan Maestro Integral de la Cuenca del Río Salado. 2000.
- Instituto Nacional del Agua. Disponible en: www.ina.gov.ar
- Instituto Nacional del Agua. Evaluación de las Inundaciones y las Obras de Drenaje en la Cuenca del Salado (provincia de Buenos Aires) Mediante Modelación Numérica. 2012.
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica. Disponible en: www.inpres.gov.ar
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Disponible en: www.inta.gob.ar
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Cuenca Sur - EEA Cuenca del Salado (entrevista telefónica).
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Inundaciones en la región pampeana. Consecuencias sobre los suelos.
- Linsley – Kohler – Paulus. Hidrología para Ingenieros. 1994.
- Maidment, D., Djokic, D. Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems, ESRI Press. 2000.
- Ministerio de Infraestructura. Subsecretaría de Obras Públicas. Plan Maestro Integral Cuenca del río Salado.
- Municipalidad de Castelli.
- Municipalidad de Chascomús.
- Municipalidad de General Belgrano.
- Municipalidad de General Paz.
- Municipalidad de Lezama.
- Municipalidad de Monte.
- Municipalidad de Pila.
- Néstor A. Gabellone, Lía. C. Solari, María A. Casco, María C. Claps. Conservación del Plancton y protección de las cuencas hídricas. El caso de la Cuenca Inferior del río del Salado, provincia de Buenos Aires, Argentina. 2013.
- Plan Estratégico de General Belgrano. Universidad Nacional de La Plata y Municipalidad de General Belgrano.
- Programa Nacional Mapa Educativo.
- PROSAP. Estrategias para el sector agroalimentario en la Provincia de Buenos Aires, 2010. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. 2015.

- TEMA 2000. Informe de Monitoreo Ambiental 2014, Ductos de Transporte de Hidrocarburos. 2014.
- UNESCO. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe. 2010.
- United States Army Corps of Engineers USACE (2002). HEC-RAS: River analysis system hydraulic reference manual, Hydrologic Engineering Center.
- Ven Te Chow. Hidráulica de los Canales Abiertos.
- Ven Te Chow. Hidrología.