

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXII CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR LOS EFECTOS DE UN DERRAME
DE PETRÓLEO EN CANALES DEL SUR DE CHILE**

MAURICIO MOLINA P.¹
MANUEL CONTRERAS L.²
FERNANDA CORTES M.³
IGNACIO SEPÚLVEDA O.⁴
PATRICIO WINCKLER G.⁵
FERNANDO LANDETA R.⁶
JONATHAN MIZOBE A.⁷

RESUMEN

La cuantificación del impacto de un derrame de petróleo es una materia relevante cuando se desean evaluar los elementos asociados a la generación de planes y medidas de mitigación. El propósito de este trabajo es proponer una metodología para cuantificar los efectos de un derrame de hidrocarburos producto del impacto de un buque tanquero en el litoral de un canal dominado por corrientes de mareas intensas y con una elevada ocupación en actividades económicas, humanas y de interés para la conservación. Para ilustrar la metodología propuesta se construye y analiza un accidente hipotético en el Canal de Chacao, el cual es simulado con la herramienta Mike 21 Oil Spill (OS) y definido con parámetros extraídos desde la literatura. El levantamiento de información de sitios sensibles permite realizar una evaluación para 8 ciclos de marea de cada uno de esos sitios. Los resultados señalan una relación entre la cercanía del tipo de sitio sensible y el nivel de influencia del derrame sobre el mismo.

¹ Profesor Auxiliar, Facultad de Ingeniería, Universidad de Valparaíso – mauricio.molina@uv.cl

² Profesor Titular, Facultad de Ingeniería, Universidad de Playa Ancha – manuel.contreras@upla.cl

³ Ingeniero Civil Ambiental, Universidad de Playa Ancha – fernanda.cortes.molina@gmail.com

⁴ Programa Doctorado Cornell University – is328@cornell.edu

⁵ Profesor Adjunto, Facultad de Ingeniería, Universidad de Valparaíso – patricio.winckler@uv.cl

⁶ Ingeniero Civil, Skyring Marine Ltda. – fernando.landeta@gmail.com

⁷ Programa Ingeniería Civil, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Ecuador – bimizobe@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La preocupación internacional por estudiar los efectos de contaminación producto de derrames de hidrocarburos en cuerpos de agua marinos comienza con el accidente del Exxon Valdez en 1989 en Alaska y se ha visto recientemente renovada por el caso de la plataforma “Deepwater Horizon” el año 2010 en aguas del golfo de México. En Chile, dos de los tres accidentes que involucraron derrame de hidrocarburos de elevado volumen han ocurrido en los fiordos del sur del país: a) El Napier en 1973 que ocurrió en la región de Aysén, con un vertido total de 30.000 ton de petróleo y b) el Metula en 1974 que ocurrió en el Estrecho de Magallanes.

En general, entre las metodologías usadas para cuantificar los efectos de contaminación se encuentran el uso de herramientas numéricas para modelar la pluma del hidrocarburo (MIKE 21 OS, GNOME, OILMAP, OSCAR, entre otros) y técnicas de análisis y control de calidad de aguas en la vecindad del evento, todas ellas orientadas a la evaluación de las concentraciones y alcance del contaminante en el cuerpo de agua. En este trabajo se propone un método para cuantificar los efectos de la contaminación en el litoral, identificando puntos sensibles en cuyo caso la contaminación implique perjuicios en distintas dimensiones (económica, social, patrimonial, etc.), y utilizando un modelo numérico para establecer una escala cuantitativa de impacto en los puntos afectados. La evaluación se realiza considerando un caso hipotético de derrame en el Canal Chacao, producto de la colisión de dos embarcaciones, una de ellas, un tanquero de características similares a los que transitan en la actualidad por dicha zona.

Se presenta a continuación una breve descripción del accidente del Metula, dada su similitud con el caso hipotético a considerar, caracterizando el tránsito actual de tanqueros en el Canal de Chacao.

Caso del Metula

El 9 de agosto de 1974 el buque tanque Metula encalló después de perder gobernabilidad en el paso de la primera angostura del Estrecho de Magallanes, generándose un derrame inicial de 6.000 ton. El buque, de 206.000 ton, 325 m de eslora, y que transportaba más de 100.000 ton de petróleo crudo. Durante la pleamar del día 11 de agosto ocurrió un segundo derrame y dos derrames posteriores también fueron generados por acción de las mareas (Gunnerson & Peter 1976). El derrame total fue de 53.500 ton y afectó 150 km de la costa del Estrecho de Magallanes (Figura 1).

Estudios posteriores (Harm, 1974; Gunnerson & Peter, 1976) indican que para el 20 de agosto el petróleo se había extendido unos 2.560 km² - entre la Bahía Felipe y el este de la Boca del Estrecho- debido a las corrientes generadas por la marea (Figura 1). Harm (1974) explica que los fuertes vientos del Estrecho de Magallanes -principalmente del sudoeste- provocaron que el petróleo arribara rápidamente a la Isla de Tierra Fuego, sin alcanzar a volatilizarse o a ser absorbido por la columna de agua. Durante el mes de septiembre, vientos fuertes del sudoeste arrastraron parte del petróleo hasta la Punta Posesión y Punta Dúngenes, alcanzando incluso Punta Catalina. El derrame cubrió entre 60 y 80 km de costa con un ancho variable entre 15 a 60 m, y un espesor de aproximadamente 10 cm promedio. Parte del petróleo quedó entrampado en las bajamares en las rocas poco profundas cercanas a la costa.

Los impactos que se generaron sobre la costa afectada del Estrecho de Magallanes se pueden clasificar: a) impactos en el paisaje y la belleza escénica del lugar, b) impactos en la biodiversidad del borde costero, especialmente la avifauna y c) impactos sobre biodiversidad marina (Figura 2).

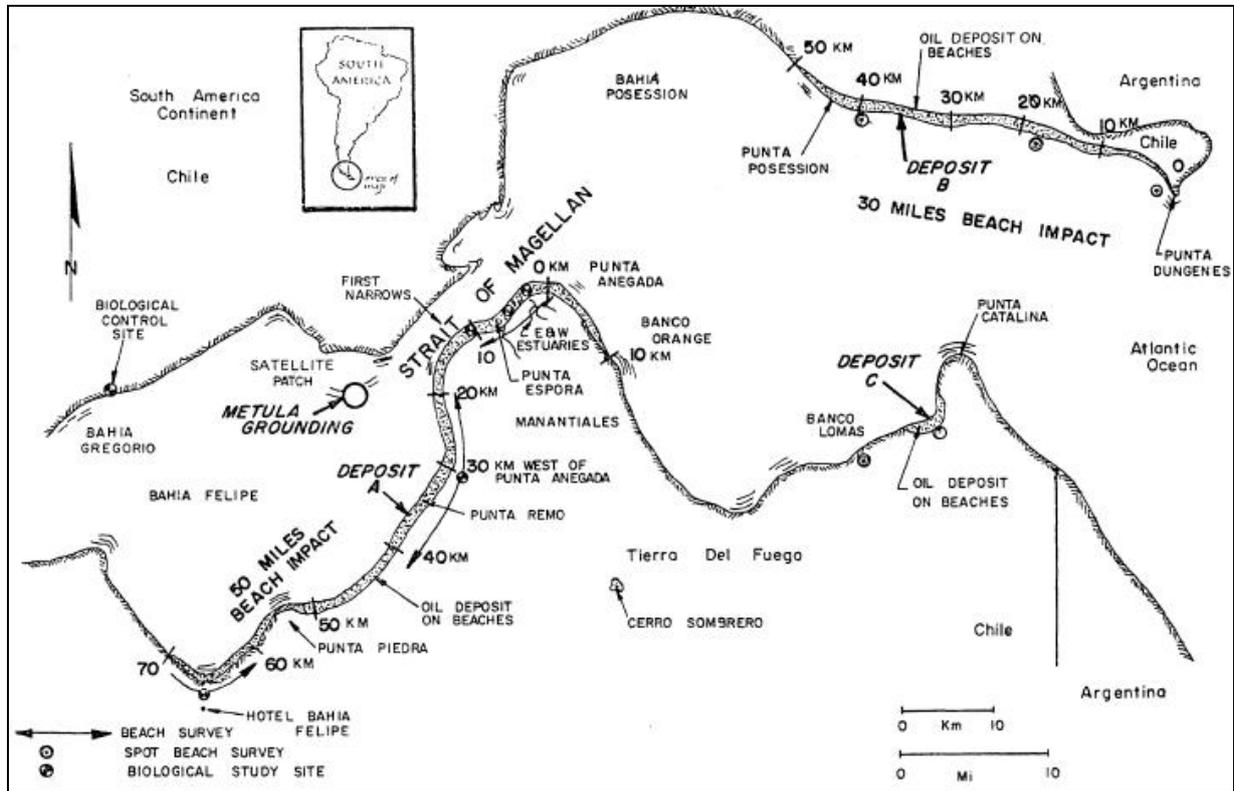


Figura 1. Área de impacto del derrame de Petróleo en el Estrecho de Magallanes debido al accidente del Metula. Fuente: Harm (1976).

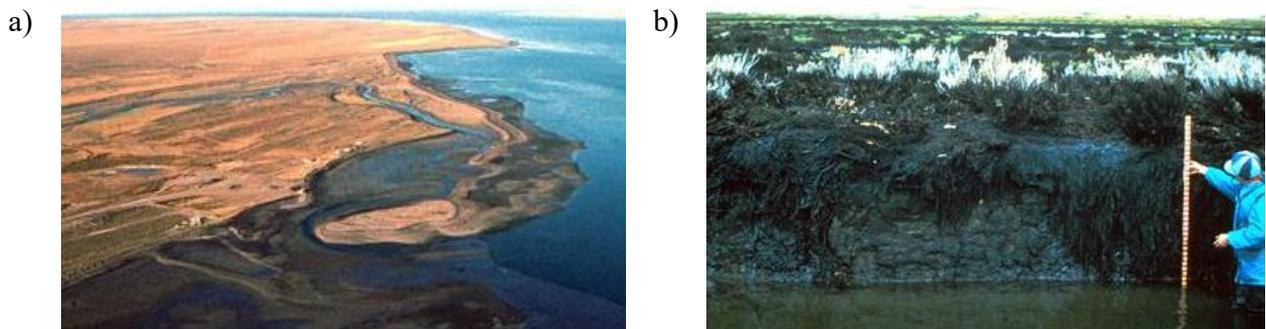


Figura 2. Imágenes del derrame de petróleo por el Metula. a) vista aérea mostrando a la mancha estabilizándose en la costa por acción del viento. b) Levantamiento ilustrando el área cubierta por el derrame, por efecto de la marea. Fuente: www.oil-spill-info.com/Spill_Metula.html.

Los factores que influyeron a incrementar los impactos del derrame del Metula fueron:

- Las altas mareas, las corrientes del estrecho y los fuertes vientos.
- El gran volumen de petróleo derramado (53.500 ton).
- La falta de tiempo de reacción por la cercanía con la costa (1.500 m).
- La ineficacia de los agentes dispersantes y tensoactivos.
- Las dificultades de acceso a la zona costera.

Tránsito de Tanqueros por el Canal de Chacao

El Canal Chacao es apropiado para la navegación de naves de gran tamaño y calado, pues aunque hay en él varios lugares de baja profundidad, quedan rutas libres para que las naves puedan transitar con seguridad (SHOA, 2013). Los petroleros que transitan el Canal de Chacao son de tamaño mediano, con esloras que varían entre 100 a 200 m (Figura 3 y Tabla 1). Transportan productos que provienen desde la bahía de San Vicente y Quintero hacia Puerto Montt y Puerto Chacabuco. Debido a la inexistencia de una refinería en la zona, transportan productos refinados de petróleo y no petróleo crudo.



Figura 3. Tanqueros que transitan por el Canal Chacao. A) Abtao, B) Alpaca y C) Lama.

Tabla 1. Características de los tanqueros que registran tráfico por el Canal de Chacao.

Nave	IMO	Largo (m)	Ancho (m)	Capacidad carga (Ton)	Año	Bandera	Estado
Papudo	8022030	235	-	37.290	1981	Chile	No Activo
Valdivia	8104515	86,7	12,6	2.025	1981	Ecuador	Activo
Lama	9163764	120	21,03	8.848	1999	Chile	Activo
Alpaca	8212300	154	23	12.561	1984	Chile	No Activo
Ancud	8300339	108	-	3.816	1983	Chile	No Activo
Abtao	9254812	182,5	32,23	27.505	2004	Chile	Activo
Don Gonzalo	9287821	80	17,17	3.248	2005	Chile	Activo
Ema Querida	9390903	149,61	24,23	12.560	2008	Panamá	Activo

2. METODOLOGÍA

Área de Estudio

El área de estudio corresponde al Canal de Chacao, que separa la costa del continente (provincia de Llanquihue) de la isla de Chiloé, en una extensión de 30 km en dirección E-W. Su ancho varía desde poco más de 1,8 km en la zona de la roca Remolinos hasta 4,6 km cerca de su entrada oeste (Figura 4). Los datos batimétricos utilizados en el modelo de elevación provienen de diecinueve

cartas náuticas SHOA y de un modelo global de relieve del océano abierto con una resolución de un 1 minuto de arco (Amante and Eakins, 2009).

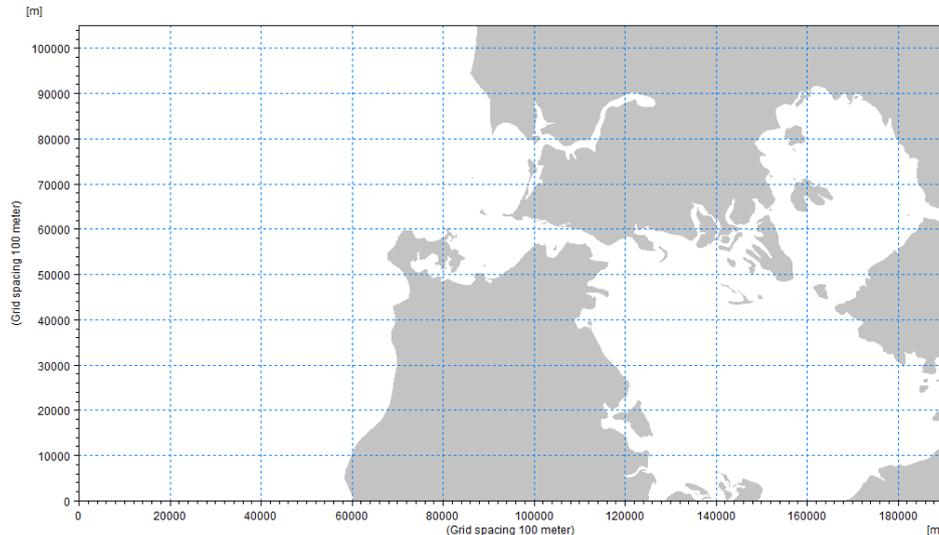


Figura 4. Área de estudio y dominio del modelo usado para el módulo Oil Spill.

Los procesos asociados a un vertido de petróleo son

- Advección y difusión turbulenta de la fracción superficial del petróleo
- Emulsificación, o mezcla del agua dentro del petróleo
- Evaporación de la fracciones ligeras del petróleo
- Biodegradación del petróleo en compuestos sencillos
- Disolución de componentes solubles entre el petróleo y el agua de mar
- Fotooxidación por efecto del sol
- Sedimentación hacia el fondo marino

Estos procesos ocurren en diferentes escalas de tiempo. Para efectos de esta simulación, se estudia sólo la advección y difusión turbulenta de la fracción superficial del petróleo, descartando todos los procesos reactivos que reducen la masa total en la superficie. Para ello se utiliza el modelo Oil Spill de DHI (MIKE 21 OS), que corresponde a una herramienta numérica en diferencias finitas para pronosticar la evolución y destino de hidrocarburos contaminantes derramados en ambientes marinos y costeros, cubriendo tanto aspectos de transporte como el cambio de la composición química del vertido. MIKE 21 OS es un modelo lagrangiano forzado por las salidas de un modelo hidrodinámico, en este caso las corrientes de marea para el Canal de Chacao fueron modeladas con MIKE 21 FM. La simulación se realiza con una grilla equiespaciada horizontalmente de 100 m, con paso temporal de 2 minutos, con el fin de equilibrar la relación costo computacional y la precisión de los resultados en el dominio espacio-temporal considerado.

Definición del Accidente

El accidente hipotético que se estudia en este trabajo corresponde a la colisión de un ferry con un buque tanquero en la intersección de sus rutas habituales, esto es, desde Pargua por el norte a Chacao por el sur en el caso del primero, y la ruta navegación del canal establecida en la carta 7210 del SHOA desde oeste a este para el segundo. Se considera la ocurrencia de la colisión en estoa hacia vaciante, dado que esta condición es usualmente aprovechada por embarcaciones mayores para ingresar en dirección a Calbuco. (Figura 5).

Si bien, dadas las capacidades de maniobrabilidad de los ferrys, la baja frecuencia de tránsito de buques tanqueros y la disposición contenida en la carta náutica 7210 relativa a la emisión de señal fónica según la regla 34 letra e del Reglamento internacional para prevenir abordajes, pudieran suponer que las probabilidades de una colisión son reducidas, la magnitud de las corrientes diarias en el canal, la de los vientos intensos que se presentan en ciertas épocas en la zona, y las fallas mecánicas o humanas, transforman en una posibilidad cierta la ocurrencia del caso considerado en el presente estudio.

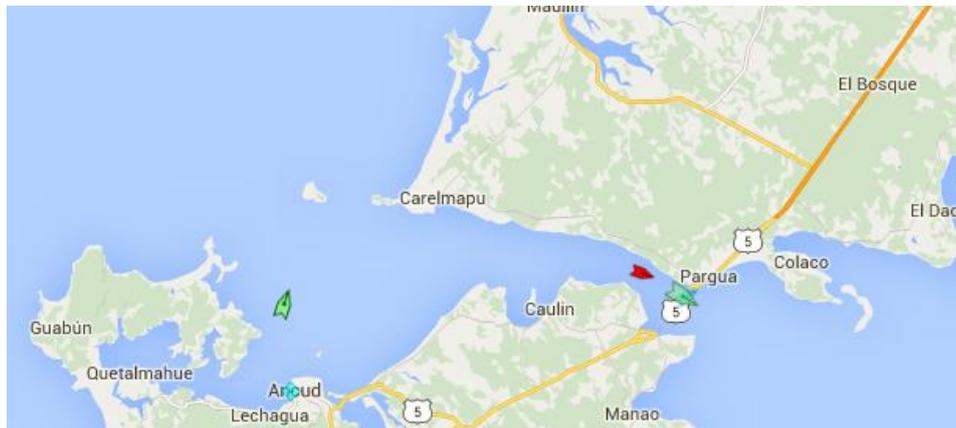


Figura 5. Tráfico registrado el día 18 de julio de 2015 en el Canal Chacao. Se puede observar el taquero Ema Querida (en rojo) navegando en las inmediaciones del punto hipotético de derrame.

Fuente: <http://www.marinetraffic.com/>

En cuanto a la fuente del vertido, si bien es cierto que la inercia de las embarcaciones más las intensidades de las corrientes hacen suponer que ésta será móvil, la gran cantidad de trayectorias probables de la fuentes hacen infructuosa la definición de un caso típico considerando que además se encuentran relacionados elementos tan diversos como la presencia de vientos, las decisiones de los pilotos y de la autoridad marítima respecto a la ubicación que estas naves deben seguir, entre otros. Dado lo anterior y por simplicidad se ha considerado que el vertido será en una posición fija en el tiempo, cuyas coordenadas son: 626088.00 m E, 5370669.00 m S.

Características del vertido y la simulación

Dado que por el canal transitan buques tanqueros de dimensiones medias, se ha considerado un vertido de análisis de 4000 ton de crudo a una tasa de 6 ton/min, en una extensión de poco más de 11 horas, considerando que la fuga se produce por una avería que no es de rápida reparación.

En cuanto a las propiedades del vertido, se considera la evaluación del crudo en vez de un derivado, ya que, aun cuando esta es la característica típica de la carga de los buques tanqueros, su fracción volátil contribuiría a mitigar los efectos de pérdida y degradación como la evaporación. De este modo, los únicos fenómenos considerados en la simulación son la advección, producto de la hidrodinámica de la zona, y la difusión turbulenta, que en este caso se emplea un valor de $2 \text{ m}^2/\text{s}$ (valor obtenido en estudio sujeto a confidencialidad).

En cuanto a la extensión de la simulación, se evalúan las primeras 100 horas, esto en consideración a que representa un tiempo prudente de respuesta ante el accidente. Esta extensión permite la evaluación del derrame en 8 ciclos de mareas consecutivos, los cuales poseen una frecuencia aproximada de 12:30 hrs.

Identificación de sitios sensibles

Para contextualizar los escenarios modelados frente a un derrame de hidrocarburos en el Canal de Chacao, se identificaron lugares poblados y de interés económico que podrían verse afectados (Figura 6).

- Lugares poblados: Cercano a la zona de estudio se encuentran las localidades de Carelmapu, Chacao y Pargua, entre otras. Por lo que existe una población que podría verse indirectamente afectada en el caso de un accidente de vertido de petróleo en la zona.
- Sitios de interés económico:
 - Las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB): Régimen que asigna derechos de explotación exclusiva a organizaciones de pescadores artesanales, mediante un plan de manejo y explotación basado en la conservación de los recursos bentónicos presentes en sectores geográficos delimitados.
 - Concesiones Marítimas: áreas asignadas a particulares que permiten el desarrollo de proyectos y actividades en el borde costero litoral.
 - Áreas de acuicultura
 - Caletas de pescadores artesanales

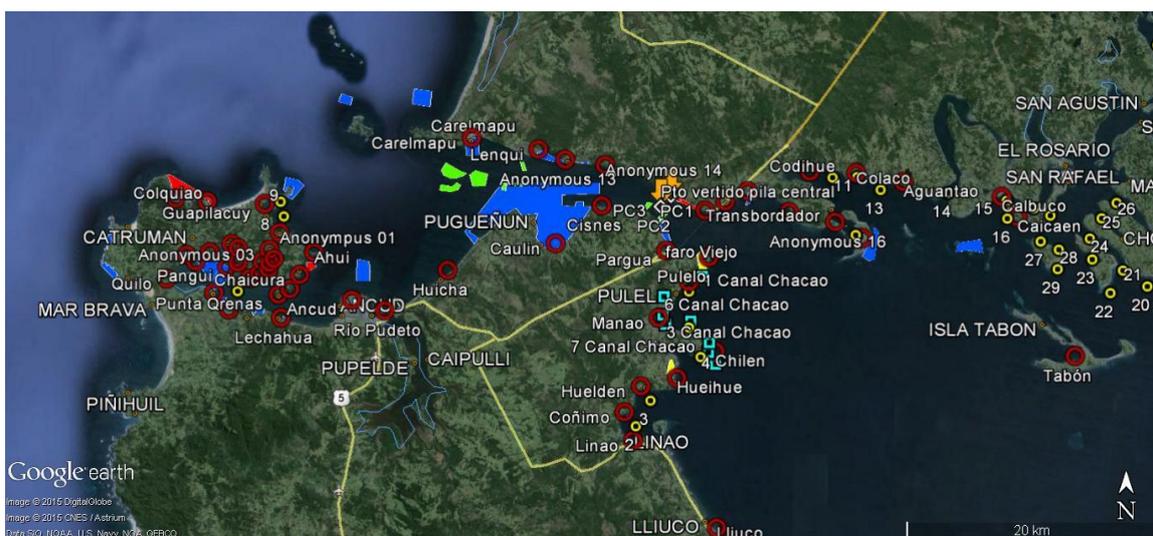


Figura 6. Sitios sensibles a un vertido de contaminantes.

Cuantificación del impacto del vertido en sitios sensibles

Cada sitio identificado como sensible ante un derrame de petróleo (poblados, concesiones, caletas de pescadores, áreas de manejo y áreas de acuicultura) se agrega en una base de datos georeferenciada. En aquellos casos en las que la zona de interés posee una extensión superior a la del espaciamiento de la grilla del modelo (100 x 100 metros), se consideró una repetición del dato por cada grilla, por lo que en ella se ponderan aquellas actividades de gran tamaño o extensión frente a otras de menor. Esto permite realizar una cuantificación del impacto en términos de área y no en términos de unidad

Con las coordenadas de ubicación de cada sitio sensible, se calcula la celda a la que pertenece en el modelo de advección-difusión. Así, la cuantificación del impacto del derrame se realiza evaluando en cada sitio sensible cada uno de los ocho (8) ciclos de mareas que se producen cada 12:30 hrs, en donde se determina para cada celda del modelo la concentración máxima ocurrida entre el inicio del vertido y el horizonte temporal considerado. Esto permite evaluar la concentración máxima a la que se expuso cada sitio sensible, aun cuando dicha masa solo se encuentre en tránsito por el lugar.

Posteriormente, y para cada horizonte horario considerado, los sitios se clasifican por tipo, y se determinan el promedio de concentración de petróleo máxima (ton/ha) en las sitios afectados y el porcentajes de sitios afectados respecto a los considerados en extensión del modelo.

3. RESULTADOS

La Figura 7 da cuenta de la máxima concentración obtenida por el avance del contaminante a lo largo del canal luego de cada ciclo de marea. Destaca que cada ciclo de marea aumenta el área en el que el petróleo se presenta, y que basta solo un ciclo para que haya presencia de petróleo en toda la extensión del canal. También, luego de las 50 horas del inicio del vertido, este alcanza zona costera oeste de la isla, derivando hacia el sur. En cuanto a las concentraciones, estas se presentan mayoritariamente con valores menores da 4 ton/ha, teniendo mayores concentraciones la salida este del canal.

La evaluación del porcentaje de sitios afectados con el paso del tiempo descrito en la Figura 8 da cuenta de un aumento progresivo, ya que los efectos evaluados son del tipo acumulativo. De los tipos de sitios sensibles, las áreas de manejo son las que más rápidamente se ven afectadas por el derrame de petróleo, manteniéndose todos los tipos en incrementos del orden de 5 a 6% cada 10 horas, salvo las áreas de acuicultura, que crece a tasas del orden de 2 a 3 %. Con todo, la mitad de los sitios sensibles se verán afectados al cabo de 100 horas, y en particular, agrupados por tipo, dicho porcentaje se alcanza después de las 70 horas en el caso de las áreas de manejo y de 75 horas en el caso de los poblados.

En cuanto a las concentraciones máximas a las que se exponen los tipos de sitios sensibles, se presentan crecimientos rápidos en las concesiones y áreas de manejo, pero que luego de las primeras 25 horas el incremento se estabiliza. Sin embargo los efectos sobre los poblados mantienen la misma tasa de crecimiento hasta las 62 hrs después del derrame, a contar de la cual la tasa disminuye, pero se mantiene como el tipo de sitio sensible con mayor concentración de contaminante.

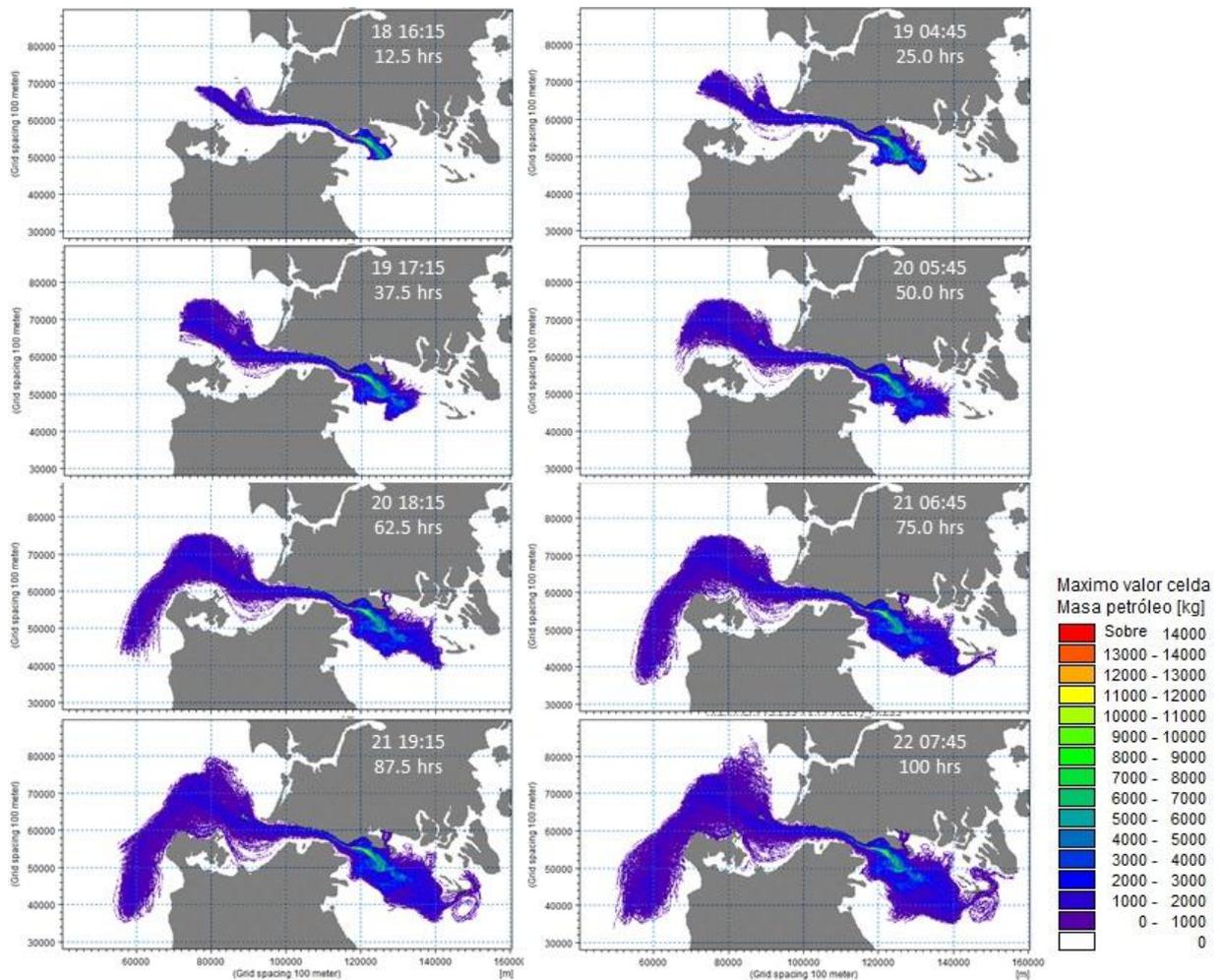


Figura 7. Máxima concentración de petróleo para distintos horizontes temporales.

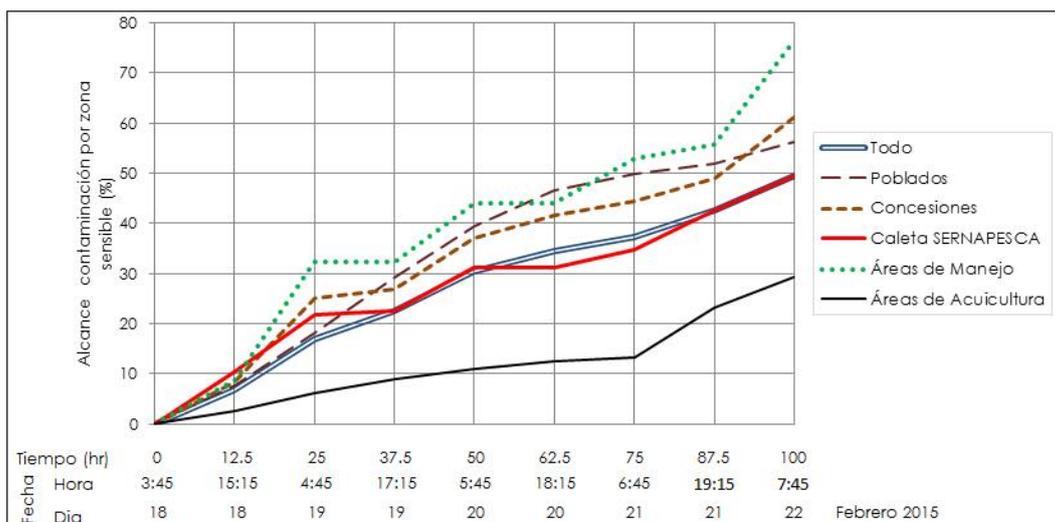


Figura 8. Porcentaje de lugares afectados por el derrame respecto al área de análisis considerado por ítem y para distintos horizontes temporales.

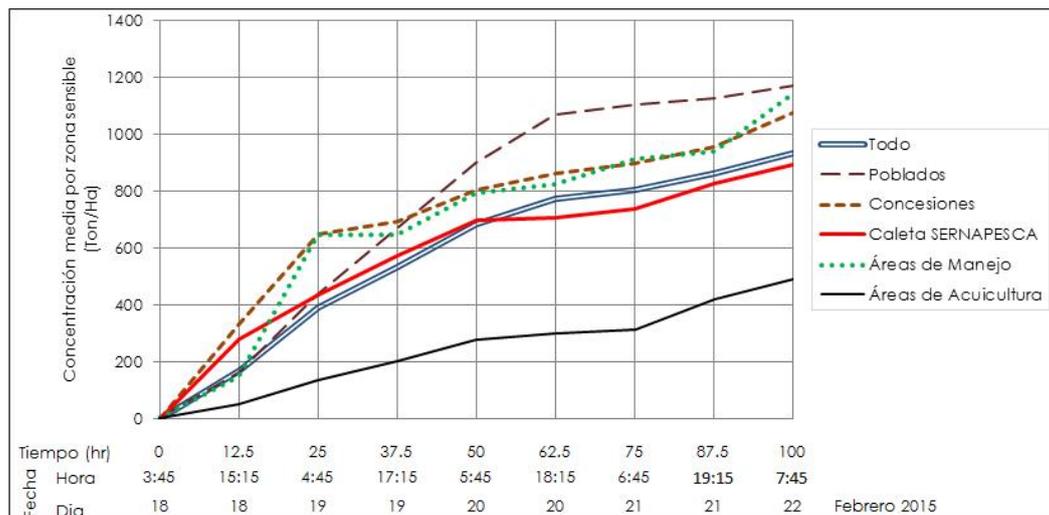


Figura 9. Promedio de la concentración máxima de petróleo en los lugares afectados por el derrame por ítem y para distintos horizontes temporales.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La evaluación de un derrame de petróleo en el Canal Chacao es un ejercicio interesante y necesario, ya que, si bien pueda tener asociada una probabilidad reducida de ocurrencia, las características hidrodinámicas de la zona convertirán rápidamente a este suceso en una catástrofe ambiental de proporciones, como el del Metula en 1974.

En cuanto a la disponibilidad de herramientas para la evaluación de la propagación del contaminante por el Canal Chacao, el software Mike 21 OS ofrece una alternativa suficiente para su cuantificación, pudiendo, en casos más específicos y con incorporación de más variables, evaluar cada uno de los procesos de degradación del contaminante si se considera el derrame de un derivado del petróleo. No obstante, la selección del crudo como contaminante derramado permite tener una visión más amplia respecto a los alcances más desfavorables de un evento de esta naturaleza. En este caso, si bien el uso de crudo dará siempre un impacto creciente ya que el contaminante no sufrirá degradación en el tiempo, este ejercicio permite planificar medidas de mitigación más precisas conociendo la hidrodinámica de la zona y los tiempos disponibles

En cuanto a la cuantificación del impacto del vertido en cada tipo de sitio sensible, el incremento sostenido mostrado en ambas curvas sugiere que para la zona se requiere simular más de 100 hrs, a fin de tender una estabilización de los valores alcanzados. Esto debe evaluarse junto con una cuantificación de los tiempos de respuestas ante la ocurrencia de un evento de estas características.

Para la definición de sitios potencialmente afectados, se deben considerar también sitios de interés para la conservación y el turismo: En la zona existen pingüineras y sitios de interés histórico o de belleza escénica que podrían verse afectados. Así mismo, deben considerarse algunas facilidades a la navegación como las ramblas de acceso a los transbordadores junto con la ubicación de zonas de pesca u otras que puedan generar algún tipo de impacto. Con todo, se debe cuidar de que la zona estudiada a partir del modelo de advección-difusión del contaminante sea

concordante con el área en el cual se revisan los antecedentes de sitios sensibles, ya que este parámetro entrega la sensibilidad al asociada a los porcentajes de sitios afectados respecto la cantidad de datos disponibles.

Finalmente, las diferencias en los porcentajes de impactos radican en el nivel de proximidad en el que el tipo de sitio sensible se ubica respecto al canal, ya que poblados y áreas de manejo se presentan cerca de esta zona, pero áreas de acuicultura preferentemente distantes, fundamentalmente porque para el desarrollo de dicha actividad se requieren de velocidades de corrientes bajas que solo sean capaces de renovar las aguas, pero que con intensidades mayores querrían el uso de estructura más resistente.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Skyring Marine por disponer de su infraestructura para realizar las modelaciones y al Sr. Pablo Figueroa por proporcionar importantes antecedentes para definir el caso de estudio.

REFERENCIAS

Amante, C. and B.W. Eakins, 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA. doi:10.7289/V5C8276M.

Cornwall, W. 2015. Deepwater Horizon: After the Oil. Science, 348(6230): 22 - 26.

DHI. 2014. DHI Oil Spill Model. Oil Spill Template. Scientific Documentation. Denmark.

Gunnerson, C.G. y Peter, G. 1976. The Metula Oil Spill. National Oceanic and Atmospheric Administration Special Report. NOAA, Boulder, Colorado.

Harm, R.W. Jr. 1974. VLCC "Metula" Oil Spill. Reporte CG-D-54-75. Department of Transportation United States Coast Guard.

Harm, R.W. Jr. 1976. Preliminary Report: Field Study of the Oil from the Supertanker Metula. Letter report to the U.S. Coast Guard. Texas A&M University, College Station, Texas.

SHOA. 2012. Derrotero de la costa de Chile, Volumen II (De Canal de Chacao a Golfo de Penas). Octava Edición. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.

SHOA. 2013. Derrotero de la costa de Chile, Volumen I (De Arica a Canal de Chacao). Décima Edición. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.