

SIMULACIÓN DE UN DERRAME DE HIDROCARBUROS EN EL PUERTO PESQUERO DE SANTA ROSA DEL CANTÓN SALINAS

María José Marín Jarrín, Oc. y José Chang Gómez, Ing.
Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
mjmj.oc@gmail.com , jvchang@espol.edu.ec

Resumen

El Puerto de Santa Rosa, provincia de Santa Elena, presenta una comunidad dedicada a la pesca artesanal, lo cual exige la manipulación de gasolina en los barcos y dispensadores costeros. Por tanto, es necesario predecir los efectos de un derrame en esta zona.

Una matriz de confrontación permitió comparar los programas simuladores de derrames más comunes y las características más importantes para acoplarse a la zona de estudio. Se escogieron dos modelos: ADIOS2 y GNOME, los cuales permiten simular el envejecimiento de un hidrocarburo en el océano y la trayectoria de los derrames, respectivamente.

Utilizando estos programas se simularon seis derrames de Gasolina sin plomo en dos zonas: el área de atraque de los pescadores y, el muelle abastecedor de gasolina en la Punta San Jacinto. Se utilizaron datos de las dos estaciones climáticas de la región: lluviosa y seca, con parámetros variables de temperatura y vientos. Se observó que en época seca, la mayor parte del hidrocarburo derramado, es evaporado y dispersado en menos de 6 horas, y ningún barril llega a costa. Sin embargo, en época lluviosa, todos los derrames llegan a tierra desde la primera hora después del derrame.

Palabras Claves: *Simulación de derrame, Gasolina, ADIOS2, GNOME.*

Abstract

The port of Santa Rosa, province of Santa Elena, presents a community dedicated to the artisanal fishery, which demands the manipulation of gasoline in ships and coastal dispatchers. Hence, it is necessary to predict the effects of a spill in this area.

A confrontation matrix allowed comparing the most common oil-spill simulation programs and the most important characteristics in order to adjust to the study area. Two models were chosen: ADIOS2 and GNOME, which allow the simulation of oil aging in the ocean and the spill trajectory, respectively.

Using these programs, six Unleaded Gasoline spills were simulated in two zones: the fishermen's dockage area and, the gasoline-supplying dock in the San Jacinto Point. Data of the two climatic stations of the region were used: rainy and dry season, with variable parameters of temperature and wind. It was observed that in dry season, most of the spilled oil is evaporated and dispersed in less than 6 hours, and no barrel reaches land. However, in rainy season, all the spills reach land since the first hour after the spill.

Keywords: *Spill simulation, Gasoline, ADIOS2, GNOME.*

1. Introducción

Nuevas estimaciones indican que el petróleo vertido en el medio ambiente marino puede ser menor de lo que antes se pensaba. Se piensa que esto refleja, en parte, los avances en la última década en el transporte marítimo de petróleo y gas, y las técnicas de producción. Es necesario continuar con la simulación de la dinámica de derrames para reducir el riesgo de derrames de petróleo, y respaldar la introducción de nuevas legislaciones y códigos de operación. Los modelos numéricos de simulación son una de las herramientas, que hacen que los trabajos de prevención sean más precisos. El modelaje en este caso, ha tenido grandes avances durante los últimos años, resultando en una gran cantidad de programas computarizados que permiten la simulación de derrame de hidrocarburos. Para su ejecución se requiere de las características del derrame y las condiciones meteorológicas durante y las horas después del derrame, entre otras. Como resultado, el modelo ofrece una serie de datos relacionados a la trayectoria del derrame, el tiempo de impacto mínimo, el punto de impacto y la fracción evaporada, emulsionada y dispersada, al igual que la cantidad remanente de hidrocarburo que impactará la costa.

El propósito de este trabajo es simular un derrame de hidrocarburo en el Puerto de Santa Rosa, en distintas condiciones meteorológicas y oceanográficas, en el momento del derrame y las siguientes horas.

2. Descripción de la zona de estudio

La ciudad de Santa Rosa tiene un terminal pesquero artesanal, cuyos habitantes viven de esta actividad, caracterizada por un gran dinamismo pesquero-comercial (Figura 1). La bahía de Santa Rosa dispone de una zona marina costera para construir un moderno puerto pesquero artesanal, que será desarrollado para mejorar significativamente las actividades del desembarque de pescado y mariscos. Además, permitiría a las embarcaciones, maniobras de amarre y atraque seguras, al contar con obras de protección costeras diseñadas y construidas técnicamente.



Figura 1. Actual terminal Pesquero de Santa Rosa.

Características morfológicas de la zona

El Puerto Pesquero de Santa Rosa, está ubicado a 144 Km de la ciudad de Guayaquil. Este puerto se encuentra delimitado por dos cabos, el primero ubicado en la zona de Petrópolis detrás del Barrio Los Reales Tamarindos, y el siguiente ubicado en el Barrio 1 de Enero. El área de estudio está ubicada aproximadamente a $2^{\circ}12'00''$ S y $80^{\circ}56'00''$ O y presenta profundidades entre 0.3 y 6 metros.

Características oceanográficas de la zona: Sistema de corrientes

A nivel oceánico, las Corrientes Marinas frente a la costa ecuatoriana se encuentran dominadas por el Régimen de Circulación del Pacífico Tropical Oriental (Figura 2), el cual juega un papel predominante en la distribución de las propiedades físicas, químicas y biológicas.

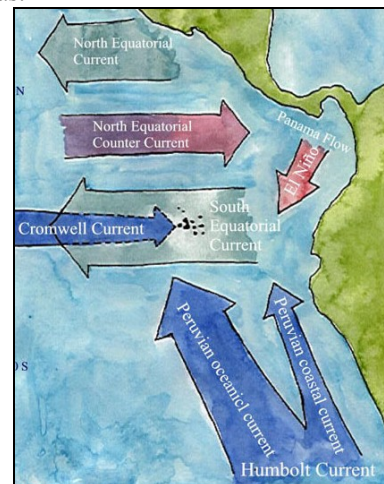


Figura 2. Corrientes oceánicas de la zona

Corrientes en el área de estudio

Varios estudios se han desarrollado en el Puerto Pesquero Artesanal en Santa Rosa. Se tomaron estos datos para definir las corrientes propias del área de estudio. Se observó, que durante la época de mediciones, en agosto del 2008, las velocidades estuvieron en el orden de 0.30 m/s. Las mayores intensidades no solo se dan a nivel superficial sino que en la mayoría de los días de medición estos valores también se presentan a niveles medios y profundos. Datos obtenidos del correntómetro indican que ésta varió entre 0,17 m/s y 0,32 m/s en superficie. Los valores más altos se registraron en profundidades medias. La dirección predominante de la corriente, se concentró entre los cuadrantes 90 a 135 grados magnéticos, dirección SE, con 49,88% de ocurrencia, sin embargo a nivel superficial y medio existe también una pequeña tendencia de la dirección NO lo cual no se observa a nivel profundo.

Régimen de Oleaje

En condiciones normales las olas frente al área de estudio tienen características de mar de leva con períodos medios de 16 a 20 segundos, y alturas significativas medias de 0,6 metros. La dirección de la ola es principalmente del Noroeste y registra periodos bastante cortos desde 2.3 s hasta máximo 12.67 s [4].

La zona de estudio se encuentra expuesta a la acción del oleaje proveniente de tormentas generadas extra regionalmente y que eventualmente causa impactos negativos. Especialmente durante la presencia de El Niño Oscilación Sur, ENOS, tiempo en el cual se incrementa el nivel medio del mar, lo que, unido al fuerte oleaje, provoca consecuencias graves en los procesos costeros como sedimentación y erosión.

Climatología

El Ecuador presenta dos estaciones bien definidas: la primera es cálida y lluviosa (Enero hasta Abril) y la segunda es fría y seca (Mayo hasta Diciembre). Este clima registra precipitaciones acumuladas inferiores a 200 mm durante el período de lluvias, siendo completamente seco el resto del año. Para el área donde se encuentra ubicada la Parroquia Santa Rosa, la Península de Santa Elena, y la parte sur de la Isla Puná y del Golfo de Guayaquil, se puede encontrar un clima particularmente tropical seco, o bosque seco BS.

En la región analizada, la temperatura media mensual del mar supera los 26°C en la época lluviosa (comúnmente llamada invierno) y disminuye hasta 22°C en la época seca (comúnmente llamada verano). El rango anual (diferencia entre máxima y mínima) de temperatura en Salinas normalmente es de menos de 5 °C, las temperaturas más altas se presentan durante el periodo lluvioso. La humedad relativa varía entre 75% y 85%, y la tierra es desértica o semidesértica.

En coherencia con el patrón a escala sinóptica, en el sitio donde está ubicada Santa Rosa los vientos predominantes soplan la mayor parte del año desde el Suroeste y Oeste con una intensidad promedio de 5 m/s, pero cuando la ZCIT avanza hacia el sur, se sienten vientos variables en la zona.

Durante la estación húmeda, las frecuencias de los vientos del SW y W son menores que en la época seca, además, se presenta un aporte importante de vientos del NW (aporte promedio 20%). En la época seca, los vientos del SW y W alcanzan una frecuencia de hasta 48.75%, los vientos NW representan un aporte importante con un promedio de 8%, además en junio, julio y agosto, los vientos del sur aumentan su incidencia alcanzando un máximo de 9.07%. Las

mayores velocidades se presentan durante los meses de junio a diciembre.

Dado que la costa se encuentra del lado Este, se utilizarán como condiciones promedio vientos de 5 m/s y dirección SW y dirección W, y como condiciones extremas, vientos de 3.8 m/s y dirección NW.

3. Descripción y elección de los modelos

Los modelos de simulación de derrames de hidrocarburos son sistemas que permiten la estimación de la trayectoria y el tiempo mínimo de impacto de un derrame de hidrocarburo, dependiendo de las condiciones ambientales, y usando algoritmos de distinta complejidad. Paralelamente, se obtiene una serie de resultados que están relacionados a los procesos de envejecimiento que un hidrocarburo en contacto con el ambiente podría sufrir. Estas estimaciones y resultados nos permiten estimar un plan de control, costos, riesgos, entre otros, en caso de un derrame. La estructura básica de los modelos de simulación ambiental requiere ingresar una serie de parámetros de distinto tipo, tanto del derrame como del medio ambiente en que se da el derrame:

- Fecha y hora del derrame
- Coordenadas geográficas del derrame
- Tipo de derrame: continuo o discontinuo
- Tipo de contaminante derramado
- Cantidad de contaminante derramado
- Dirección y velocidad de las corrientes en el área del derrame
- Patrón de vientos en el área del derrame
- Temperatura del mar y aire
- Marea (altura y frecuencia de las olas)
- Salinidad

Una vez que estos parámetros son ingresados, el sistema genera una serie de resultados después de la simulación.

3.1 Elección del modelo

Para poder seleccionar el modelo que mejor se ajuste a las particularidades de la zona de estudio, se procedió a determinar las características más importantes que debe tener un modelo que sea apropiado para al área en cuestión. Las características son:

- Periodo de predicción.
- Ingreso de datos (información remota)
- Actualización.
- Datos de ingreso y resultados.
- Posee una interface amigable.

Después de escoger las características más influyentes al preferir un modelo sobre los otros, se definió cuál de estos tiene un mayor peso que otro. Es

así que se definió ciertas características con más peso que otras, por ejemplo “Periodo de predicción”. Finalmente se procede a definir 3 valores que indiquen si el modelo cumple en alto grado, medio o bajo con este requerimiento. Con toda esta información se creó la tabla 1, para definir cuál modelo se ajusta mejor a las necesidades del estudio.

Tabla 1. Matriz de confrontación de los modelos para la elección del modelo definitivo.

MATRIZ DE CONFRONTACIÓN PARA LA ELECCIÓN DEL MODELO						
Característica	Valor	Modelo				
		ADIOS	GNOME	HSCTM2D	P-ROUTE	CORMIX
Predice para periodos mayores a 5 días	Alto:	25				
	Medio:	20	20	25	20	25
	Bajo:	15				
Incorpora datos de información remota	Alto:	10				
	Medio:	7	7	3	3	7
	Bajo:	3				
Actualizado permanentemente	Alto:	20				
	Medio:	15	20	20	10	20
	Bajo:	10				
Incluye corrientes y vientos	Alto:	25				
	Medio:	20	25	25	25	15
	Bajo:	15				
Posee una Interface amigable	Alto:	20				
	Medio:	15	20	20	10	20
	Bajo:	10				
Total		92	93	68	87	87

Luego de comparar las características y restricciones de los distintos modelos (tabla 1), se escogieron los modelos GNOME y ADIOS. Con estos modelos, se correrán distintos escenarios (las mismas condiciones meteorológicas y del derrame para ambos programas), para determinar el potencial efecto de un derrame de hidrocarburo en el Puerto Pesquero de la ciudad de Santa Rosa, Península de Santa Elena.

En Santa Rosa, provincia de Santa Elena, atracan cerca de 500 embarcaciones que realizan actividad pesquera en este puerto, y cuyo lugar de desembarque es la playa. Como potencial consecuencia, se simularán seis escenarios contaminantes, aplicando los programas ADIOS2 y GNOME, en los cuales se analizarán derrames de gasolina sin plomo, con las variables iniciales mostradas en la tabla 2. El objetivo es determinar el envejecimiento y trayectoria del hidrocarburo, en distintas condiciones de vientos como se describieron anteriormente.

Tabla 2. Variables de entrada para cada escenario.

Variable	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 5	Esc. 6
Ubicación	Área de atraque	Área de atraque	Punta San Jacinto	Punta San Jacinto	Área de atraque	Punta San Jacinto
Fecha del derrame	1 de septiembre	1 de abril	1 de septiembre	1 de abril	1 de abril	
Hora del derrame	06h00					
Temperatura	22° C	26° C	22° C	26° C	26° C	
Salinidad	32 ppt					
Hidrocarburo derramado	Gasolina sin plomo (API= 59.4) (Anexo C)					
Vol. hidrocarburo derramado	500 bbl		1000 bbl		500 bbl	1000 bbl
Tiempo de derrame	1 hora		2 horas		1 hora	2 horas
Corrientes	propias de la zona					
Velocidad del viento	5 m/s				3.8 m/s	
Dirección del viento	SW (225°)	W (270°)	SW (225°)	W (270°)	NW (315°)	
Oleaje	Propio de la zona					

4. Simulación de los distintos escenarios bajo condiciones promedio

Para la simulación bajo condiciones promedio, se procedió a ingresar los datos requeridos por los dos programas, además de la velocidad y dirección del viento: velocidad constante de 5 m/s con dirección SW y dirección W por separado. Con estos datos ingresados en cada modelo, se simulan varios escenarios de derrame: derrame instantáneo en el área donde están ancladas las embarcaciones, y, derrame continuo desde la Punta San Jacinto.

4.1 Derrame instantáneo en una misma área

Se genera un escenario para diagnóstico ingresando la velocidad y dirección del viento (5 m/s, SW), y se procede a modelar un derrame de 500 barriles de gasolina sin plomo (1 barril por cada barco en el área de estudio), arrojados en tiempo mínimo (1 hora, predefinido por los programas), en un área de aproximada de 2 km², zona donde atracan los barcos. Luego se simula su envejecimiento y evolución usando los programas ADIOS2 y GNOME respectivamente. A continuación se resumen los resultados del primer escenario:

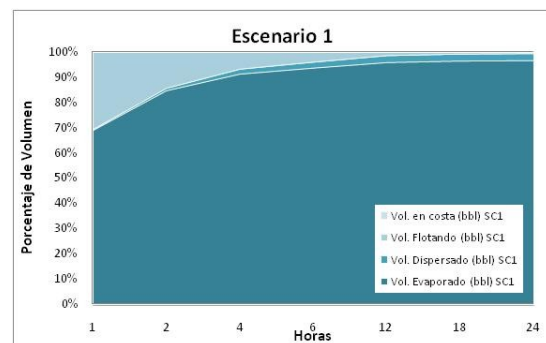


Figura 3. Resultados del programa ADIOS2, escenario 1.

El programa ADIOS permite determinar que al cabo de una hora, más de la mitad del líquido se ha evaporado (69%), y que en seis horas, más del 95% de la gasolina sin plomo ya no se encuentra en el agua de mar pues se ha evaporado o difundido.

De los resultados del programa GNOME (Figura 4), se puede inferir que, dadas las condiciones meteorológicas y del derrame, un percance de estas características se movería hacia el Noroeste. La mancha de hidrocarburo no se esparciría notablemente (máximo 2.5 km de ancho), y, finalmente, no tocaría tierra.

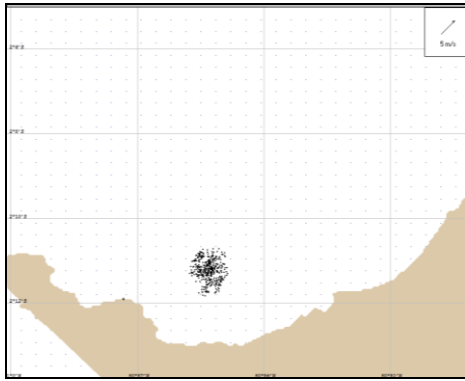


Figura 4. Resultados del programa GNOME escenario 1 a 6 horas del derrame

Luego, se genera un escenario para diagnóstico con velocidad de viento 5 m/s y dirección del viento W (270°), y se procede a modelar el mismo derrame (500 barriles de gasolina en tiempo mínimo, en la zona donde atracan los barcos), usando los programas ADIOS2 y GNOME respectivamente. Ya que la costa se encuentra al Este de la fuente de contaminación, se presume que la mancha llegará a tierra.

El programa ADIOS2 realiza predicciones basadas en derrames fuera de la costa y podría dar respuestas no tan precisas para escenarios cerca de la misma, ya que es posible que la línea costera impida que la mancha se propague y las asunciones en las fórmulas de dispersión usadas por el programa podrían no ser las más apropiadas. Aunque el programa ADIOS2 no puede estimar la cantidad de hidrocarburo que toca costa, este valor (diario) sí puede ser ingresado manualmente desde otros programas, como GNOME. Una vez ingresado el valor de gasolina en tierra, ADIOS2 sustraerá el hidrocarburo en tierra del total de hidrocarburo flotando, y asumirá que el hidrocarburo en playa no volverá a flotar.

Por lo explicado en el párrafo anterior, se utilizó primero el programa GNOME para calcular la cantidad de hidrocarburo en costa a distintas horas, y luego se ingresaron estos valores en el programa ADIOS2. A continuación se resumen los resultados del segundo escenario:

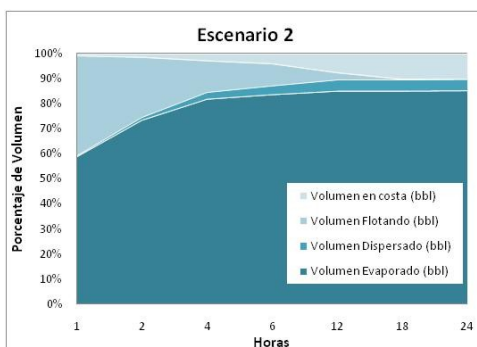


Figura 5. Resultados del programa ADIOS2, escenario 2.

De los resultados anteriores, se puede observar que con sólo cambiar la dirección de los vientos influyentes, la mancha de hidrocarburo tocará tierra desde la primera hora del derrame. Además, los resultados indican que un día después, ya no habrá gasolina flotando, y se podrían observar 50 barriles en la costa.

Seguidamente, se corrió el programa GNOME, que muestra la trayectoria de la mancha bajo las condiciones dadas. Se obtuvieron los siguientes gráficos:

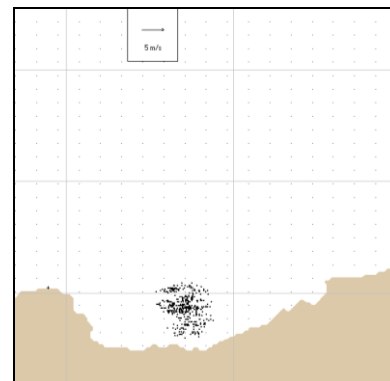


Figura 6. Resultados del programa GNOME escenario 2 a 6 horas del derrame.

En la figura anterior, podemos observar que la mancha de hidrocarburo se moverá hacia el Este, como es de esperarse, y aunque no afectará directamente a la población de Santa Rosa, sí llegará a una población aledaña, a 7.4 km medidos en línea recta desde el centro de la zona de derrame.

4.2 Derrame puntual durante un periodo de tiempo dado

A continuación, se modela un derrame de 1000 barriles de gasolina, expulsados durante 2 horas consecutivas desde la Punta San Jacinto. Este escenario permite predecir las consecuencias de un derrame, en caso de que se presentara una fuga en el sistema de distribución de hidrocarburo del muelle de la empresa Rombali, distribuidora de hidrocarburo, y que la pérdida no sea controlada inmediatamente. Después de ingresar los datos, incluyendo los de vientos de 5 m/s con dirección SW para el escenario 3, y de 5 m/s con dirección W, se simula el envejecimiento y evolución de la mancha usando los programas ADIOS2 y GNOME.

En el escenario 3 se pueden observar dos comportamientos:

- A corto tiempo (1-4 horas), la mayoría del líquido derramado es evaporado (78.4% en 2 horas). Nótese que en éste escenario, la evaporación y dispersión tomarán más tiempo

que en el primer caso, como se puede observar en la figura 7, debido a que el volumen derramado es mayor.

- A largo tiempo (6 horas), alrededor del 95% del líquido ya no se encuentra en el océano, porque se ha evaporado o dispersado, de manera similar al escenario 1.

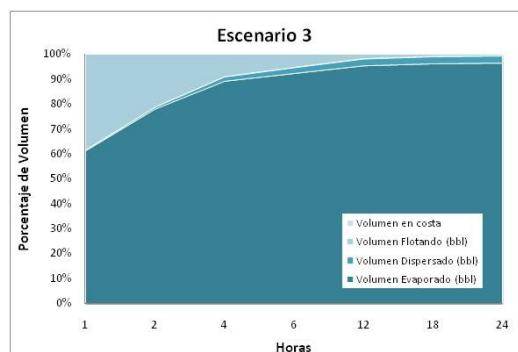


Figura 7. Resultados del programa ADIOS2, escenario 3.

Utilizando el programa GNOME se puede determinar que en este escenario, la mancha de hidrocarburo no alcanzaría tierra. Sin embargo, su trayectoria es mucho mayor (25.5 km desde el punto de descarga). El programa GNOME permite determinar el tamaño de la mancha del derrame, siendo de 2.53 km de largo a las 24 horas, y, de 1.65 km a 48 horas del derrame. Finalmente, se puede establecer que la última porción de gasolina se evapora a 6 km de la costa (tomados en línea recta).

Luego se simula el mismo escenario con distintas condiciones de vientos: 5 m/s con dirección W. De la figura 8 se puede concluir que un máximo de 41 barriles llegarán a la costa en un lapso de 18 horas, en el cual el 92% ha sido evaporado y dispersado y ya no se encontrará en el agua. Sin embargo, un día después aún se hallarán 37 barriles flotando en Santa Rosa.

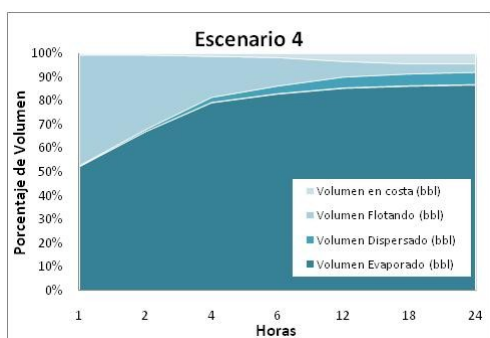


Figura 8. Resultados del programa ADIOS2, escenario 4.

Además, el programa GNOME (figura 9) muestra que la mancha de hidrocarburo impactará la costa a 9.28 km medidos en línea recta horizontal desde la Punta de San Jacinto. Además, en las primeras horas la

gasolina se mueve en dirección Este, estando muy cerca de la costa en la Punta de San Jacinto.

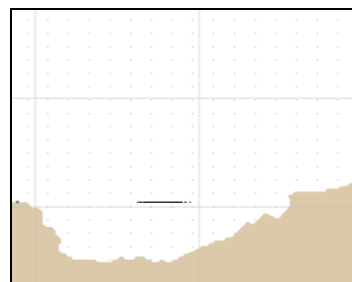


Figura 9. Resultados del programa GNOME escenario 4 a 24 horas del derrame.

5. Simulación de los distintos escenarios bajo condiciones extremas

Anteriormente, se explicó que la velocidad de viento comúnmente encontrada en el Puerto Pesquero de Santa Rosa es de 5 m/s con dirección SW o W, sin embargo, en ocasiones (frecuencias de 20% en época húmeda) se encuentran vientos que soplan desde el Noroeste de 3.8 m/s. Debido a que la costa se encuentra al lado Este de los puntos de derrame, se considera importante simular los escenarios con estas características de viento, en las dos áreas anteriormente utilizadas.

5.1 Derrame instantáneo en una misma área

El escenario 5 involucra un derrame de 500 barriles de gasolina en un área de 2 km², con la diferencia de que los vientos son de 3.8 m/s con dirección Noroeste. De los productos generados por el programa ADIOS2 (Figura 10), se puede observar que más del 50% del líquido se evapora en menos de una hora. Sin embargo, en esa misma hora existe un 10% que alcanza la playa y que provocará efectos ambientales.

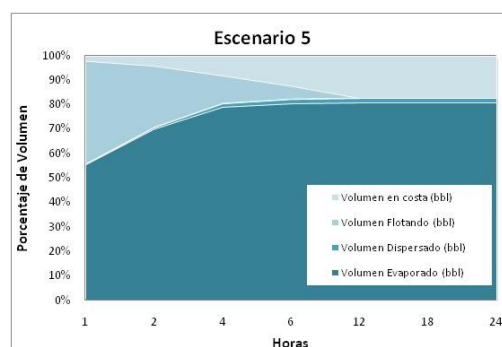


Figura 10. Resultados del programa ADIOS2, escenario 5.

Utilizando el modelo GNOME, se observa cómo se transporta la gasolina derramada en el puerto. Las imágenes generadas, figura 26, permiten inferir que a

las 6 horas se comienza a observar la gasolina en la costa, como se muestra a continuación:

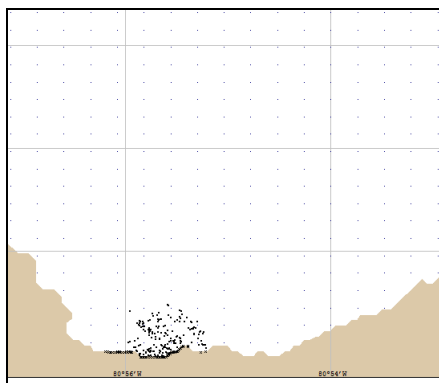


Figura 11. Resultados del programa GNOME escenario 5 a 6 horas del derrame.

5.2 Derrame puntual durante un periodo de tiempo dado

Finalmente se simula un derrame de 1000 barriles de gasolina durante 2 horas desde la Punta San Jacinto en la estación húmeda. Siendo que para este escenario se utilizan vientos de 3.8 m/s en dirección Noroeste, y que la costa se encuentra al Sur de el punto contaminante, este escenario es de especial interés. Se ingresan los datos en el programa ADIOS2, para simular el escenario.

La figura 12 demuestra que en tan sólo una hora, 34 barriles de gasolina alcanzan tierra, lo que provocaría un gran efecto ambiental en la zona aledaña al punto de derrame. Además, al cabo de 6 horas no se encontrará el hidrocarburo en el océano, sea que haya sido evaporado, dispersado o se encuentre en la playa.

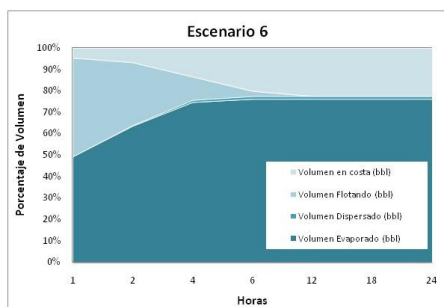


Figura 12. Resultados del programa ADIOS2, escenario 6.

En el escenario 6, la mancha de hidrocarburo no se difunde en el océano, debido a los valores del viento ingresados. Esto indica que un derrame de estas características sería muy negativo para los pobladores y pescadores que se hallan en esta zona, ya que 225 barriles de gasolina inundarían el sector.

6. Comparación de los escenarios en distintas condiciones meteorológicas

Después de analizar los derrames en distintos escenarios considerados, se comparan los resultados en condiciones normales y extremas, para observar el efecto de las variaciones de vientos. Así se obtienen las siguientes observaciones al considerar los escenarios 1, 2 y 5:

- La variación de volumen evaporado en el tiempo presenta pequeñas variaciones entre los tres escenarios.
- El volumen dispersado aumenta a medida que se manifiesta más la componente en dirección Oeste en el vector viento, variando desde 0 barriles acumulados en el primer escenario hasta 86 barriles en el escenario 5.
- El escenario 2 presenta la mayor variación de volumen dispersado en la zona, mientras que el escenario 5 tiene los menores valores de dispersión, lo cual podría producirse debido a que la velocidad de viento es menor.

Al comparar los escenarios 3, 4 y 6, situaciones de derrame de 1000 barriles de gasolina desde la Punta San Jacinto en un periodo de 2 horas, con distintas condiciones meteorológicas, figura 30, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Los valores de volumen evaporado en el tiempo son mayores a lo largo del tiempo en el escenario 3. En el caso del escenario 6, los valores siempre son menores en el tiempo. Se puede observar también que a diferencia de los otros, en el escenario 4 los barriles evaporados continúan aumentando aún después de las 18 horas.
- El volumen dispersado en el escenario 4 es mayor que las otras, además, el escenario 6 presenta volúmenes dispersados menores a lo largo del tiempo.
- Al comparar los volúmenes de hidrocarburo que alcanza la costa, el escenario 6 presenta los mayores valores, mientras que el escenario 3 es el escenario más benigno, ya que la gasolina no toca tierra.

5. Conclusiones

La zona de Santa Rosa, en la provincia de Santa Elena, presenta dos estaciones climáticas notables: época seca y época lluviosa, las cuales presentan su mayor contraste en los valores de vientos y temperatura: vientos desde 3.8 m/s hasta 5 m/s, desde el Suroeste hasta el Noroeste, y temperatura desde 22°C hasta 26°C. Utilizando la información disponible, se ha analizado el Puerto Pesquero de Santa Rosa sometido a distintos escenarios de derrame de

hidrocarburo, para determinar el proceso de envejecimiento y transporte de dichos derrames. Los programas empleados permitieron representar las distintas situaciones, logrando concluirse lo siguiente:

1. Existen muchos modelos y programas que permiten simular derrames en mar abierto, ríos y otros ambientes acuáticos, y que utilizan distintas aproximaciones al mismo problema. Se compararon los programas utilizando una matriz de confrontación que enumera las características que los hacen más o menos aptos para el objetivo de la investigación. Se escogieron los programas ADIOS2 y GNOME, con índices de 87 y 93, ya que se acoplan mejor a los datos disponibles, y la información de salida que ofrece.
2. Los programas de simulación permiten observar que en los escenarios 1 y 3, durante la época seca, en la cual se tienen vientos de 5 m/s con dirección W y temperatura de 22°C, derrames de 500 o 1000 barriles no afectarían la zona costera. Debido a la alta tasa de evaporación del hidrocarburo (95%) después de 6 horas del derrame, la gasolina no será encontrada en el océano, y no llegaría a tierra.
3. En el caso de época lluviosa, se generaron 4 escenarios de derrame, dos en cada zona, usando vientos con velocidad y dirección distintas. En el escenario 2 y 4 se observan vientos de 5 m/s y dirección Oeste. Se simuló un derrame de 500 barriles desde la zona de atraque, y se encontró que a dos horas del derrame el 75% del hidrocarburo es evaporado y dispersado. Sin embargo, desde la primera hora se observa gasolina en costa, llegando a un máximo de 50 barriles a partir de las 18 horas después del derrame. En el escenario 4, se simuló un derrame de 1000 barriles en la Punta San Jacinto. En este escenario, se observó que alrededor de 3 horas después del derrame el hidrocarburo ha sido evaporado y dispersado, y, al igual que en el escenario 2, a partir de la primera hora se observa gasolina en costa llegando a un máximo de 41 barriles a partir de las 18 horas.
4. En los escenarios 5 y 6 se tienen vientos de velocidad de 3.8 m/s desde el Noroeste en las dos zonas de estudio. En el escenario 5, en la zona de atraque, se observó que el volumen dispersado es menor que en los otros casos estudiados, y que el volumen en costa es de 10 barriles a la hora y de 86 a partir de las 12 horas. Finalmente en el escenario 6 se observa la menor proporción de volumen evaporado de todos los escenarios, y, el mayor volumen en costa, siendo de 225 barriles. Es importante observar que en estos dos escenarios, a partir de las 3 horas el 75% del hidrocarburo es evaporado y dispersado.

5. Al comparar los derrames, se puede observar que en el escenario 1 se observa mayor evaporación que en los otros escenarios, y que el volumen en costa es mayor en el escenario 5. Finalmente el mayor volumen dispersado se da en el escenario 2. Comparando los derrames en la Punta de San Jacinto, se observa que en el caso del escenario 3, el volumen evaporado es mayor que los otros casos. Adicionalmente se observa que el volumen en costa es mayor en el escenario 6, y, que el volumen dispersado es mayor en el caso del escenario 4.
6. Al comparar todos los escenarios, se observó que el caso con el mayor efecto es el escenario 6, en el cual se produce un derrame de 1000 bbl con vientos de 3.8m/s en dirección NW. Las corridas de los programas indican que a 12 horas del derrame, 22.5% del hidrocarburo llega a tierra.

13. Referencias

- [1] Allauca, S., *Presencia de la corriente costanera ecuatoriana*, Acta Oceanográfica del Pacífico, Guayaquil, 1990, 6(1). p. 10-17.
- [2] Instituto Nacional de Pesca, *Informe de los resultados obtenidos del Crucero de Investigación Oceanográfica – Pesquera T89/09/1*, INP, Guayaquil, 1988.
- [3] Chang, et al., *Estudios Básicos para el Puerto Pesquero Artesanal en Santa Rosa, Cantón Salinas, Provincia De Santa Elena*, Guayaquil, 2008.
- [4] Allauca, S. y Cardin, V., *Análisis de las olas en la costa central del Ecuador*, Acta Oceanográfica del Pacífico, Guayaquil, 1987, 4(1). p. 1-7.
- [5] NOAA Emergency Response Division, *ADIOS2 Help manual*, Seattle, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2000.
- [6] NOAA Emergency Response Division, *GNOME™ User's Manual*, Seattle, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2002.
- [7] Earl J. Hayter, et al., *HSCTM-2D, a finite element model for depth-averaged Hydrodynamics, sediment and contaminant transport*, Clemson, South Carolina, Department of Civil Engineering, Clemson University, 1998.
- [8] General Sciences Corporation, *PC-Proute User's Manual – draft*, Washington, U. S. Environmental Protection Agency, 1993.
- [9] Robert L. Doneker and Gerhard H. Jirka, *CORMIX user manual - A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Waters*, Washington, EPA, 2007.