



ASOCIACION REGIONAL DE EMPRESAS DE PETROLEO
Y GAS NATURAL EN LATINOAMERICA Y EL CARIBE



***MODELA D O D E
T R A Y E C T O R I A S D E
D E R R A M E S D E
H I D R O C A R B U R O S***



Canadian International
Development Agency



INFORME ARPEL

**MODELADO DE TRAYECTORIAS
DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS**

Autores:
Mark West
Laurie Solsberg

ARPEL, Octubre 1998

ARPEL***“Modelado de trayectorias de derrames de hidrocarburos”***

Informe#ARPELCIDA01CPREP0498

Octubre 1998

ARPEL, Javier de Viana 2345, CP 11200 Montevideo, URUGUAY

Tel.: (598-2) 400-6993

Fax: (598-2) 400-9207

Correo electrónico: arpel@arpel.com.uy

Internet home page:<http://www.arpel.org>**Autores**

Este informe se preparó a solicitud de ARPEL y de su Comité de Ambiente, Salud y Seguridad Industrial por:

Counterspil Research Inc.

#135, 1305 Welch Street

North Vancouver, British Columbia, Canada

(604) 990-6944

Fax: (604) 990-6945

Correo electrónico: crinvan@istar.com

Los consultores fueron asistidos para la redacción y revisión detallada por el Grupo de Trabajo de Planes de Contingencias para Derrames de Hidrocarburos de ARPEL.

Revisión

Carlos Benavides

ECOPETROL

Eddy Hernández

CUPET

Luis Morales

IMP

Darío March

AMOCO

Juan Carlos Sánchez

PDVSA

Silvano Torres

PEMEX

Luiz Arroio

PETROBRAS

Miguel Moyano

Secretaría General de ARPEL

Oscar González

Environmental Services Association of Alberta

Derechos de Autor

Por la presente ARPEL otorga al usuario un derecho universal no exclusivo de usar este documento. Los derechos del Usuario no son transferibles. Este documento, ya sea en su totalidad o en partes, no se puede copiar, fotocopiar, reproducir, traducir, ni convertir a ninguna forma de lectura, ya sea electrónica o por medio mecánico sin el consentimiento previo por escrito de ARPEL. El Usuario dará reconocimiento completo a ARPEL por ser la fuente de las Guías.

Financiamiento

Este documento se preparó exclusivamente para la Fase 2 del Programa Ambiental de ARPEL. El Programa fué financiado por Canadian International Development Agency (CIDA), y co-administrado por Environmental Services Association of Alberta (ESAA) y Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe (ARPEL).

Exoneración de Responsabilidad

Aunque se ha realizado todo el esfuerzo para asegurar la exactitud de la información contenida en esta publicación, ni ARPEL, ni ninguna de sus empresas, ni ESAA, ni ninguna de sus compañías integrantes, ni CIDA, ni los consultores, asumen responsabilidad por cualquier uso que se haga de la misma.

Tabla de Contenido

1.0	Introducción	1
	Usos del modelo	2
2.0	Selección del software de modelado	5
2.1	Filosofía de los vendedores	5
2.2	Entrada de datos	6
2.3	Hidrodinámica	7
2.4	Modalidades de modelado	7
2.5	Destino y comportamiento de los hidrocarburos	9
2.6	Parámetros de modelos adicionales	10
2.7	Salidas de modelos	10
2.8	Elaboración de mapas de sensibilidad (GIS)	11
2.8.1	Integración de sistemas de modelado y de elaboración de mapas	12
2.9	Modelos disponibles comercialmente	12
3.0	Requisitos de datos	15
4.0	Tipo de modelos	17
4.1	Modelado determinista	17
4.2	Modelado estocástico	18
4.3	Modelado receptor	19
5.0	Ejecución de modelos	21
5.1	1er Paso - Definir el contorno playero	21
5.2	2o Paso - Desarrollar un campo (hidrodinámico) de corrientes	23
5.3	3er Paso- Ingresar datos de viento	25
5.4	4o Paso – Ingresar características del hidrocarburo	25
5.5	5o Paso – Ingresar los datos del derrame	26
5.6	6o Paso - Ejecutar el modelo	26
5.7	7o Paso - Refinar el modelo	27
6.0	Salidas de modelos	29
7.0	Requisitos de hardware	31
8.0	Conclusiones y recomendaciones	33
Anexo A	Vendedores de sistemas de modelado	35

Anexo B	Bibliografía/recursos de modelado adicionales	37
Anexo C	Organismos cartográficos de México, Centroamérica, Sudamérica y el Caribe.....	39

Lista de Figuras

Figura 1.1	Estimación del avance de una mancha de hidrocarburo.....	2
Figura 2.1	Ejemplo de la salida de un modelo estocástico.....	8
Figura 2.2	Procesos que afectan el hidrocarburo derramado	9
Figura 2.3	Ejemplo de un gráfico de destino de hidrocarburos	10
Figura 4.1	Ejemplo de un modelo determinista en el Golfo de Omán.....	18
Figura 4.2	Ejemplo de un modelo estocástico, Puerto Limón, Costa Rica.....	19
Figura 5.1	Proceso de modelado de siete pasos	21
Figura 5.2	Ejemplo de una cuadrícula costera, San Sebastián, Brasil.....	22
Figura 5.3	Definición de tipos de contorno playero	23
Figura 5.4	Ejemplo de una cuadrícula rectangular de corrientes, Golfo de Tarouba, Trinidad	24
Figura 5.5	Carta de vientos	25
Figura 6.1	Ejemplo de salida, Point a Pierre, Golfo de Paria, Trinidad	29
Figura 6.2	Ejemplo de salida de archivo de texto.....	29
Figure 6.3	Ejemplo de Informe de recursos afectados.....	30

Resumen

Se elaboró un informe para asistir a las empresas miembro de ARPEL en la selección y en el desarrollo de sistemas de modelado de trayectorias de derrames de hidrocarburos. El informe detalla varios criterios que deben tomarse en cuenta cuando se escoge un programa de modelado, incluyendo la necesidad de vincularse por medio de interfaz con otros programas, tales como la elaboración de mapas de sensibilidad.

Asimismo se incluye una matriz donde se hace un resumen de los software comercialmente disponibles en el cual se evalúa cada programa en base a la capacidad de cada una para apoyar las características imprescindibles, importantes y menos importantes.

El informe de talla los diferentes requisitos de información que los miembros de ARPEL necesitarían para realizar modelados de derrames de hidrocarburos en sus áreas de interés. Se presentan tres tipos de modelos al igual que un proceso de siete pasos para preparar y ejecutar los modelos.

El informe muestra tres diferentes tipos de salida de modelos que estos programas son generalmente capaces de crear al igual que los requisitos en cuanto a hardware que se necesitarían para hacer funcionar los programas.

Por último, los beneficios del modelado de trayectorias de derrames de hidrocarburos son abordados desde la perspectiva de administración, incluyendo mano de obra y costos de capital para implementar un sistema de modelado de derrames de hidrocarburos.

Nota: Los nombres comerciales y los derechos de autor utilizados en el presente informe son de propiedad exclusiva de sus propietarios legítimos y el hecho de mencionarlos en este informe no constituye recomendación ni endoso del uso de los mismos.

Reconocimientos

El presente informe fue elaborado por Mark West y Laurie Solsberg de la empresa Counterspil Research Inc.

Se da mención especial a PETROBRAS, PDVSA y a ECOPETROL por su contribución al desarrollo del presente informe.

Por último, extendemos especial agradecimiento a aquellas empresas de software de modelado quienes proveyeron copias de *prueba* de sus software, asistencia técnica y respondieron de inmediato a los cuestionarios.

Glosario

A continuación se presentan las abreviaciones y los términos que se utilizan en el presente informe:

Término	Definición
ARC/INFO	Software para los Sistemas de Información Geográfica de marca comercial ESRI
ArcView	Software para los Sistemas de Información Geográfica de marca comercial ESRI
ARPEL	Asistencia Recíproca Petrolera Empresarial Latinoamericana
ASA	Applied Science Associates, Inc.
bbls	barriles
modelo determinista	modelo de trayectorias que calcula la trayectoria de un sólo acontecimiento de derrame
GIS	sistema de información geográfica
GUI	interfaz gráfica de usuario
hr	hora
HPLC	cromatografía líquida de alta resolución
K1	componente de marea diurna influenciado por el sol
M2	componente de marea semidiurna influenciado por la luna
Mif/Mid	formato de datos formateados en ASCII para GIS definido por MapInfo
NOAA	Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica
modelo receptor	modelo de trayectorias que se utiliza para identificar la trayectoria probable (fuente) de un derrame de origen desconocido
modelo estocástico	modelo de trayectorias utilizado para calcular la probabilidad de las trayectorias de manchas de hidrocarburos en base a numerosos años de datos de viento históricos
Windows	Windows 3.x/Windows 95 – sistemas operativos/programas para computadoras personales registrados como propiedad literaria de Microsoft

1.0 Introducción

Los modelos de trayectorias de derrames de hidrocarburos pueden ser utilizados por las personas que responden a las emergencias, por los planificadores de contingencias y por el personal de evaluación de riesgos a fin de predecir hacia dónde se dirigen los derrames de hidrocarburos y de qué manera las propiedades químicas y físicas del hidrocarburo han de cambiar con el tiempo.

Aun si no hubieren modelos de computación disponibles, una persona que responde a un derrame podría calcular cuándo una mancha de hidrocarburo podría alcanzar el contorno playero en base a sus observaciones. Por ejemplo, si los vientos reinantes empujaran la mancha de hidrocarburo hacia la costa a una distancia de tres kilómetros de la costa y a una velocidad de 0.2 m/s, la mancha alcanzaría la costa en un período de alrededor de cuatro horas (suponiendo que las condiciones no cambiaran de manera substancial).

Por otra parte, otro método más técnico que a menudo se utiliza para calcular la velocidad de la mancha, supone que la mancha viajará a una velocidad de aproximadamente 3,5% de la velocidad del viento. Por ejemplo, un viento de 20 nudos (37 km/h) conduciría una mancha de hidrocarburos a una velocidad de 0,7 nudos (0,36 m/s) en dirección del viento. Este método debiera funcionar en un lago donde no hay ninguna otra corriente que empuje la mancha de hidrocarburo. Sin embargo, en mar abierto o donde las mareas y otras corrientes inciden en las corrientes superficiales, es decir, en los ríos, los efectos tanto del viento como de la corriente deben ser combinados utilizando un proceso de suma vectorial simple a fin de prever razonablemente el avance de la mancha de hidrocarburo.

Por ejemplo, si hubiera una corriente de 0,5 nudos (1 m/s) a lo largo del contorno playero y un viento costa afuera de 15 nudos (28 km/h) soplando directamente sobre la costa, el efecto combinado de ambas corrientes se calcularía de la siguiente manera:

$$x^2 + y^2 = z^2$$

$$(3,5\% \text{ del viento})^2 + (100\% \text{ de la corriente})^2 = (\text{avance de la mancha})^2$$

$$(0,035 \times 15)^2 + (0,5)^2 = (\text{avance de la mancha})^2$$

$$\text{avance de la mancha} = 0,72 \text{ nudos}$$

Esto resultaría en una corriente combinada de alrededor de 0,72 nudos (0,37 m/s) aproximándose a la costa en un ángulo. (véase la figura 1.1)

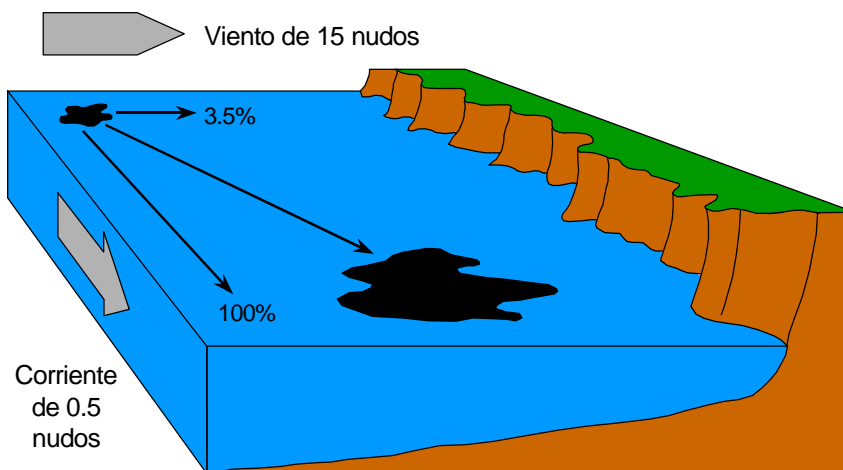


Figura 1.1 Estimación del avance de una mancha de hidrocarburo

Tal como se indicara en el ejemplo anterior, la superficie de la mancha aumentará hasta que el hidrocarburo haya alcanzado un espesor mínimo.

Desafortunadamente los derrames actuales normalmente son mucho más complicados de predecir debido a vientos cambiantes, patrones de corriente irregulares e influencias de marea complejas. En estos casos, los modelos de trayectorias computarizados son la única herramienta disponible para hacer predicciones confiables.

Usos del modelo

Los modelos de trayectorias de derrames de hidrocarburos pueden ser utilizados para realizar numerosas funciones de planificación y respuesta a emergencias:

Respuesta a derrames

Los modelos pueden incorporar datos *en tiempo real* a fin de predecir la trayectoria y el destino de derrames que podrían amenazar el contorno costero u otras zonas ambiental o económicamente sensibles.

<i>Planificación de contingencias</i>	También se pueden utilizar modelos durante la elaboración de planes de contingencia a fin de desarrollar escenarios creíbles y para predeterminar posibles estrategias de respuesta y técnicas de limpieza.
<i>Evaluación de riesgos</i>	Los modelos pueden ser utilizados como una herramienta de evaluación de riesgos para proyectar el destino y las trayectorias de derrames <i>potenciales</i> a fin de considerar el posible impacto de los derrames y las estrategias para atenuarlos. Cuando se utilizan como una herramienta de evaluación de riesgos, los modelos de derrames pueden asistir en la toma de decisiones importantes tales como la ubicación de las boyas de carga, el posicionamiento de los equipos de respuesta a derrames o la necesidad de modificar instalaciones o procedimientos existentes para la transferencia de hidrocarburos.
<i>Ejercicios de derrames</i>	Una vez que los modelos de derrames hayan sido elaborados, estos pueden ser empleados durante los ejercicios de derrames para asistir a los coordinadores en escena y a las otras personas que toman decisiones a fin de lograr un despliegue más rápido de los equipos de contramedidas.
<i>Retrocálculos</i>	Los modelos de derrames también pueden ser utilizados para “retrocalcular” los derrames provenientes de fuentes desconocidas que afectan los contornos playeros u otras zonas sensibles a fin de identificar los posibles puntos de origen.

En todos los casos, existe una serie de elementos en común, tanto técnicos como orientados a los usuarios, que debieran ser considerados cuando se compra y/o se desarrolla un sistema de modelado. Estos elementos se plantean en esta guía.

2.0 Selección del software de modelado

Todo software, cualquiera que sea su propósito, debe ser fácil de instalar, aprender y utilizar. Ya no hay ninguna razón válida para exclusivo que los programas altamente técnicos pertenezcan al ámbito exclusivo de los técnicos especializados. El desarrollo de las interfaces gráficas de usuarios (GUI), es decir, Windows, ha creado un entorno donde las aplicaciones técnicas debieran estar disponibles a los ingenieros y a los demás integrantes del personal técnico, quienes posiblemente no estén completamente familiarizados con las computadoras, pero que de todas maneras requieren la potencia de las capacidades del programa. Afortunadamente hay varios vendedores de programas de modelado que comparten este punto de vista.

Dado que la salida de los modelos de derrames de hidrocarburos a menudo se encuentra estrechamente vinculada al impacto potencial de un derrame, puede ser conveniente tener un enlace con una capacidad de elaboración de mapas de sensibilidad o bien de estar integrados con ésta. La mayoría de los programas disponibles hoy en día proveen esta capacidad en alguna medida.

2.1 Filosofía de los vendedores

Modelado por el vendedor

Algunos vendedores de software de modelado consideran que el software solo constituye una herramienta para vender sus servicios de consultoría. Una vez instalado el software, éste pasa a ser meramente un dispositivo de salida que el usuario final puede utilizar para *demostrar* modelos altamente complicados que han sido desarrollados por el vendedor. Este enfoque puede ser apropiado para compañías petroleras a quienes les preocupan los riesgos potenciales pero quienes no cuentan con la mano de obra o la capacidad dentro de la empresa para mantener un sistema sofisticado. Este tipo de sistema tendría un costo inicial alto pero entraría a funcionar con relativa rapidez y tendría la capacidad de predecir el impacto de derrames potenciales y a la vez requeriría poco mantenimiento. Estos sistemas están limitados a una ubicación geográfica, ya que el hecho de preparar, montar y ajustar la hidrodinámica para otras zonas requeriría apoyo adicional de parte del vendedor.

Modelado por el usuario

Otra alternativa que resulta un poco más flexible, permite al usuario final participar de manera más activa en el proceso de modelado. Si bien se requiere considerable pericia en modelado, algunos usuarios pueden desear tener mayor control de la hidrodinámica que se utiliza en el modelo, lo cual permitiría efectuar cambios tanto en el modelo existente como en el modelado de zonas nuevas sin la asistencia del vendedor de software. Algunos programas vienen con las herramientas para permitir al usuario *pintar* las corrientes de marea y de fondo (estacionales). Si bien por lo general éstos pueden ser menos sofisticados, brindan mucha mayor flexibilidad al usuario final, en particular en casos de derrame de emergencia donde no existe ningún modelo pero donde igual se requiere una estimación inicial (*la mejor estimación*). Cabe mencionar que existen varios vendedores de modelos que ofrecen productos que combinan lo mejor de ambos enfoques.

2.2 Entrada de datos

Base de datos ambientales

El software debe proveer las herramientas al usuario (idealmente gráficas) para ingresar datos ambientales tales como la temperatura del aire y del agua, datos del viento y posiblemente de las corrientes. Si no resulta posible ingresar datos actuales, entonces el software debe incluir:

- corrientes accionadas por el viento
- corrientes de agua dulce (ríos)
- fase periódica (componentes de marea) y amplitud

Básicamente todos los modelos disponibles comercialmente incluyen estos parámetros.

Algunos modelos disponibles comercialmente tienen la capacidad de importar datos de viento directamente de los servicios meteorológicos en un formato estándar. También podría ser posible la utilización (e interpolación) fuentes múltiples de datos de viento.

Base de datos de hidrocarburos

El modelo debe contar con una gama amplia de petróleos crudos y productos de petróleo, que varían desde la gasolina hasta el combustóleo C para barcos y debe permitir al usuario ingresar las características de hidrocarburos nuevos.

Información del derrame

El modelo deberá permitir la entrada de varios parámetros del modelo, incluyendo:

- la hora en que comienza el derrame
- la hora en que termina el derrame
- la cantidad de hidrocarburos descargados
- el volumen descargado por unidad de tiempo

Algunos modelos más sofisticados permiten al usuario describir descargas no-lineales de derrames, es decir, de 100 bbls/hr durante 12 horas y luego de 10 bbls/hr durante las próximas 24 horas.

2.3 Hidrodinámica

Los modelos de trayectoria de derrames están diseñados para calcular lo que pasará en el mundo real. El modelado de un hidrocarburo complejo (que cambia constantemente) en un ambiente abierto, tridimensional, resulta ser un proceso extremadamente complicado que el software intenta imitar mediante el uso de ecuaciones matemáticas, las cuales invariablemente incluyen una cantidad de supuestos. Esto explica el porqué se obtienen diferentes resultados a partir de diferentes modelos y porqué ciertos modelos funcionan mejor en ciertas circunstancias.

Cuando se escoge un modelo, en lo posible se debe considerar el historial del modelo en condiciones similares a las del usuario (ambientes costeros, tipos de hidrocarburos). Los modelos que incluyen grandes cantidades de variables complejas generalmente son más propensos a los errores. Los modelos más sencillos y fáciles de usar a menudo resultan ser igualmente precisos, especialmente cuando existe alta incertidumbre respecto de algunas de las variables más importantes (a saber, la velocidad y la dirección del viento).

2.4 Modalidades de modelado

La mayoría de los programas tienen la capacidad de elaborar modelos *deterministas*, (donde la trayectoria se basa en un determinado acontecimiento de derrame), y modelos *estocásticos*, (que utilizan datos de viento históricos recopilados durante años, conjuntamente con un modelo hidrodinámico), a fin de formular las probabilidades de trayectorias de derrames durante determinados períodos.

Los modelos *deterministas* (véase la sección 4.1 para mayores detalles) típicamente se utilizan para pronosticar la trayectoria de un derrame real. Estos modelos individuales por lo general también equivalen al primer paso en otros modelos más complejos.

Los modelos *estocásticos* (véase la sección 4.2 para mayores detalles) permiten al usuario calcular la probabilidad de trayectorias que un posible derrame podría seguir. Por ejemplo, un modelo estocástico podría pronosticar que si un derrame ocurriera en una fuente potencial de derrame, por ejemplo en una plataforma durante el mes de marzo, habría un 60% de probabilidad de impacto en el contorno playero adyacente, un 20% de probabilidad de que los hidrocarburos se alejen del contorno playero y un 10% de probabilidad de que sean transportados en dirección norte o sur (véase la figura 2.1).

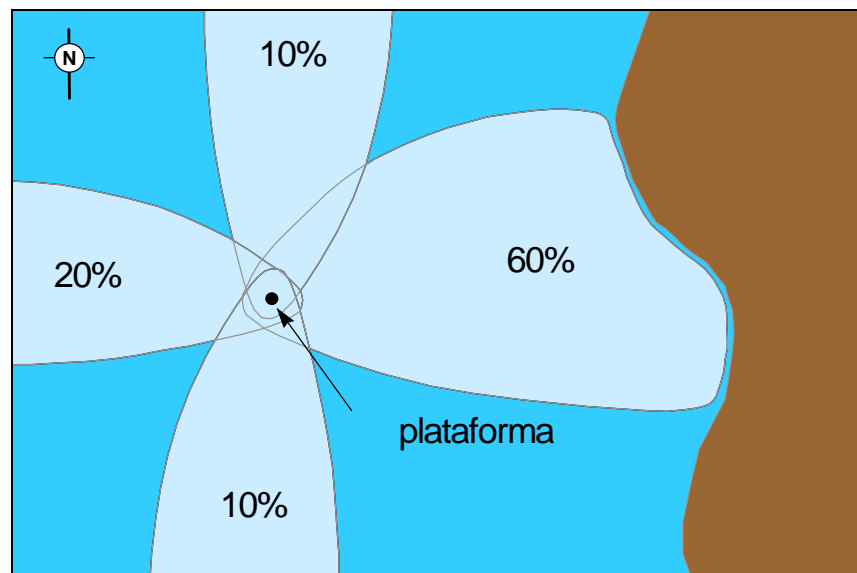


Figura 2.1 Ejemplo de la salida de un modelo estocástico

Los modelos *receptores* (véase la sección 4.3 para mayores detalles) utilizan las mismas técnicas básicas que se utilizan en los modelos *estocásticos* para retrocalcular la trayectoria probable de derrames a partir de fuentes desconocidas.

2.5 Destino y comportamiento de los hidrocarburos

Hay varios procesos que deben ser modelados, entre éstos, el esparcimiento, la evaporación, la dispersión, la oxidación, la emulsificación y el hundimiento.

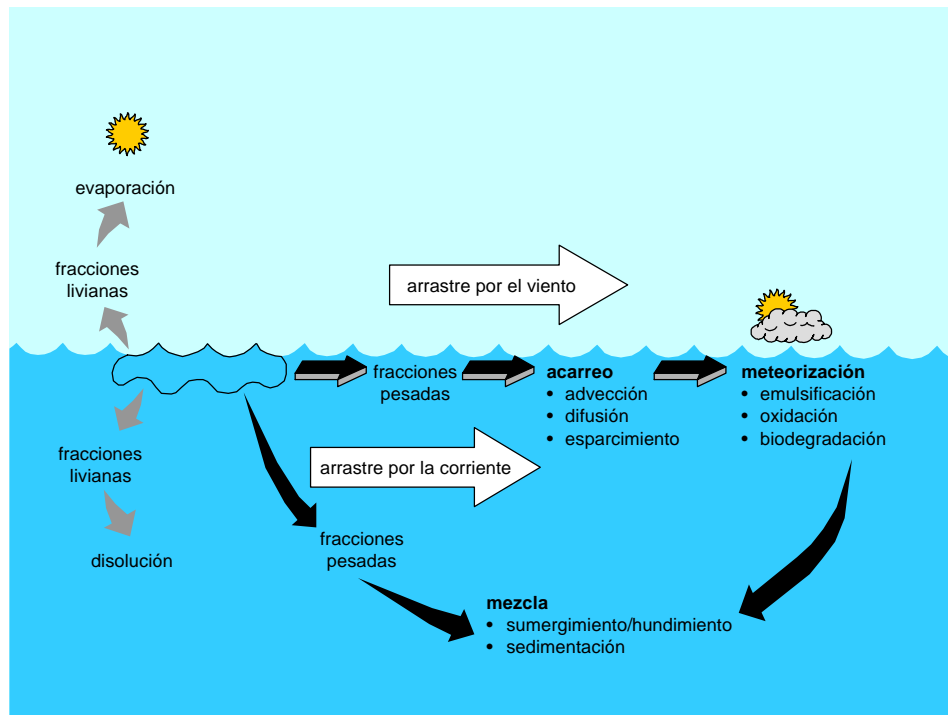


Figura 2.2 Procesos que afectan el hidrocarburo derramado

Por lo general, la mayoría de los programas son bidimensionales, aunque cierta consideración puede darse al hundimiento y la refluencia de las gotitas (partículas) del derrame. Algunos modelos muy sofisticados (y costosos) son realmente tridimensionales, pero probablemente no sean necesarios en la mayoría de las aplicaciones de modelado de derrames de hidrocarburos. Asimismo, los datos complejos que se requieren para simulaciones tridimensionales probablemente no se encuentran disponibles durante un derrame. Algunos modelos también tienen la capacidad de calcular y de presentar las concentraciones de hidrocarburos debajo de la superficie del agua. Esta capacidad puede ser de interés en áreas con sensibilidades submarinas tales como el coral.

2.6 Parámetros de modelos adicionales

Algunos programas ofrecen capacidades adicionales, tales como la desviación y la contención de las manchas de hidrocarburos utilizando barreras para derrames de hidrocarburos. Algunos modelos más sofisticados incluyen algoritmos de falla para la altura de las olas (esparcimiento por salpicadura) y velocidad actual (corriente subálvea del hidrocarburo). Algunos modelos son capaces de predecir los efectos de la dispersión química.

Los modelos deben permitir la importación de imágenes de satélite, las boyas de rastreo de derrames o bien la representación en pantalla de observaciones, es decir desde un avión, para poder actualizar el modelo mediante estimaciones de la ubicación, el espesor y el volumen del derrame.

2.7 Salidas de modelos

Las típicas salidas de modelos varían desde la representación en blanco y negro de un modelo simple bidimensional hasta un mapa de múltiples colores, codificado para identificar las concentraciones de los hidrocarburos o el tiempo que éstos tienen. Se pueden utilizar los equilibrios de la masa para mostrar la meteorización y el destino de los hidrocarburos derramados (véase el siguiente ejemplo).

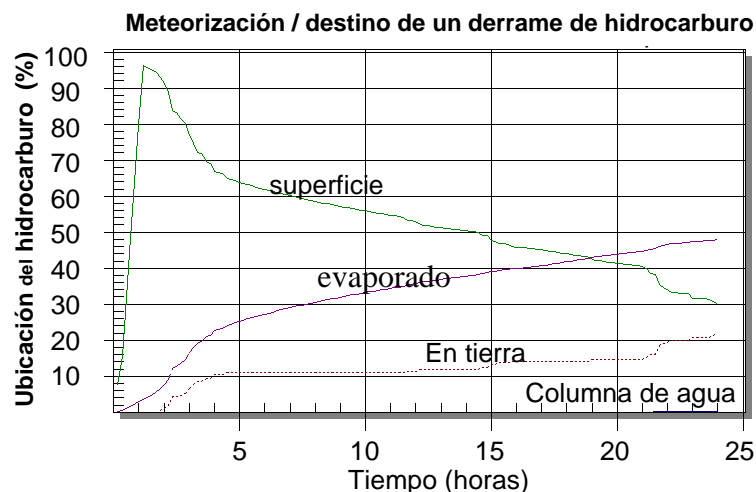


Figura 2.3 Ejemplo de un gráfico de destino de hidrocarburos

Algunos programas ofrecen salidas adicionales de modelo tales como la presentación de corrientes modeladas (calculadas) y la habilidad de determinar cuáles recursos ambientales son afectados por los hidrocarburos (véase la sección 2.8).

2.8 Elaboración de mapas de sensibilidad (GIS)

No importa si un modelo se utiliza para responder a una emergencia o para planificar en caso de un derrame, resulta conveniente que el sistema provea una capacidad integrada para la elaboración de mapas de sensibilidad o al menos los medios para sobreponer la información de sensibilidad sobre las trayectorias de derrames. Idealmente las siguientes capacidades deben estar disponibles:

<i>Tipos de mapas</i>	La presentación de mapas vectoriales o mapas por trama, lo cual permitiría el uso de mapas de referencia tanto digitalizados como escaneados.
<i>Almacenamiento en capas</i>	La información debe ser almacenada en capas para objetos de puntos, líneas y polígonos.
<i>Importación/exportación</i>	El sistema debe permitir la importación y exportación de datos de puntos, líneas y polígonos (con datos de atributos) hacia y desde formatos de archivos estándar de ArcInfo y ArcView (tales como Mif/Mid).
<i>Base de datos</i>	La información de atributos debe estar almacenada en una base de datos con un formato de registro estándar a fin de asegurar la compatibilidad con otros programas. El sistema también debe proveer los medios de importar registros de base de datos externos con campos de longitud y latitud.
<i>Conjuntos de selección</i>	El sistema también debe permitir la selección de objetos de puntos presentados por área (rectángulos, círculos o polígonos) o por la selección de campos de atributos.
<i>Recursos afectados</i>	Después de que hayan sido calculadas las trayectorias de los derrames, el modelo debe identificar los recursos que se encuentran dentro de la trayectoria del derrame.

2.8.1 Integración de sistemas de modelado y de elaboración de mapas

Idealmente, los sistemas de modelado y de elaboración de mapas deben funcionar en forma integrada dentro de un mismo programa. Por otra parte, el hecho de tener dos sistemas que funcionan en el mismo entorno (WINDOWS) minimiza el problema de intercambiar datos.

El sistema también debe permitir al usuario ingresar polígonos que describen las ubicaciones observadas y actuales de derrames. El modelo debe contar con la capacidad de incorporar estos datos y de continuar la trayectoria en base a los datos observados (polígonos).

El GIS debe apoyar un método para representar las ubicaciones de barreras desplegadas de contención y de desviación de derrames. Idealmente el modelo debe ser capaz de calcular la efectividad de las barreras en base a las corrientes modeladas y a la altura de las olas cuando son comparadas con los valores de fallas ingresados por el usuario.

2.9 Modelos disponibles comercialmente

En la tabla 2.1 a continuación se detalla cada uno de los modelos de trayectoria disponibles comercialmente junto con una indicación de sus capacidades de acuerdo a una serie de categorías distintas.

En la medida de nuestras posibilidades, los programas fueron observados o probados y se les asignaron valores. Sin embargo se dispone de muy poca información de primera mano acerca de algunos de los modelos y, en algunos casos, los valores obtenidos se basaron solamente en la información provista por los programadores/vendedores de los programas.

Dentro de cada categoría, los criterios particulares son codificados para indicar la importancia; a saber, los íconos redondos indican elementos imprescindibles, los íconos cuadrados representan elementos importantes y los íconos triangulares representan elementos útiles pero que probablemente no son necesarios. Estos se proveen *solamente como guías* y se reconoce que los requisitos particulares varían enormemente según el usuario y la aplicación específica que el mismo le quiera dar.

Applied Sciences Associates informa que sus modelos han sido utilizados o se utilizan actualmente por PDVSA , PEMEX, Bridas, BP Trinidad, ANCAP Uruguay, the Clean Caribbean Cooperative y varios miembros de la CCC incluyendo a Esso, Chevron y Amoco.

El modelo ADIOS disponible a través de NOAA, provee solamente algoritmos de meteorización, habiéndose diseñado como una herramienta para tomar decisiones respecto a la dispersión química y la quema in situ. No se realiza ningún cálculo del transporte del hidrocarburo.

Environmental Software Consultants informa que WinOil, que está basado en el software WOSM de Applied Sciences Associates, debiera estar disponible económicamente en el año 1998.

3.0 Requisitos de datos

Se requieren varios tipos de datos para ejecutar los modelos de trayectoria de hidrocarburos y según el tipo de modelado a realizarse, éstos podrían incluir:

- costa
- profundidad del agua (batimetría)
- corrientes (de marea, estacionales e influencia de agua dulce)
- pronósticos de viento (modelado determinista)
- antecedentes de viento (modelado estocástico)
- temperatura del aire
- temperatura del agua
- tipo y características físicas y químicas de hidrocarburos
- índole del derrame (descarga instantánea o bien continua)
- estado del mar (calmo, mar abierto o aguas protegidas)
- información sobre los tipos de contornos playeros y costas

Los modelos deberán calcular tanto el destino (¿qué le sucederá a las características físicas/químicas del hidrocarburo?) como la trayectoria del derrame. Estos cálculos dependen de las propiedades de los hidrocarburos, es decir, de la viscosidad, el punto de fluidez y punto de inflamación al igual que de las condiciones ambientales. Por ejemplo, un derrame de petróleo crudo liviano fresco en un día caluroso se evaporaría rápidamente, mientras que un derrame de combustóleo C para barcos pesado y viscoso en agua fría persistiría por largo período de tiempo e incluso puede hundirse con el tiempo.

El modelo también debe considerar los efectos múltiples de los componentes de marea (es decir, M2, K1), los patrones estacionales (véase la figura 3.1) y posiblemente también la influencia de agua dulce, al igual que las corrientes accionadas por el viento. Los modelos de algunas zonas hidrodinámicamente más complejas pueden requerir ocho componentes de marea o más, aunque probablemente esto no sea necesario en la mayoría de las aplicaciones.

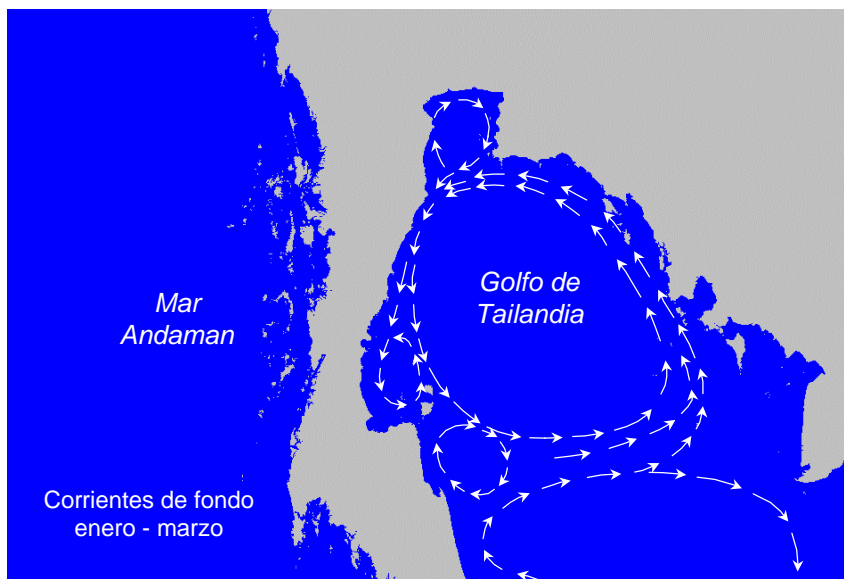


Figura 3.1 Corrientes de fondo en el Golfo de Tailandia

Algunos modelos apoyan datos de corriente en un formato de serie de tiempo. Esta capacidad permite importar datos desde otros modelos hidrodinámicos, medidores de corrientes y a partir del radar de la superficie del mar.

Cabe mencionar que mientras varios modelos disponibles permiten que el usuario desarrolle patrones actuales simples estacionales y de corriente, la preparación, montaje y ajuste y la calibración de un modelo hidrodinámico es una tarea extremadamente complicada y solamente la deben intentar profesionales entrenados en modelado.

4.0 Tipo de modelos

Según se mencionara anteriormente, existen tres diferentes tipos de modelos:

- el modelo determinista (¿hacia dónde se dirige un derrame determinado?)
- el modelo estocástico (¿cuáles son las probabilidades de que los hidrocarburos lleguen a tierra si ocurre un derrame?)
- el modelo receptor (¿de dónde provinieron los hidrocarburos?)

Independientemente del tipo de modelo, es importante que el modelador desarrolle un enfoque simple y lógico que pueda ser aplicado a diferentes modelos.

4.1 Modelado determinista

Los modelos deterministas (véase la figura 4.1) son el tipo de modelo más sencillo, porque se conoce la ubicación de la fuente, el volumen y el tipo de hidrocarburo. Normalmente también se conocen las condiciones ambientales recientes, tales como el viento y la temperatura y la hidrodinámica (las corrientes) de la zona. Los únicos factores desconocidos resultan ser ¿qué le sucederá a los hidrocarburos?, es decir, ¿cómo se meteorizarán? y ¿hacia dónde se dirigirán? Estos modelos se utilizan a menudo en base a tiempo real para responder al derrame, pero también son útiles para fines de planificación.

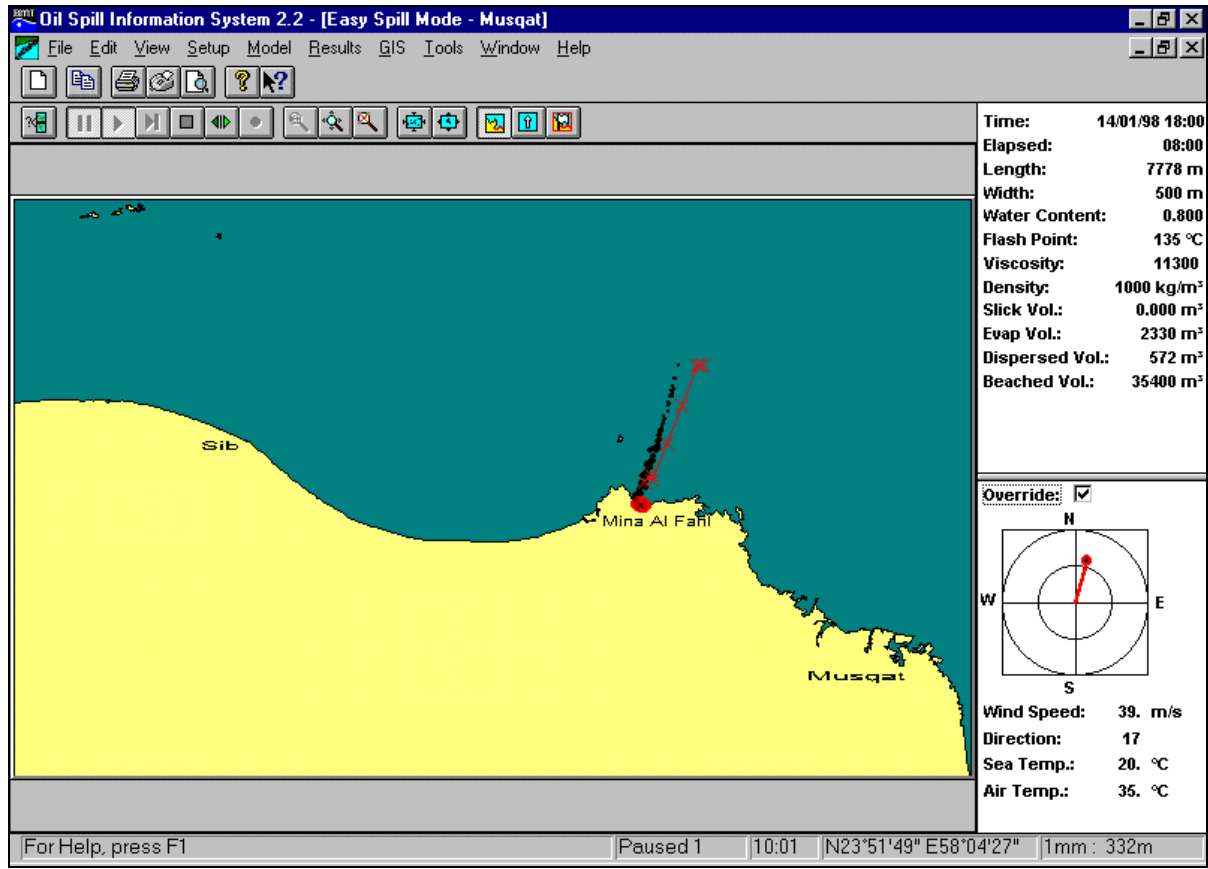


Figura 4.1 Ejemplo de un modelo determinista en el Golfo de Omán

4.2 Modelado estocástico

Los modelos estocásticos están orientados más a la planificación. Tienen la capacidad de calcular el límite de las distancias y direcciones en que los derrames podrían viajar desde una ubicación determinada, en base a la información histórica de la velocidad y dirección del viento. Estos modelos ejecutan múltiples (y a veces cientos) de escenarios utilizando diferentes datos de viento históricos. Como resultado, se requiere una cantidad considerable de datos de viento históricos (hasta 10 años). La salida de un modelo estocástico puede ser utilizada para identificar las zonas donde hay mayor probabilidad de impacto de los hidrocarburos (véase la figura 4.2).

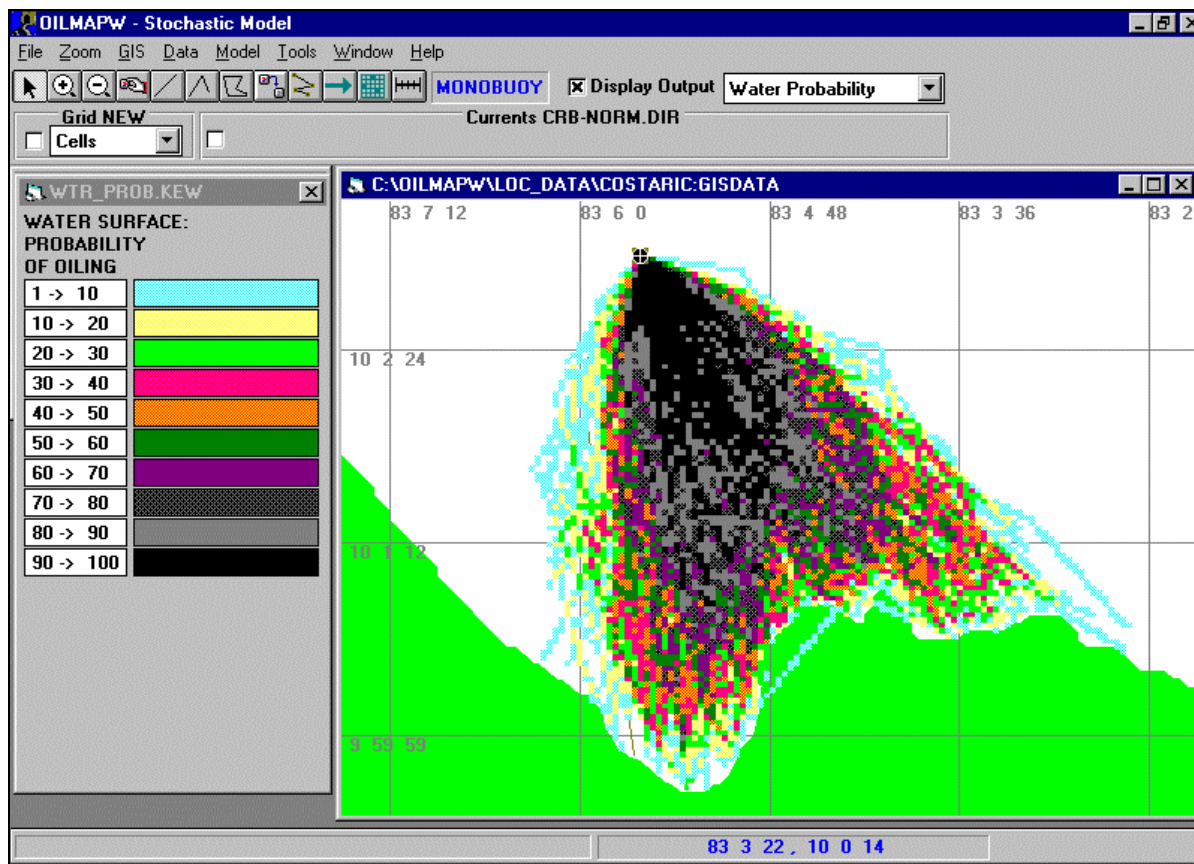


Figura 4.2 Ejemplo de un modelo estocástico, Puerto Limón, Costa Rica

4.3 Modelado receptor

Estos modelos son similares a los modelos estocásticos salvo que el modelo se ejecuta en sentido inverso y se puede utilizar en conjunto con los métodos de análisis químico, es decir, cromatografía de gas, análisis de patrones, HPLC, etc. para identificar las posibles fuentes de derrames si éstas se desconocen.

5.0 Ejecución de modelos

El enfoque específico de ejecución de los modelos depende del software que se utiliza y del tipo de modelo que se desarrolla. Sin embargo, se puede seguir el siguiente proceso de siete pasos generalmente cuando se prepara, monta y ajusta un modelo.

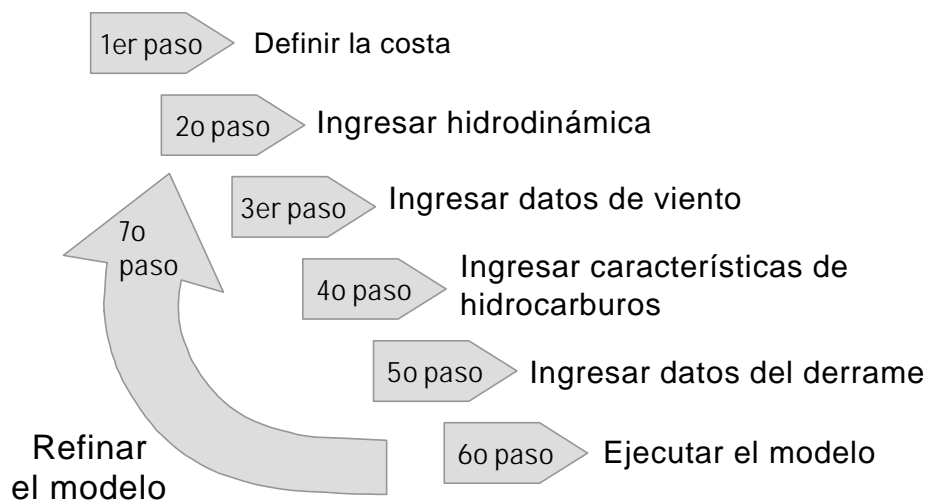


Figura 5.1 Proceso de modelado de siete pasos

5.1 1er Paso - Definir el contorno playero

El primer paso del proceso de modelado consiste en definir el contorno playero de la zona. Los archivos de datos el contorno playero normalmente se pueden comprar de un vendedor de software o digitar desde cartas. Existen varios CD-ROMs disponibles que contienen archivos digitales de los contornos playeros mundiales a una escala de 1:100,000. Esto debiera ser suficiente para la mayoría de las aplicaciones. Si se requiere mayor detalle, entonces el contorno playero tendrá que ser escaneado o digitalizado manualmente.

La mayoría de modelos requieren que el usuario defina tanto las zonas de tierra como las de agua. Generalmente la tierra se puede diferenciar

fácilmente del agua en la pantalla de la computadora, ya que normalmente está *pintada* de un color diferente. Sin embargo la computadora requiere una cuadrícula con dos tipos de celdas, una para la tierra y otra para el agua. Véase la figura 5.2.

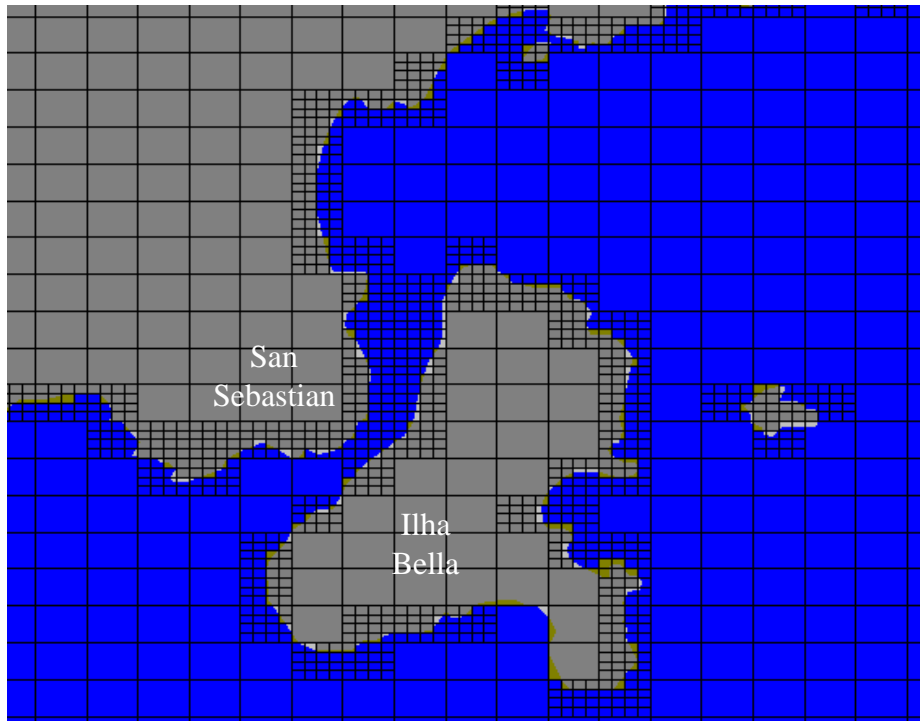


Figura 5.2 Ejemplo de una cuadrícula costera, San Sebastián, Brasil

Algunos programas permiten crear celdas subdivididas en la cuadrícula para una definición adicional de la costa (según se demuestra anteriormente).

Algunos programas más sofisticados también permiten al usuario definir los tipos del contorno playero, lo cual cumple dos propósitos. En primer lugar, provee un método rápido y fácil de representar gráficamente diferentes tipos de riberas, es decir con diferentes colores. El modelo también puede considerar que el tipo de ribera determina la cantidad de tiempo que el hidrocarburo podría estar varado en la misma. Por ejemplo, el hidrocarburo normalmente no quedaría varado en un promontorio rocoso expuesto por mucho tiempo mientras que el hidrocarburo podría persistir en un pantano o en una marisma por varios meses o más.

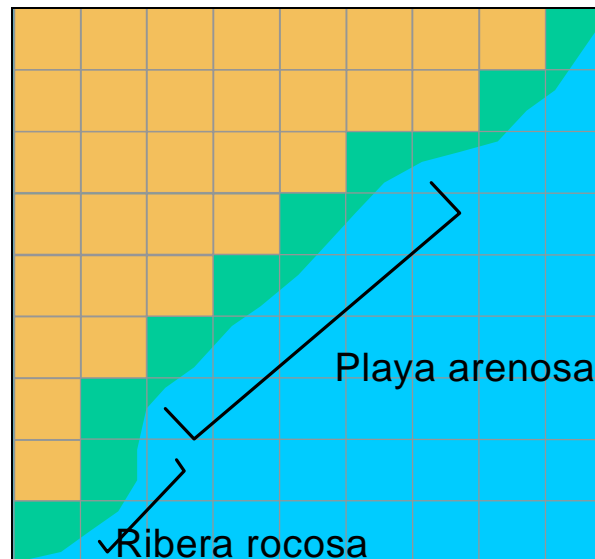


Figura 5.3 Definición de tipos de contorno playero

5.2 2o Paso - Desarrollar un campo (hidrodinámico) de corrientes

El desarrollo de un campo de corrientes es el paso más importante del proceso de modelado ya que la hidrodinámica constituye el componente básico sobre el cual se basa el modelo. Se aconseja que el modelo hidrodinámico sea elaborado por expertos en modelado (los proveedores de software de trayectorias cuentan con esta capacidad). Algunos modelos le proveen al usuario herramientas simples para *pintar* corrientes a fin de que éstos desarrollen sus propios modelos y con un poco de práctica, los usuarios a veces pueden rápidamente desarrollar modelos sencillos que describen fielmente patrones reales de corrientes. El uso de éstos está limitado a casos (típicamente costa afuera) donde las corrientes son accionadas por un componente de marea principal y donde posiblemente no se disponga de tiempo para elaborar un modelo sofisticado.

Nota El desarrollo de modelos matemáticos complejos está fuera del alcance de esta Guía. Los que tengan interés en profundizar en los métodos de modelado deben consultar el anexo B – Bibliografía/ recursos de modelado adicionales.

Todo modelo de hidrodinámica utiliza algún tipo de cuadrícula. Existen diferentes tipos de cuadrículas, a saber, rectangulares, triangulares e irregulares. Asimismo, algunos modelos calculan las corrientes en el centro de cada celda de la cuadrícula, mientras que otros calculan los valores de

corriente en la intersección de las líneas de la cuadrícula. A continuación, en la figura 5.4 se indica una cuadrícula de corrientes típica.

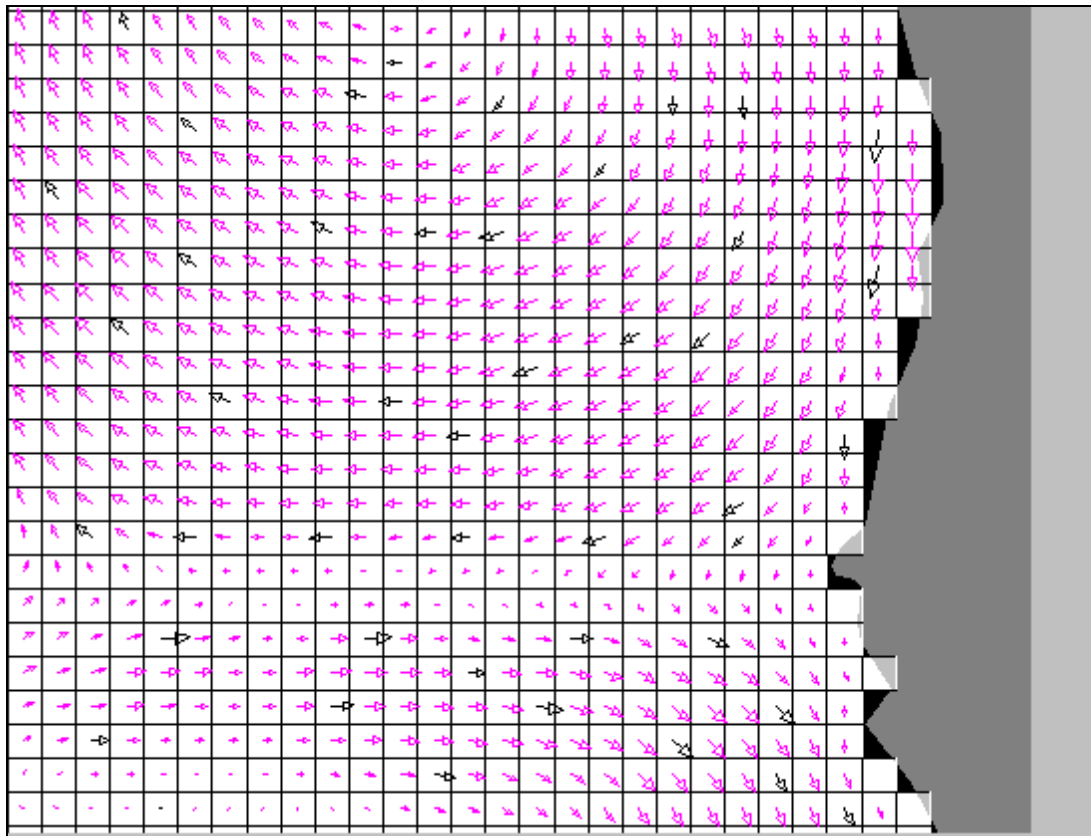


Figura 5.4 Ejemplo de una cuadrícula rectangular de corrientes, Golfo de Tarouba, Trinidad

Los modelos de hidrodinámica generalmente incluyen varios componentes de marea, es decir, M2, K1, etc. Normalmente, sólo algunos de estos componentes ejercen una influencia dominante sobre la marea, según la latitud y otros factores, tales como la batimetría. Si bien es posible incluir numerosos componentes de marea de menor incidencia, puede que no sea necesario incluirlos, especialmente en vista de la baja tolerancia (alta incertidumbre) de las variables más importantes por lo que el hecho de incluirlos probablemente solo complicaría el modelo sin mejorar su precisión.

Algunos programas permiten al usuario *pintar* en pantalla los patrones de corrientes tanto de marea como de fondo. Las mareas crecientes para varios componentes de marea son ingresadas por el usuario y el software automáticamente calcula los valores para el resto del ciclo de la marea (el modelo supone que las corrientes son rectilíneas y con una magnitud igual en ambas direcciones). Otras características, inclusive los algoritmos de esparcimiento, suavización y medición a escala, son provistas para facilitar la representación de corrientes a través del campo.

Nota Tales programas simplemente proveen estimaciones sin pretender ser matemáticamente perfectos. Es posible desarrollar patrones de corrientes inherentemente imposibles, es decir que no aseguran el cumplimiento de las leyes de conservación de masa o de la conservación de la cantidad de movimiento. Asimismo, estos programa de *pintura* no cuentan con la capacidad de representar patrones de corrientes complejos, donde hay fenómenos presente tales como los remolinos de contracorrientes u otras anomalías. En estos casos, se deben realizar estudios hidrodinámicos por parte de expertos los cuales son posteriormente incorporados al modelo. Los programas con capacidades para *pintar corrientes* son especialmente útiles en casos donde un derrame ha ocurrido en una región donde no existe un modelo hidrodinámico y se necesita una estimación rápida y aproximada de las trayectorias de la mancha de hidrocarburo.

5.3 3er Paso- Ingresar datos de viento

El viento puede desempeñar un papel importante en el modelo, tanto en términos de corrientes accionadas por el viento como de la energía de olas, lo cual puede aumentar la dispersión de los hidrocarburos en la columna de agua. La incorporación de datos de viento podría incluir el ingreso de datos en tablas, la importación directa de datos en tiempo real desde medidores o simplemente la selección de puntos en una carta de vientos reinantes (véase la figura 5.5).

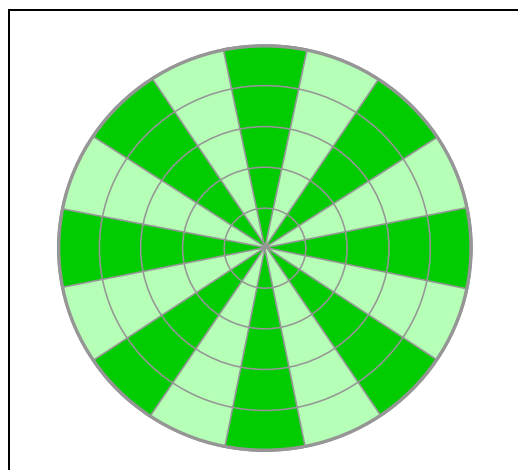


Figura 5.5 Carta de vientos

5.4 4o Paso – Ingresar características del hidrocarburo

El tipo de hidrocarburo (y las características de éste) también podría desempeñar un papel clave en el modelo. Por ejemplo, la gasolina o los petróleo crudos livianos se evaporan mucho más rápido que el diesel o los crudos más pesados. La viscosidad del hidrocarburo podría cambiar significativamente durante un período de derrame y puede ser calculada. La mayoría de los modelos (sino todos) vienen con varios tipos de hidrocarburos precargados, permitiendo así que el usuario escoja entre éstos. Algunos programas también permiten al usuario definir nuevos tipos de hidrocarburos definiendo de las propiedades de éstos, incluyendo entre otras:

- densidad
- viscosidad
- tensión interfacial
- máximo contenido de agua
- punto de ebullición inicial
- composición química
 - % de saturados
 - % de aromáticos
- espesor mínimo de la mancha
- toxicidad (si se ha de modelar el impacto sobre los recursos biológicos)

5.5 5o Paso – Ingresar los datos del derrame

Finalmente, antes de ejecutar el modelo, el usuario deberá definir varias variables propias del derrame, incluyendo:

- volumen
- ubicación
- hora de inicio (descarga)
- hora de conclusión (descarga)
- hora de inicio (modelo)
- hora de conclusión (modelo)
- tipo de descarga, es decir, si es instantánea (por lote) o continua
- temperatura del agua/aire

5.6 6o Paso - Ejecutar el modelo

Una vez que el modelo haya sido elaborado, es importante que el usuario aplique el modelo en etapas. Por ejemplo, si un modelo contempla la inclusión de corrientes de marea (es decir, M2), de fondo y accionadas por el viento, el usuario debe ejecutar el modelo con cada componente de corriente por separado, a fin de asegurar que la salida sea apropiada. Al igual que cuando se utiliza una calculadora, el modelador debe tener una idea del resultado antes de comenzar el modelo. Una vez que se haya determinado que todo componente sea razonable, éstos pueden ser combinados.

Antes de ejecutar el modelo, será necesario establecer varios parámetros del modelo los cuales serán considerados por el software durante los cálculos. Estos incluyen:

- intervalo de tiempo del modelo
- intervalo de salida del modelo
- cantidad de partículas del hidrocarburo (la mayoría de los modelos dividen la mancha en pequeños fragmentos de hidrocarburo)
- factor viento, es decir 3% o 3,5%
- coeficiente de esparcimiento
- difusión horizontal
- espesor mínimo de la capa de hidrocarburo

5.7 7o Paso - Refinar el modelo

Salvo raras excepciones, los modelos no representan las trayectorias deseadas de manera perfecta al primer intento, por lo que el modelador debe refinar el modelo utilizando cualquier información disponible, incluyendo:

- datos de satélite
- datos observados
- fotografías aéreas
- información anecdótica obtenida de los pescadores u otras personas que tengan conocimiento de los patrones de corrientes locales
- correntómetros

6.0 Salidas de modelos

Por lo general hay tres tipos de salida de modelos de trayectoria de derrames. El más común es en un mapa que indica la trayectoria del derrame (véase la figura 6.1).

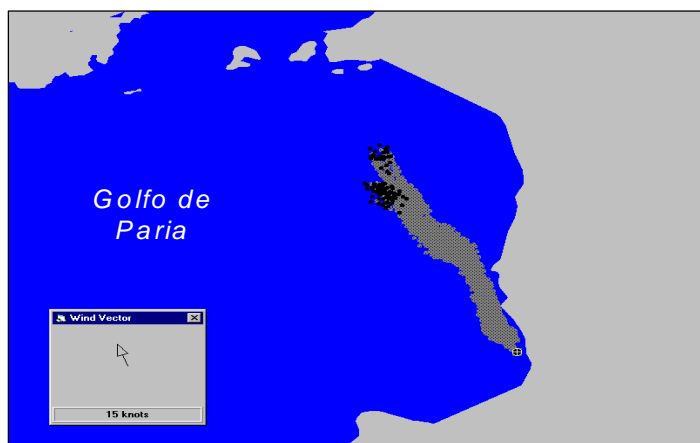


Figura 6.1 Ejemplo de salida, Point a Pierre, Golfo de Paria, Trinidad

Otras salidas de modelos incluyen archivos de texto (véase la figura 6.2) que generalmente son larguísimos y que indican la cantidad de hidrocarburos en la superficie (en el ejemplo los valores constan en barriles), en la columna de agua, varados en la ribera y evaporados, para cada intervalo de tiempo en el modelo.

Tiempo	Superficie	Columna de agua	En la costa	Evaporado
0.0	1000	0	0	0
1.0	9373.047	0	0	627.0743
2.0	9079159	0	0	920.8975
3.0	8882.324	0	0	1118.498
4.0	8731.934	0	0	1268.583
5.0	7345.771	0	828.0655	1826.445
6.0	6659.486	0	1224.172	2116.476
7.0	6334.435	0	1394.476	2271.224
8.0	5110.62	0	2182.099	2707.425
9.0	5062.425	0	2184.404	2753.385
10.0	5019.46	0	2185.936	2794.751
11.0	4978.103	0	2188.764	2833.211

Figura 6.2 Ejemplo de salida de archivo de texto

Un gráfico del destino del hidrocarburo (véase la figura 2.2) puede representar la misma información en un formato gráfico que resulta mucho más fácil de interpretar y de determinar los patrones.

Algunos programas con función de elaboración de mapas de sensibilidad también incluyen un informe de los recursos afectados (véase la figura 6.3), que indica los recursos sensibles que se encuentran en la trayectoria proyectada del derrame.

Informe de recursos afectados	
Capa	: SALINA
Tipo de objeto	: Polígono
Nombre	: SALINA
Descripción	: SALINA
Capa	: DUNA
Tipo de objeto	: Polígono
Nombre	: DUNA
Descripción	: DUNA
Capa	: FOCAS y/o CETACEOS
Tipo de objeto	: Punto
Texto1	: Sitio de focas y cetáceos
Texto2	: Costa de North Lincolnshire
Fuente	: Nature Conservancy Council
Capa	: AVES ZANCUDAS y SILVESTRES
Tipo de objeto	: Punto
Texto1	: Sitio de aves zancudas y silvestres
Texto2	: Costa de North Lincolnshire
Texto3	: Aves presentes durante los 12 meses de año
Fuente	: Nature Conservancy Council
Capa	: OTRAS AVES MARINAS
Tipo de objeto	: Punto
Texto1	: Sitio de aves marinas
Texto2	: Costa de North Lincolnshire
Texto3	: Aves presentes desde abril hasta fines de julio
Fuente	: Nature Conservancy Council
Capa	: ZONAS DE PESCA REGIONALES
Tipo de objeto	: Polígono
Nombre	: North Lincolnshire
Texto1	: Flota de la costa de North Lincolnshire
Capa	: ZONAS DE PESCA REGIONALES
Tipo de objeto	: Polígono
Descripción	: Zona de pesca de embarcaciones fluviales
Capa	: SITIOS DE CONCESION COSTA AFUERA
Tipo de objeto	: Polígono
Texto1	: Sitio propuesto de la plataforma continental
Texto2	: Otorgamiento de concesión de permiso costa afuera

Figure 6.3 Ejemplo de Informe de recursos afectados

7.0 Requisitos de hardware

Los requisitos de hardware, sean en base a IBM o Macintosh, dependerán del tipo y la naturaleza del software que se utilice. Cabe mencionar que los modelos de trayectoria con mayor disponibilidad comercial son IBM (en base a Windows)

Computadoras IBM

Por lo general, son esenciales las máquinas 486 o Pentium con un mínimo de 16 Mbytes de RAM. En la mayoría de los casos, también se necesitan monitores a color de alta resolución al igual que impresoras a color.

Computadoras Macintosh

La misma estrategia se aplica a los usuarios de Macintosh con un requerimiento mínimo de una máquina basada en 040 para ejecutar modelos simples y PowerMacs 601 o 604 con al menos 16 Mbytes de RAM para ejecutar los modelos más complejos. Tal como en el caso de las computadoras IBM, se necesitan monitores a color de alta resolución al igual que impresoras a color.

8.0 Conclusiones y recomendaciones

Los modelos de trayectoria de derrames de hidrocarburos, cuando se aplican de manera efectiva, pueden ser una ayuda invaluable para los planificadores de contingencias, los evaluadores de riesgos, los capacitadores y los que responden a las emergencias.

Existe una cantidad de modelos de derrames de hidrocarburos disponibles comercialmente que han sido diseñados y probados lo suficiente como para proveer a las empresas miembro de ARPEL la capacidad de predecir con confianza las trayectorias y las características químicas de los derrames de hidrocarburos que podrían amenazar los contornos playeros u otros recursos importantes. Son de preferencia los modelos que también permiten la creación de mapas de sensibilidad de derrames de hidrocarburos o que proveen vínculos con los GISs.

Asimismo hay una cantidad de programas disponibles localmente (a menudo de una universidad cercana) que, si bien son técnicamente buenos, generalmente ofrecen poco en cuanto a características para el usuario o gráficos. Estos modelos probablemente son bastante menos costosos de comprar, sin embargo hay costos ocultos relacionados con la falta de apoyo técnico, actualizaciones, facilidad de uso y documentación que generalmente hacen que estos modelos sean menos atractivos para la industria.

Los gastos de capital para aplicar un programa comercial de modelado de derrames de hidrocarburos varían entre los 15.000 US\$ a 50.000 US\$, según el software seleccionado y la complejidad de las corrientes en la zona de interés. Los gastos internos de la aplicación incluirían el entrenamiento del personal (normalmente toma menos de una semana) y el tiempo que se requiere para mantener el sistema (probablemente de una a seis personas-semana por año). Los costos de hardware debieran ser mínimos debido a que los programas funcionarían en base a computadoras existentes.

Estos costos de aplicación son relativamente pequeños comparados con los ahorros potenciales que resultan si el software es aplicado para cualquiera de una serie de posibles situaciones tales como:

1. el posicionamiento de un sistema de amarre de punto único en una ubicación que tenga la menor probabilidad de crear un impacto al medio ambiente del contorno playero adyacente.
2. la decisión de aplicar dispersantes químicos o no a un derrame (a un costo de US\$ 500.000 por día) que podría ser empujado costa afuera por la corriente o podría dispersarse de manera natural si se dejara sin tratar.

3. la ubicación de equipos de respuesta a derrames de hidrocarburos
4. el desarrollo de estrategias de respuesta a derrames de hidrocarburos
5. el entrenamiento de grupos de respuesta a emergencias
6. la creación de mapas de sensibilidad de derrames de hidrocarburos o un GIS asociado.

La obtención y el desarrollo de un modelo de derrame de hidrocarburos debe contemplar la participación de un grupo de individuos interesados dentro de la organización para asegurar que todas las necesidades de los integrantes del grupo sean satisfechas cuando el proyecto haya concluido.

Por último, cuando se considera un modelo de derrame de hidrocarburos, se debe consultar a otras empresas miembro de ARPEL quienes tienen experiencia con muchos de estos modelos y con las personas que los desarrollaron.

Anexo A Vendedores de sistemas de modelado

Compañía/Dirección	Producto(s)	Información de contacto
Applied Sciences Associates, Inc. 70 Dean Knaus Dr. Narragansett, RI EEUU 02882-1143	Oilmap for Windows	Tel (401) 789-6224 Fax (401) 789-1932 Correo electrónico: ela@appsci.com web site: www.appsci.com
BMT Marine Information Systems Limited Grove House, Meridian Cross 7 Ocean Way, Ocean Village Southampton, Hampshire RU SO14 3TJ	OSIS SOCRATES	Tel 01 (703) 232222 Fax 01 (703) 232891 Correo electrónico: web site: www.bmtmis.com
Danish Hydraulic Institute Agern Alle 5 Horsgølm DK-2970 Dinamarca	SAW	Tel (45) 45-769-555 Fax (45) 45-762-567 Correo electrónico: web site:
Environmental Software Consultants 65 Ferris Rd. Toronto, ON Canadá	WINOIL	Tel: (416) 285-9305 Fax: (416) 285-9305 Correo electrónico: dmcgesc@aol.com web site:
IKU	Oil Weathering Model	Tel: Fax: Correo electrónico: web site:
METEO - France		Tel: Fax: Correo electrónico: web site:
NOAA HAZMAT Division 7600 Sand Point Way NE Seattle, WA 98115 EEUU	ADIOS	Tel: (206) 526-6317 Fax (206) 526-6329 Correo electrónico: web site:
OCEANOR Pir-Senteret 7005 Trondheim Noruega	OCEANOR	Tel (477) 52-5050 Fax (477) 52-5033 Correo electrónico: web site:
Seaconsult Marine Research Inc. 8805 Osler St. Vancouver, BC V6P 4G1 Canadá	SPILLSIM	Tel (604) 266-9135 Fax (604) 266-8855 Correo electrónico: web site:

Anexo B Bibliografía/recursos de modelado adicionales

Publicaciones

Bennett, A.F., "*Inverse Methods in Oceanography*". Cambridge Press, UK, 1993.

Copeland, G.J.M., "*An Inverse Method of Kinematic Flow Modeling Based on Measured Currents*". Proceeding of Civil Engineering, Water, Maritime, and Energy, Vol. 106, pp. 249-258, 1994.

Muin M. and Spaulding, M.L., "*Three Dimensional Boundary Fitted Circulation Model*". Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 123, No. 1, pp. 2-12, 1997.

NOAA, "*Digital Distribution Standard for NOAA Trajectory Analysis*". Prepared by Hazardous Materials Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration and Florida Marine Research Institute and Florida Department of Environmental Protection, HAZMAT, 43p, 1996.

"*Spill Trajectory Analysis – Questions and Answers*", NOAA HAZMAT Report 96-6, April, 1996.

Recursos de modelado

Materials Management Service
EEUU
Contacto Sr. Walter Johnson
(703) 787-1642

National Oceanographic & Atmospheric Administration (NOAA)
EEUU
Contacto: División Hazmat
(206) 526-6400

US Geological Survey
EEUU
Contacto: Dr. Roy Walters
(303) 236-5024

Anexo C Organismos cartográficos de México, Centroamérica, Sudamérica y el Caribe

País	Organismo
ARGENTINA	Instituto Geográfico Militar Avenida Cabildo 381 1246 Buenos Aires Teléfono 771-3031
BAHAMAS	Director of Lands and Surveys P.O. Box N-592 Nassau
BELICE	Belize Meteorologist/Hydrologist Ladyville Teléfono 501-025-2012 Telex 251 BTL BUREAU DZ
BOLIVIA	Servicio Geológico de Bolivia Federico Zuazo, Esq. Reyes Ortiz Casilla de Correos 2729 La Paz Teléfono 326278
BRASIL	Instituto de Pesquisas Espaciais Caixa Postal 515 12201 Sao Jose dos Campos Sao Paulo, SP Teléfono (0123) 22-9509 Telex (123) 3530 INPE BR Directoria do Servico Geografico do Exercito SMU-QG Ex., Bloco F. 20 Pav. 70630 Brasilia, D.F. Teléfono (061) 223-8529 Telex (061) 1094

País	Organismo
BRASIL (continúa)	<p> Directoria de Geodesia e Cartografia Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Av. Franklin Roosevelt, 166 100 Andar 20021 Rio de Janeiro, RJ Teléfono (021) 220-6671/6821 Telex (021) 30939 </p> <p> Projeto RADAM CRS 509, Bloco A, Loja 1 a 5 70360 Brasilia, D.F. Teléfono (061) 244-9432 Telex (061) 2243 </p>
COLOMBIA	<p> Instituto Geográfico Militar Subdirección Cartográfica Carrera 30 No. 48-51 Bogotá Teléfono (571) 3681215 Facsimile (571) 3680991 Email codazzi.igac.gov.com </p>
COSTA RICA	<p> Servicio Geodésico Interamericano Instituto Geográfico Nacional Teléfono (506) 222-6413 </p> <p> Comisión National de Emergencias Teléfono (506) 220-2020 </p>
CUBA	<p> División Comercial TECNOTEX - GEOCUBA Calle No. 303, Miramar, Playa La Havana 11300, Cuba Teléfono 22 28 91, 237474, 234101 Facsimile 22 28 91, 332869, 331682 Email: codazzi.igac.gov.com </p>

País	Organismo
EL SALVADOR	<p>Ministry of Public Works La. Av. Sur No. 630 San Salvador Teléfono 71-6026</p> <p>Center for Geotechnical Research Avenida Peralta, final. contiguo a Talleres El Coro San Salvador Teléfono 22-9011</p> <p>National Geographic Institute “Ingeniero Pablo Arnoldo Guzman” Avenida Juan Bertis No. 79 San Salvador Teléfono 25-5060</p> <p>Weather Forecast and Hydrology Service Renewable Natural Resources Center Canton El Matazano, Soyapango San Salvador Teléfono 27-0484/27-0622</p> <p>Ministry of Agriculture Alameda Roosevelt 2823 San Salvador Teléfono 23-24434/24-2944</p> <p>General Directorate of Irrigation and Drainage Canton El Matazano, Soyapango San Salvador Teléfono 77-0490</p>
GUATEMALA	<p>Military Geographic Institute Avenida de las Américas 5-76, Zona 13 Guatemala Teléfono 363281 to 83</p>

País	Organismo
GUYANA	Lands and Surveys Department 22 Upper Hadfield Street D'urban Backlands Greater Georgetown Teléfono (02) 72582/60524-9
JAMAICA	Survey Department P. O. Box 493 231/2 Charles Street Kingston Teléfono 809-922-6630/5
MEXICO	Departamento Geográfico Militar Servicio Cartográfico Secretaria de la Defensa Nacional Lomas de Sotelo Mexico 10, D.F.
PANAMA	Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia" Apartado Postal 5267, Zona 5 Panamá Teléfono 64-0444
PARAGUAY	Military Geodetic Service Avenida Artigas y Via Ferrea Asunción Teléfono 208858 Ciudad Universitaria Km 10, San Lorenzo Institute of Basic Sciences Teléfono 501517

País	Organismo
PERU	<p>Geological Mining and Metallurgical Institute Pablo Bermudez 211 Apartado 889 Lima Telephone 316233</p> <p>National Office for Evaluation of Natural Resources Calle 17 # 355, Urb. El Palomar San Isidro, Lima Teléfono 410425</p> <p>General Bureau of Aerophotography Base Aerea "Las Palmas" Barranco, Lima Teléfono 670538 Telex 21501 PE</p> <p>Military Geographic Institute Av. Andres Aramburu 1198 Apartado 2038 Lima</p> <p>Naval Bureau of Hydrography and Navigation Calle Saenz Pena No. 590, La Punta Callao, Lima Teléfono 652995</p>
SURINAM	<p>Centraal Bureau Luchtkaartering P. O. Box 971 Dr. Sophie Redmondstraat 131 Paramaribo Teléfono 74421</p>

País	Organismo
TRINIDAD & TOBAGO	<p>Ministry of Planning and Mobilisation Lands and Surveys Div. Red House, St. Vincent St. Port-of-Spain</p> <p>Seismic Research Unit c/o University of the West Indies St. Augustine Teléfono (809) 662-4659</p>
URUGUAY	<p>Dirección de Hidrografía Ministerio de Transporte y Obras Públicas Rincón 561, Piso 2 Montevideo Teléfono 915 94 34</p> <p>Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada Capurro 980 Montevideo Teléfono 309 92 20</p>
VENEZUELA	<p>Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional Avenida Este 6, Esquina de Camejo Edificio Camejo, Piso 2, Oficina 231 Caracas Teléfono 408 1710-408 1711</p>



Misión

Es nuestra misión inducir y ejecutar las acciones que conduzcan a la formación de un ambiente más propicio para el desarrollo de la industria del petróleo y el gas natural en América Latina y el Caribe, promoviendo:

- * La expansión de las oportunidades de negocios y la mejora de las ventajas competitivas de sus asociados.
- * La generación de reglas de juego que favorezcan la competencia en el sector.
- * La explotación oportuna y eficiente de los recursos hidrocarburíferos y el suministro de sus productos y servicios; todo ello de manera compatible con los principios del desarrollo sustentable.

Para cumplir con esta misión, ARPEL trabaja en cooperación con organismos internacionales, gobiernos, entes reguladores, instituciones técnicas, universidades y organizaciones no gubernamentales.

Visión

ARPEL busca consolidarse como una organización de nivel internacional, que por sus pautas, acciones y principios ejerza un liderazgo destacado en el desarrollo de la industria del petróleo y gas natural en América Latina y el Caribe.

Objetivos

- * Fomentar la cooperación entre sus miembros.
- * Evaluar los procesos que conducen a la integración energética.
- * Participar proactivamente en el proceso de generación de leyes y normas reguladoras de la industria.
- * Propiciar acciones que amplíen los campos de actividad y las oportunidades de negocios.
- * Servir como centro de información de la actividad petrolera y gasífera.
- * Desarrollar programas de cooperación internacional.
- * Propiciar una conducta responsable para la protección del medio ambiente que contribuya a un desarrollo sustentable.
- * Cuidar la imagen pública de la industria del petróleo y el gas natural.
- * Estudiar y difundir criterios y opiniones sobre temas importantes para el sector.

Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe

Javier de Viana 2345 – CP 11200 Montevideo – URUGUAY

Teléfono: (598 2) 400 6993* Fax (598 2) 400 9207*

E-mail: arpel@arpel.org.uy

Internet web site: <http://www.arpel.org>