

INCIDENCIA DE FACTORES GEOMORFOLÓGICOS SOBRE LOS IMPACTOS AL MEDIO EN ZONAS LITORALES POR LA ACTIVIDAD PETROLÍFERA EN CUBA. II. LITORAL VARADERO - CÁRDENAS.

ORLANDO HILARIÓN ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ¹

MIGUEL ANGEL DÍAZ DÍAZ²

RAMÓN CRUZ¹

JULIO ERNESTO GÓMEZ HERRERA³

¹Ceinpet – Centro de Investigaciones del Petróleo
Washington # 169 esq Churrucá. Cerro, C. de La Habana, Cuba, CP 12000
oral@ceinpet.inf.cu

²Ceinpet – Centro de Investigaciones del Petróleo
Washington # 169 esq Churrucá. Cerro, C. de La Habana, Cuba, CP 12000
michael@ceinpet.inf.cu

³Ceinpet – Centro de Investigaciones del Petróleo
Washington # 169 esq Churrucá. Cerro, C. de La Habana, Cuba, CP 12000
jgomez@ceinpet.inf.cu

Abstract. The oil activity in any country causes serious damages to the environment when they don't take the appropriate measures to safeguard the same one. Highly sensitive areas before the presence of the contamination for hydrocarbons are those related with coastal swamps, swamp vegetation and little energy of the waves. Inside the aspects to analyze in the context of the protection of the environment in the oil industry, one of the most important is the related with the spills of hydrocarbons.

In the Present work it carry out the map of the Index of Environmental Sensibility using a simplified automated method using Geographical Information Systems (G.I.S.) that allowed to obtain the geomorphologic characteristics and energy related with the classification of ARPEL.

The maps of the Digital Elevation Model of the area, slopes and the Fetch of the coast area are presented, so that shady models and the Map of the Index of Environmental Sensibility of the study area for hydrocarbons spills.

Keywords: Digital Elevation Model, Indexes of Environmental Sensibility, vulnerability of the riverside, geomorphologic characteristics, Geographical Information Systems (G.I.S.).

1. Introducción.

La actividad petrolífera (extracción, producción o transportación) en cualquier país ocasiona, o puede ocasionar graves perjuicios al ambiente cuando no se toman las medidas adecuadas para salvaguardar el mismo. Zonas altamente sensibles ante la presencia de la contaminación por hidrocarburos son aquellas relacionadas con marismas costeras, vegetación de manglar y poca energía de las olas. La Resolución 168/95 y la Ley del Medio Ambiente establecen, en Cuba, la obligatoriedad de realizar estudios ambientales en las zonas de desarrollo industrial. Es en este contexto, y a solicitud de CUPET, que se plantea y aprueba la realización de una investigación en el Centro de Investigaciones del Petróleo (Ceinpet) relacionada con el impacto ambiental ocasionado por la actividad petrolífera en Cuba y sus soluciones tecnológicas, de la cual este trabajo es un resultado parcial.

En la zona están presentes diferentes tipos de las formas del relieve, encontrando al W y cerca de la costa llanuras abrasivas y abrasivo-denudativas, disecionadas, con costas del tipo abrasivo - cársicas, donde aparece el diente de perro.

Al Este, en la Península de Hicacos y bordeando una costa de tipo acumulativa, aparecen llanuras marinas Lacuno - Palustres con alturas predominantes inferiores a 5 m, pudiendo

llegar a 10 m en algunas zonas muy estrechas, las cuales continúan bordeando toda la Bahía de Cárdenas.

Al SE aparecen llanuras Abrasivo acumulativas, ligeramente diseccionadas con alturas entre 10 y 20 m, mientras al SW aparecen llanuras denudativas de zócalo, onduladas o diseccionadas con llanuras residuales y alturas que llegan hasta 250 m (Cañas e Ysalgué, 1978).

Respecto a la tectónica, la estructura principal de la cubierta sedimentaria viene dada por la zona de contorno de las zonas de hundimiento regional Orogénica y Postorogénica Epieugeosinclinal. Hasta la costa llegan las zonas transversales de los desplazamientos laterales entre bloques corticales, así como se determina la existencia de fallas en la parte superior de la corteza consolidada (Marrero, M. y Paz, S.; Mapa Tectónica, ICGC, 1978).

Las estructuras profundas principales están asociadas al Sistema Geosinclinal (Plegado) Cubano, específicamente por la zona de recubrimiento tectónico de las rocas de la zona interior del Miogeosinclinal por los depósitos Eugeosinclinales, la cual está separada de la zona de la Sutura Marginal Interior Cubana por zonas de hundimientos interiores (Marrero, M. y Paz, S.; Mapa Tectónica, ICGC, 1978).

El paisaje de la zona sobre el yacimiento Varadero, se corresponde con llanuras secas y medianamente secas, muy poco onduladas, o sea, una llanura abrasiva, acumulativa con rocas sedimentarias carbonatadas y algunos depósitos aluviales. La vegetación está representada por matorrales latifolios, parcialmente por pastos y plantaciones de henequén, sobre suelos ferralíticos rojos, rendzinas roja y negra, conformando, en general, un paisaje cárstico semidesnudo y de llanuras acumulativas marino – palustres.

Dentro de los aspectos a analizar, uno de los más importantes es el relacionado con los derrames de hidrocarburos, para lo cual han sido propuestos los Índices de Sensibilidad Ambiental para asignar valores numéricos a la sensibilidad de una ribera ante un derrame de hidrocarburos, utilizando para ello las clases de ribera que comúnmente son encontradas en cualquier lugar del mundo. Este tipo de clasificación requiere de una caracterización de la geomorfología de la zona, detalles relacionados con la estratigrafía, la vegetación y detalles del tipo de paisaje a una escala detallada de trabajo de campo (escala 1 : 500 hasta 1 : 2000), que generalmente no están disponibles para áreas extensas.

Otro aspecto a considerar es la cantidad y tipo de información disponible, así como los propósitos para los cuales se confeccionará el mapa de Índice de Sensibilidad. Se plantea que un mapa estratégico global a una escala aproximada de 1 : 1 000 000 podría utilizarse durante un derrame para localizar áreas generales de población, rutas de tráfico de embarcaciones y recursos importantes (Wotherspoon, P., *et al.*, Guía Ambiental No. 16 de ARPEL, 1997). Mapas más detallados y específicos para escalas aproximadas de 1 : 10 000 son útiles para desarrollar estrategias de respuesta para derrames menores o cuando un gran derrame se aproxima a la costa.

Sin embargo, la escala a utilizar para la confección de mapas de sensibilidad ambiental estará en dependencia, fundamentalmente, de la disponibilidad de datos necesarios para su confección a una escala de trabajo dada, por la necesidad de detalles en ciertas áreas y del modo en que se utilizará la información.

En el presente trabajo, y considerando los aspectos de la geomorfología de la zona de estudio, la limitación de recursos, así como la extensión de la zona costera (aproximadamente 50 Km), se determinó realizar el mapa del Índice de Sensibilidad Ambiental utilizando un método automatizado simplificado utilizando Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.) que nos permitió, grosso modo, obtener las características geomorfológicas y energéticas principales relacionadas con la clasificación de ARPEL.

2. Materiales y Métodos

Se utilizó el mapa digital de la República de Cuba a escala 1: 250 000 confeccionado por la Agencia de Cartografía Digital de GeoCuba La Habana (1999), se generó un mapa de la zona a escala 1: 75 000 que sirvió de base cartográfica general para el presente informe (**Figura 1**), el cual brinda la ubicación de las principales poblaciones, carreteras y caminos, tipos principales de vegetación, ríos, etc.

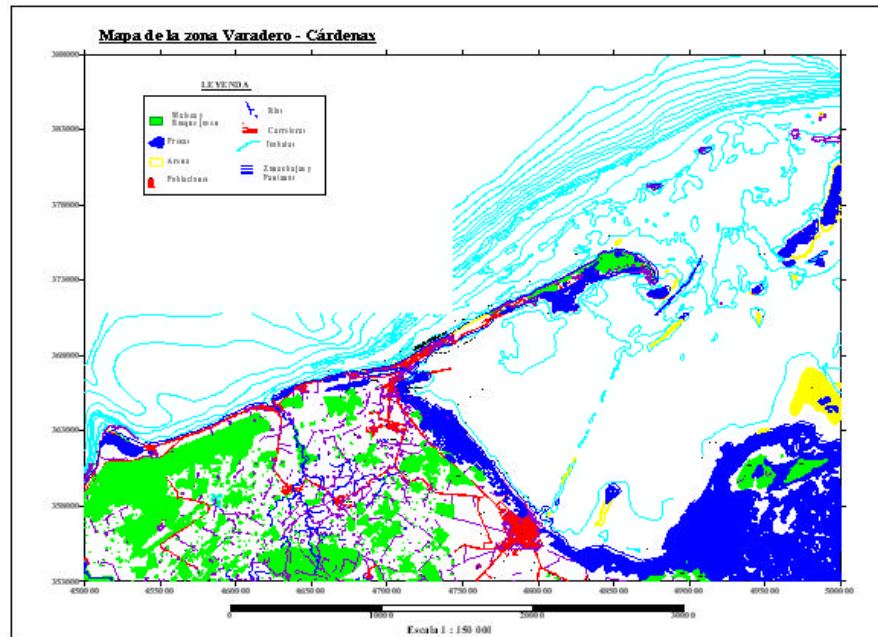


Fig. 1. Mapa de la zona objeto de estudio.

3. Resultados y discusión

Un índice de la geomorfología de la zona costera se puede obtener por la curvatura, que es la medida de la razón de cambio del ángulo de inclinación de los planos laterales de la línea de un perfil definido por la superficie a lo largo de una dirección específica. La curvatura se reporta como el valor absoluto de la razón de cambio y es, por lo tanto, un número positivo.

La fórmula matemática para la curvatura direccional de una superficie $f(x,y)$ en una dirección definida \underline{S} está dada por (Schwartz, 1974):

$$K_S = (\text{Mod}(d^2f/ds^2)) / (1 + (df/ds)^2)^{3/2}$$

Al obtener la curvatura direccional para la dirección Norte se puede observar que en la zona abundan las áreas de playas y zonas bajas en todo el tramo comprendido desde la Península de Hicacos hasta la Bahía de Santa Clara, apareciendo algunas zonas costeras con acantilados y diente de perro, fundamentalmente hacia el W (**Fig. 2**). Esta característica de la geomorfología de la zona nos permitirá analizar los índices de sensibilidad ambiental en caso de derrames de petróleo.

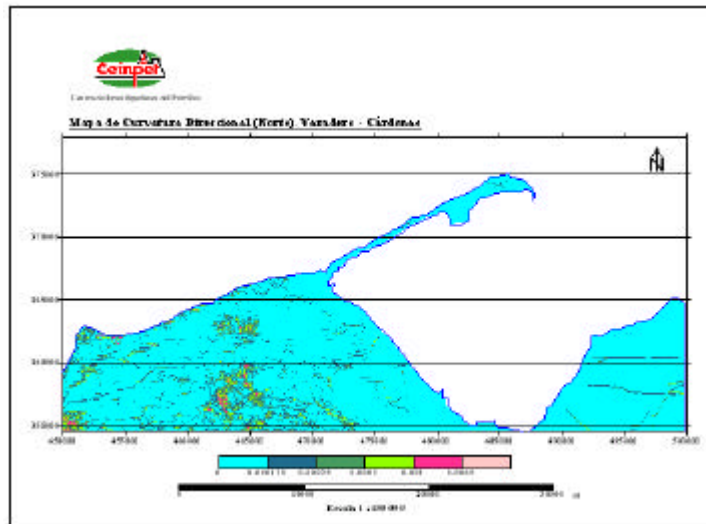


Fig. 2. Mapa de la razón de cambio direccional (Curvatura) en la dirección Norte.

Utilizando la información disponible de relieve (archivo ASCII) en la misma escala, con valores de X y Y en el Sistema de coordenadas Cuba Norte en la Proyección Cónica Conforme de Lambert y valores de Z en metros, se confeccionó el modelo digital de elevación de la zona (**Fig. 3**) que permitió obtener modelos sombreados de la misma (**Fig. 4**), así como la dirección y el ángulo de las pendientes.

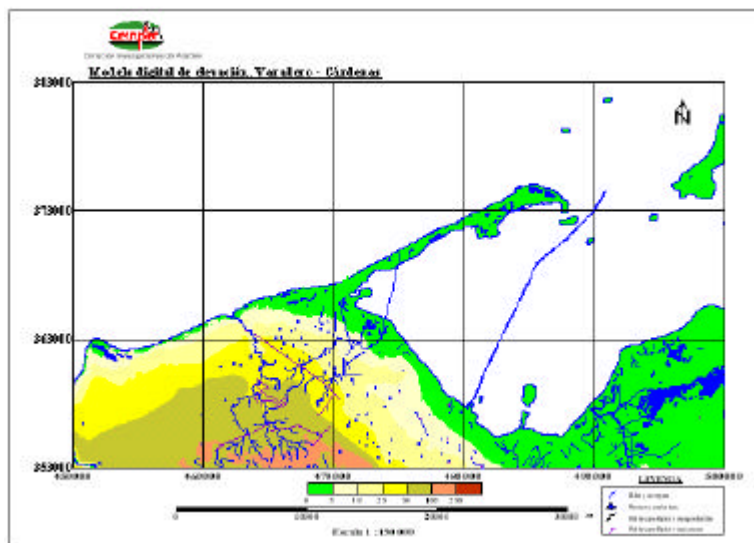


Fig. 3. Modelo Digital de Elevación

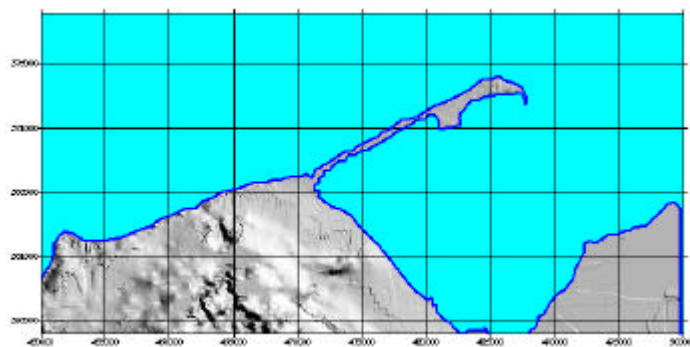


Fig. 4. Mapa de Sombras desde el NE.

De igual forma, y conociendo que la exposición a la energía de las olas es uno de los factores que afectan la vulnerabilidad de la ribera, asignándose bajos valores del índice de sensibilidad ambiental a altos niveles de energía de olas, debido a que la fuerza del rompiente promueve la limpieza natural y por lo tanto tiende a disminuir el tiempo de residencia del hidrocarburo, se analizó el "Fetch" que correspondería a la zona litoral considerando para ello la definición de Fetch (**Fig. 5**).

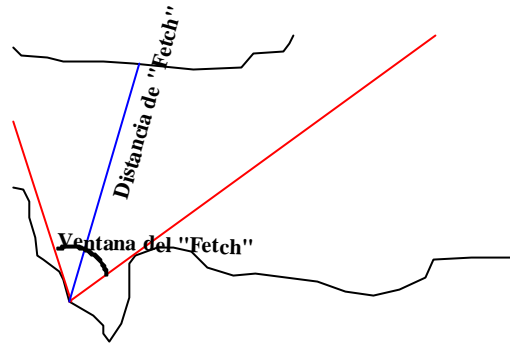


Fig. 5. Gráfico para la explicación del Fetch

siendo:

La Ventana del Fetch, el ángulo máximo de fetches de viento que afectan una ribera.

La Distancia de Fetch, la distancia desde la ribera a la recalada más cercana ocupando una porción importante de la ventana del fetch. La exposición a diferentes niveles de energía de olas puede estimarse de acuerdo a la **tabla 1**:

Entonces, y debido a que la distancia desde cualquier parte de la costa de la zona objeto de estudio a la recalada más cercana es siempre superior a 50 km, la energía debido a las olas generadas por el viento es alta, correspondiéndole por lo tanto, un índice de sensibilidad baja, excepto en algunas zonas correspondientes a desembocaduras de los ríos.

Se realizó un análisis por zonas de las distancias de fetch y las ventanas correspondientes, confeccionándose un mapa preliminar del I.S.A. considerando solamente el fetch, el cual se puede apreciar en el mapa de la **figura 6**.

Tabla 1. Energía de las olas a partir de las componentes del Fetch

Distancia de "Fetch"	Ventana del "Fetch"			
	< 45°	45° - 120°	120° - 180°	> 180°
< 5 km	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA
5 - 10 km	BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
10 - 50 km	MEDIA	MEDIA	ALTA	ALTA
> 50 km	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA

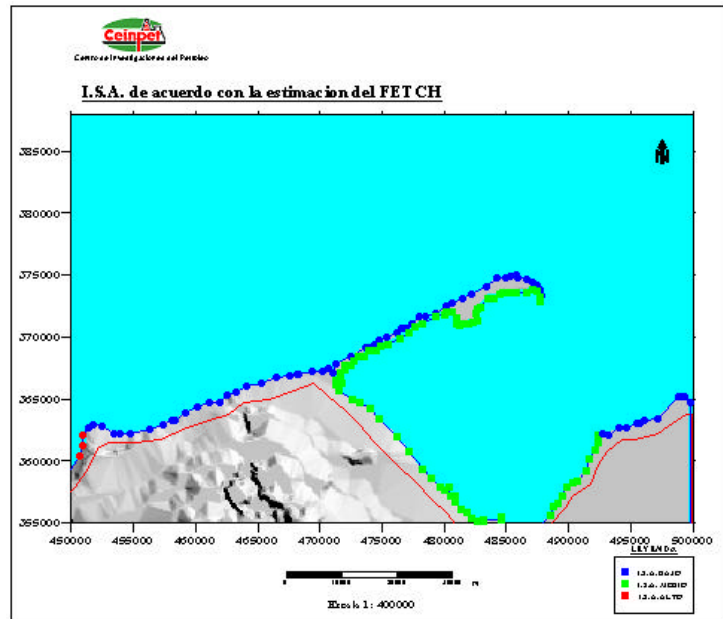


Figura 6. Mapa de I.S.A. considerando el Fetch.

Para la determinación del I.S.A. se agruparon las alturas de las costas, las pendientes y los valores de energía de las olas de viento en tres categorías cada una, como se muestra en la **Tabla 2:**

Tabla 2. Categorías para las componentes de determinación del ISA

CATEGORÍA	ALTURA (m)	PENDIENTE (°)	FETCH
1	$H < 5$	$P < 5$	ALTA ENERGIA
2	$5 \leq H \leq 10$	$5 \leq P \leq 30$	ENERGIA MEDIA
3	$H > 10$	$P > 30$	BAJA ENERGIA

Para la obtención del Índice de Sensibilidad Ambiental de la zona, se tuvo en consideración que los organismos biológicos no son muy abundantes en ambientes de alta energía de olas, así como el hecho de que las corrientes de costa afuera creadas por la refracción/reflexión de las olas empujan el petróleo derramado lejos de la costa y minimizan sus efectos, por lo cual se tomó el índice del fetch como factor principal.

Se obtuvieron tres ficheros con valores X, Y y Z a partir del modelo digital de elevación, del mapa de pendientes y del mapa preliminar del I.S.A. de acuerdo al fetch, con valores de X y Y cada 100 metros, así como un programa que permitió determinar el Índice de Sensibilidad Ambiental. El fichero resultante fue interpolado utilizando el sistema Surfer 7.0 y se obtuvo el mapa del Índice de Sensibilidad Ambiental de toda la zona, el cual se muestra en la **figura 7** de manera general y finalmente, utilizando el mapa base de la zona objeto de estudio se confeccionó un mapa del Índice de Sensibilidad Ambiental incluyendo una serie de aspectos cartográficos imprescindibles, modificando los colores para que no existieran confusiones con los bosques y que se muestra en la **figura 8.**

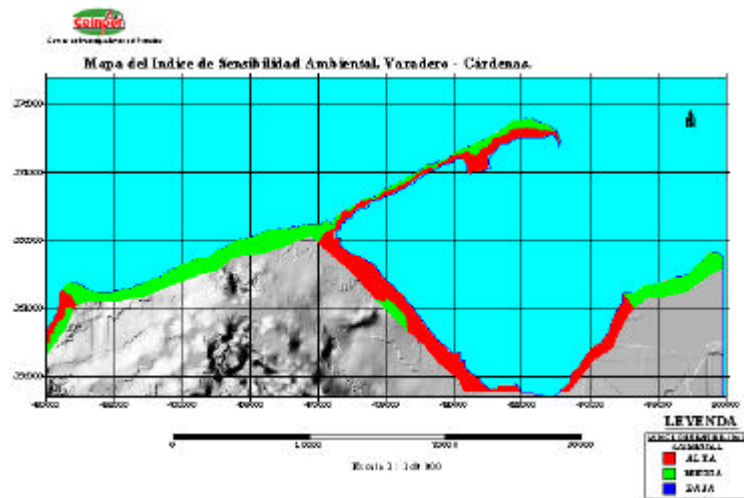


Figura 7. Mapa de I.S.A. considerando el Fetch, pendiente y altura.

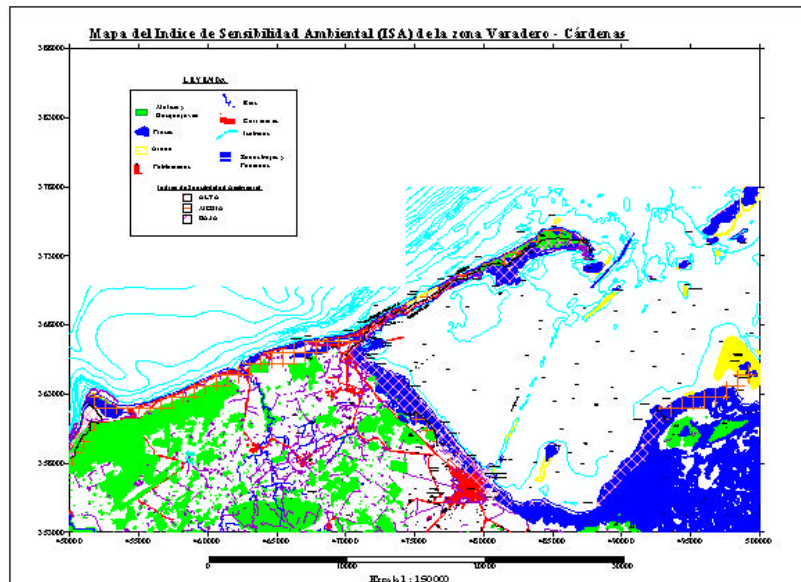


Figura 8. Mapa del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA) de la zona del litoral Varadero - Cárdenas.

4. Conclusiones

La zona del litoral Varadero - Cárdenas se caracteriza por presentar un zona llana con suelos cenagosos que se extienden hacia el Este, desde Hicacos hasta la bahía de Santa Clara, extensiones de playas y vegetación de manglar parcialmente transformado.

Existen zonas en las cuales el Índice de Sensibilidad Ambiental es categorizado como Alto, en la parte Oeste, coincidiendo con la parte de la Bahía de Matanzas incluida en el mapa y también el Sur de la Península de Hicacos, continuando por toda la zona costera de la Bahía de Cárdenas en la cual, adicionalmente, hay que puntualizar la existencia de marismas costeras, vegetación de mangle y en general zonas pantanosas que llegan a ser intransitables. El resto de la zona objeto de estudio alcanza un ISA Medio, lo cual es debido, fundamentalmente, a estar expuestas a valores de fetch altos.

El resultado anterior coincide con el análisis del ISA considerando las características de la geomorfología de la zona, donde predominan zonas con playas de arenas de grano fino a medio y áreas costeras bajas con vegetación de mangle, es decir, zonas con ISA Medio a Alto.

Se corroboró que con la confección del Modelo Digital de Elevación (MDE) de la zona y los mapas de pendientes, conjuntamente con el fetch correspondiente, se puede determinar de forma automatizada un Índice de Sensibilidad Ambiental que coincide, en lo fundamental, con el que se obtiene a partir de la clasificación de los ISA propuesto por ARPEL.

Se obtuvo una metodología novedosa para la obtención de los ISA.

5. Referencias

Agencia de Cartografía Digital: Mapa Digital de la República de Cuba a escala 1. 250 000. (1999)

Cañas, P. y S. Ysalgué: Mapa GEOMORFOLOGÍA, ATLAS DE CUBA, I.C.G.C. (1978):

Marrero, M. y Paz, S.: Mapa Tectónica, ATLAS DE CUBA, ICGC, 1978).

Schwartz, A.: Calculus and Analytic Geometry, 3rd edition, Holt, Rinehart, and Winston, New York, (1974), 1140 pp.

Wotherspoon, P., D. Marks, L. Solsberg y E. West :“Guía para el desarrollo de mapas de sensibilidad ambiental para la planificación y respuesta ante derrames de hidrocarburos. Guía Ambiental No. 16. ARPEL (1997):, 88 pp.