

## Índices de sensibilidad ambiental ante derrames de hidrocarburo en el mar, Pacífico central de Costa Rica.

Environmental sensitivity indexes to oil (hydrocarbon) spills at sea, Central Pacific of Costa Rica.



Recibido: marzo 2022

Aceptado: septiembre 2022

ISSNL:2959-9962/ ISSN: 2959-9679

<sup>1</sup> *Juliana Galeano*

Email: [mjgaleanop@gmail.com](mailto:mjgaleanop@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4119-8693>

<sup>2</sup> *Pedro Rodríguez*

Email: [pgrodriguezal@gmail.com](mailto:pgrodriguezal@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3209-6898>

<sup>3</sup> *Jorge Cortés*

Email: [jorge.cortés@ucr.ac.cr](mailto:jorge.cortés@ucr.ac.cr)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7004-8649>

### Resumen

Este artículo documenta la aplicación de la metodología de los índices de sensibilidad ambiental costeros ante un derrame de hidrocarburos, propuesta por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2002), realizando un ajuste de los parámetros definidos, y así aplicarlo al área costera del Pacífico central de Costa Rica, además de hacer una aproximación y propuesta metodológica para su zona de mar adentro tomando en cuenta el mar territorial, hasta las 12 millas náuticas, llamándolos índices de sensibilidad marinos. Estos índices de sensibilidad ambiental (ISA), fueron planteados como herramienta para dar respuesta a derrames de hidrocarburos, debido a que todos los lugares donde existe actividad petrolera, desde su extracción, transporte, carga y descarga en puertos y muelles, puede tener una gran probabilidad de generar un daño ambiental y socioeconómico, por escapes en las áreas de localización de las mismas, por accidentes, mala infraestructura o errores humanos.

Específicamente para la región centro-americana, se han dado algunos vertimientos de petróleo en los últimos años, debido a que existe una manipulación del crudo, dándose un

detrimento y afectación en las áreas ya mencionadas. Cabe resaltar, que actualmente Centroamérica carece de instrumentos consolidados para visibilizar las zonas de mayor vulnerabilidad ante estos accidentes, es por todo esto, que en el presente trabajo se consideró elaborar los ISA costeros y marinos, convirtiéndolos en una herramienta en línea, que representa la información base para el desarrollo de un plan estratégico, y con la cual se pretende facilitar la toma de decisiones urgentes ante un eventual derrame de hidrocarburos, minimizando los impactos ambientales y socioeconómicos.

**Palabras clave:** Actividades productivas, derrame de hidrocarburos, ecosistemas, índices de sensibilidad ambiental, SIG.

### Abstract

This article documents the application of the methodology of coastal environmental sensitivity indexes to a hydrocarbon spill, proposed by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2002), making an adjustment of the defined parameters, and thus, applying it to the coastal area of the Central Pacific of Costa Rica, in addition to making

<sup>1</sup> Geógrafa de la Universidad Nacional de Colombia; Máster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, Consultora en medio ambiente y cartografía.

<sup>2</sup> Ingeniero Catastral y Geodesta de la Universidad Francisco José de Caldas, Máster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, Jefe de Zonificación, Geomarketing y Georreferenciación para Belcorp Centro América.

<sup>3</sup> Biólogo investigador del Centro de Investigación de Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) Universidad de Costa Rica

an approach and methodological proposal for its offshore zone taking into account the territorial sea, up to 12 nautical miles, calling them marine sensitivity indexes. These environmental sensitivity indexes (ISA) were proposed as a tool to respond to hydrocarbon spills, since all the places where oil activity exists, from extraction, transportation, loading and unloading in ports and docks, can have a large probability of generating environmental and socioeconomic damage, due to leaks in the areas where they are located by accidents, bad infrastructure or human errors.

Specifically for the Central American region, there have been some oil spills in recent years, due to the fact that there is manipulation of the crude oil, causing a detriment and affection in the areas already mentioned. It should be noted that Central America currently lacks consolidated tools to identify the areas of greatest vulnerability to these accidents. It is for all this, that in the present work it was considered to elaborate coastal and marine ISAs, turning them into an online tool, which represents the base information for the development of a strategic plan, and with which it is intended to facilitate urgent decision making in the case of an eventual spill of hydrocarbons, minimizing the environmental and socioeconomic impacts.

**Keywords:** Productive activities, oil hydrocarbon spills, ecosystems, environmental sensitivity indexes, SIG.

## Introducción

Las Zonas Costeras, por representar la interfase de múltiples procesos dinámicos entre el ámbito terrestre y el oceánico, representan un conjunto de recursos naturales que no sólo suministran una amplia gama de bienes y servicios, sino que configuran un complejo sistema de interacciones entre el hombre y la

naturaleza. A nivel mundial, las zonas costeras, han sido consideradas puntos estratégicos de extracción de recursos, intercambio y/o comercialización de los mismos, quedando sometida a un incremento de la presión antrópica, que se manifiesta en varios procesos, como la urbanización intensiva y el desarrollo de grandes proyectos turísticos e industriales, el transporte marítimo, los que se suman a las actividades tradicionales preexistentes. Por ello, y debido al impacto causado al medio ambiente por las actividades humanas, como el transporte de grandes cantidades de hidrocarburo para abastecer a las ciudades, las zonas costeras requieren de enfoques especiales de manejo y planificación, si se considera garantizar la sostenibilidad de los recursos que brindan.

Uno de los vertimientos más catastróficos en la historia reciente fue en 2010, con la explosión de la plataforma Deepwater Horizon, en el Golfo de México. Se derramaron más de 5 millones de barriles de crudo (Europa Press, 2014), equivalentes a más de 710.000 toneladas de petróleo. Los impactos económicos de este evento han sido estimados en US\$15,5 mil millones a lo largo de siete años. Solamente en la industria pesquera, hubo pérdida de 22.000 puestos de trabajo (Pineda et al., 2013). Tras 5 años desde el accidente, el Golfo no ha logrado recuperar su condición original, ni la biodiversidad de estos ecosistemas que provee para las poblaciones que dependen de sus recursos marinos.

Al igual que el Golfo de México, la región centroamericana también ha sufrido derrames de envergadura, entre ellos:

El Salvador (1994): En menos de seis meses existieron en el puerto de Acajutla dos importantes vertimientos de petróleo, donde en el primero se estimó que se derramó entre 400 y 2000 barriles de hidrocarburo (Redacción El Tiempo, 1994). El diagnóstico ambiental del medio marino de la zona costera de Acajutla indicó que el derrame tuvo mayor efecto sobre los organismos de la columna de agua que es-

tuvieron expuestos a concentraciones altas de petróleo, impactando también zonas naturales de crianza de ostras y almejas, cercanas a la zona del puerto (Hernández & Urrutia, 1998).

Panamá (2007): Se derramaron 5,000 barriles de petróleo en el Muelle 2 del Puerto de Chiriquí Grande, por causa de infraestructura obsoleta y una válvula defectuosa en uno de los tanques de reserva. Se reportó muerte de fauna marina en Bahía Ballena, Punta Laurel, Isla Tigre y otras zonas. Hubo fuertes síntomas de intoxicación como diarrea, vómito, brotes o dolor de cabeza y ojos en las comunidades que consumían mariscos y pescado. Trescientas personas fueron requeridas para ayudar en las labores de limpieza e implementación de barreras, con costo de US\$2 la hora (US\$48/día). Se autorizó el uso del dispersante COREXIT 9527, utilizado a nivel internacional, pero que puede ser aún más tóxico que el petróleo. Investigaciones científicas han confirmado que daña los huevos del camarón, erizos de mar, langostinos, así como los ciclos biogeoquímicos del océano, impactando la salud de la biodiversidad marina (Oilwatch Mesoamérica Panamá, 2007).

Costa Rica (2008): Un buque de carga general derramó 50 galones de aceite mezclado con diésel en Puerto Limón, en el Mar Caribe. Ocurrió mientras un barco realizaba labores de carga y descarga de contenedores, al soltarse el tapón del contenedor del combustible de la embarcación. Aunque el derrame fue relativamente pequeño y controlado ágilmente por las autoridades, se puso en evidencia el riesgo latente ante estos eventos, pues ocurrió en un sitio especialmente valioso para los peces aguja y otras especies comercializadas en la zona. Las autoridades afirman que tan solo 50 galones de hidrocarburo son capaces de contaminar 3,6 millones de galones de agua (Oviedo, 2008).

Todos estos impactos están degradando rápidamente los ecosistemas y las especies asociadas a ellas. El transporte de hidrocarburos,

en gran parte de Latinoamérica por parte de empresas que aspiran generar excedentes de producción y satisfacer un mercado demandante, han establecido una serie de protocolos de manejo y un mínimo en la mitigación, donde la responsabilidad mayor recae en las autoridades y la población afectada. Estos últimos no cuentan con suficientes recursos ni capacidades para generar herramientas eficaces para minimizar riesgos y pérdidas ambientales y socioeconómicas, sumándole que tales acciones no han estado acompañadas de una adecuada legislación.

## **Metodología**

Se presenta la metodología que se empleó para el desarrollo de este proyecto, seguido por la definición de los criterios claves que se tuvieron en cuenta para realizar los índices de sensibilidad ambiental marino costero.

## **Índices de sensibilidad ambiental costera**

Los ISAs fueron originalmente propuestos como una herramienta para respuesta a derrames de hidrocarburos por E. R. Gundlach y M. O. Hayes en 1978 (Michel et al., 1995). Desde entonces, se han utilizado varias aproximaciones para asignar valores numéricos a la sensibilidad de una ribera a los hidrocarburos. La mayor parte de ellas utilizan una escala de 1 a 10, donde 1 es la menos sensible y 10 es la más sensible. Esta metodología modificada por la NOAA (2002) cubre la mayoría de las clases de ribera que se encuentran en cualquier parte del mundo. Existen otros sistemas menos utilizados, como los propuestos por Owens & LeBlanc (1996) o (Harper et al., 1991), estos métodos también usan valores numéricos, dependiendo en cuan detalladamente se definan las características de la ribera. Para este proyecto se decidió usar el de la NOAA (2002), ya que estos índices se manejan a nivel internacional, y por medio de los iconos y tonalidades de colores se pueden identificar fácilmente.

Para la clasificación costera, este trabajo aplica una metodología conocida a nivel internacional propuesta por la NOAA (2002), que toma en cuenta, análisis geomorfológico, mapeo de ecosistemas y actividades productivas, y la combinación cualitativa de mapas temáticos junto con modelos predictivo del comportamiento del mar. Esta técnica permitió clasificar la vulnerabilidad relativa de la zona marino costera del Pacífico central por derrames de hidrocarburo en el mar. Si bien, los ISA no deben interpretarse como un indicador verdadero de la sensibilidad, estos pueden identificar la vulnerabilidad relativa de los diferentes tipos de ribera en las zonas costeras.

Esta metodología tiene en cuenta tres componentes principales que permiten identificar la vulnerabilidad de las riberas de las costas por el hidrocarburo (NOAA, 2002)

1. Clasificación de la línea de la costa
2. Caracterización biológica y ecológica
3. Recurso de uso humano.

<b>Clasificación de la línea de costa</b>	La clasificación de los tipos de costa (Coastal Habitats NOAA, 2002), constituye el apartado más sólido de la investigación. Los hábitats costeros se encuentran bajo riesgo de contaminación marina por vertimiento de hidrocarburos cuyos efectos pueden variar significativamente obedeciendo al tipo de costa. La clasificación para la línea de costa está basada en estos cuatro aspectos fundamentales, geomorfología y uso de la línea de costa, altura de la línea de costa, exposición al oleaje y tipo de sustrato.	
	<b>Criterios de altura</b>	La determinación de la altura de la línea de costa se realiza con estudios antecedentes de geomorfología del área de estudio, ya que la altura de la costa determinará el grado de accesibilidad por parte de los operarios, durante las labores de limpieza y restauración de la línea de costa en caso de un suceso de contaminación.
	<b>Exposición al oleaje</b>	De acuerdo con la exposición relativa frente a la energía del oleaje se diferencian dos tipos principales de costas: a) expuestas al oleaje o de elevada energía, que corresponden a aquellas líneas de costa afectadas por el impacto directo del oleaje y por tanto, los hidrocarburos tendrán tendencia a eliminarse de forma natural, y b) costas localizadas en ambientes de baja energía, en las que el oleaje no supone un factor modelador permanente de la línea de la costa, en estas costas los hidrocarburos tendrán tendencia a eliminarse lentamente de forma natural y por lo tanto su recuperación será lenta. El grado de exposición al oleaje vendrá determinado: 1) por el grado de articulación y morfología de la línea de costa (presencia de cabos, puertos naturales, ensenadas), y 2) por las características del fondo marino de la zona costera que condicione la disipación de la energía del oleaje, antes de que este alcance la línea de costa o bien, permita su llegada (trenes de olas) dando lugar a procesos de impacto directo o de reflexión.
	<b>Tipo de sustrato</b>	El tipo de sustrato determina el grado de permeabilidad del hidrocarburo en el interior de los materiales que constituyen la línea de costa. La profundidad de penetración estará controlada por el tamaño de grano del sustrato. Las penetraciones más profundas tienen lugar a sedimentos a partir de tamaño de grava de > 2 mm. Los litorales asociados a marismas, humedales o manglares, tienen una baja accesibilidad debido a las elevadas proporciones de sedimentos arcillosos y limosos, de manera que la utilización de equipamientos y maquinaria no es posible, además cualquier tipo de tránsito en el interior de una zona de estas características puede generar daños irreversibles tanto el medio biótico como en la estructura del medio físico.
<b>Grado de sensibilidad biológica</b>	La sensibilidad biológica como integrante del componente geomorfológico, se refiere a condiciones que reúnen los diferentes tipos de costas para que se puedan desarrollar ciertos tipos de hábitat. Los diferentes tipos de costas dependen de las características morfoestructurales de la zona costera en el cual se desarrollan. Los diferentes ambientes costeros o hábitat costeros no se disponen de forma impenetrable unos respecto a otros, se desarrollan gradualmente de acuerdo a condiciones físicas de la costa (tipo de sustrato, grado de exposición del oleaje, condiciones meteorológicas dominantes) Es importante destacar que hábitats donde se desarrollan zonas interiores inundadas por aguas dulces, salada o salobres, necesitan más tiempo de recuperación y por lo tanto la escala con la que se le calificará será de 10.	
<b>Recursos humanos</b>	Los contenidos correspondientes al uso humano aplicados a la sensibilidad de la línea de costa, se basan en la identificación y localización de los puntos donde se desarrollen actividades socioeconómicas tales como pesca, turismo, deportes náuticos, servicios recreativos, puertos y transporte.	

Cabe resaltar que los ISAS que propone la NOAA (2013), solo considera la línea de costa, sin embargo, para efectos de este trabajo se realiza una propuesta metodológica de los ISAs marinos, donde el componente predominante es el biótico.

### **Índices de sensibilidad marina**

Para realizar los ISAs marinos, se hace una propuesta metodológica, que cuenta con la combinación de mapas temáticos con una serie de valores o pesos estadísticos, asignados por un panel de expertos de los elementos bióticos claves que fueron identificados, teniendo en cuenta los criterios que presenta TNC (2008) presentes en el área de estudio.

Para la elaboración de los índices de vulnerabilidad biológica de las costas y del mar, se considerarán áreas bajo alguna figura de protección y/o conservación a nivel nacional o internacional. Así mismo, se tendrán en cuenta áreas o nichos ecológicos, zona de importancia ecosistémica que no se encuentren bajo ninguna figura de protección, zonas de paso de especies migratorias, áreas de endemismo, áreas de especies que estén en los CITIES de la UICN o libros rojos de especies amenazadas y áreas de relevancia para el desarrollo, reproducción y alimentación de elementos bióticos claves (especies).

### **Uso de software o herramientas aplicadas**

Se usó como herramienta principal el ArcGIS 10.3 que permitió hacer análisis espacial, manejo de bases de datos (capas de información), modificación de tablas de atributos (Excel y Access), para la clasificación de la línea de costa y tipo de playas, se contó con la interpretación de imágenes LIDAR (Light Detection and Ranging), siendo LIDAR una tecnología de teledetección óptica que combina la luz láser y medidas de posicionamiento para proveer datos de elevación digital de alta precisión. De

igual manera para la compilación y filtración de textos o información cualitativa, se usó el software Atlas ti 6 y una matriz de seguimiento de los textos consultados que se actualizaron online de google drive. Para el componente de importancia biológica de las zonas de estudio, fue establecida con base en la aplicación de varios programas o software, como herramientas alternas a la metodología del ISA. Así mismo, para el apartado de análisis espacial se trabajaron matrices de fragilidad biológica, métodos estadísticos de cálculos de porcentajes, valores máximos y mínimos, combinaciones temáticas de capas de información geográfica, correcciones de topología, algebra de mapas y creación de algoritmos.

### **Talleres de validación**

Una vez construidos los mapas de sensibilidad, fueron validados mediante dos talleres; uno con técnicos expertos en geomorfología, biología marina y aspectos socioeconómicos de la zona y posteriormente un taller con representantes de los grupos de interés directamente vinculados con los riesgos identificados (autoridades nacionales y regionales, para este caso, ambientales y portuarias). La sesión de trabajo, realizada el día 07 de junio en las instalaciones del CIMAR – UCR, con la participación de representantes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, el Instituto Costarricense de Turismo, el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) UNA, UCR y comercializadores de pescado, CIMAT, CATIE, MINAE y Fundación MarViva, fue aprovechada para ofrecer a los funcionarios la inducción correspondiente, para la interpretación de la identificación de zonas de vulnerabilidad con el aplicativo web, y los usos que le pudiesen dar dentro de cada institución.

## Programación para el Mapserver y ArcGIS on line

El HTML es un lenguaje de marcado o lenguaje de marcas, que permite codificar un documento que, junto con el texto, incorpora etiquetas o marcas que contienen información adicional acerca de la estructura del texto o su presentación. Los lenguajes de marcas son anteriores a Internet y siguen usándose en la industria editorial. Se programó un visualizador de los índices de sensibilidad ambiental, para que fuera intuitivo, flexible y libre en la red, donde además pueda ser empleado como una herramienta de planeación a través de servidores de mapas web. Para efectos de la publicación de la información, se decidió usar la plataforma de ArcGIS online, que permite establecer una nube donde se pueden explorar datos, crear mapas, generar aplicaciones y conectarse con otros servidores que estén publicados en un Servicio Web de Mapas (WMS) o un Servicio de Entidades Web (WFS). Este tipo de publicaciones permiten acceder a escenas, generar análisis, personalizar capas de información geográfica y acceder a los mapas desde cualquier dispositivo móvil.

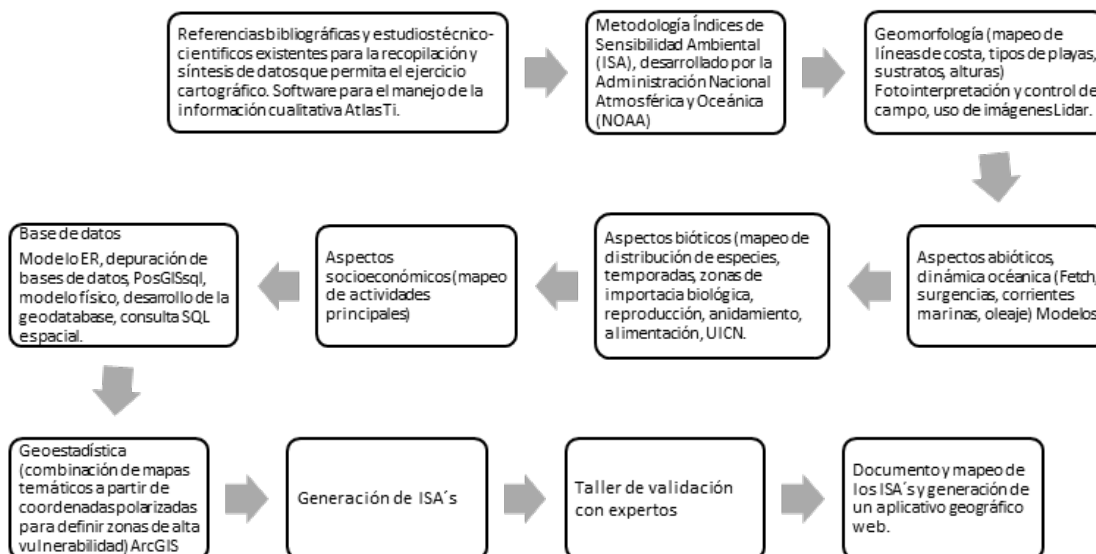


Figura 2. Flujograma de trabajo

## Resultados

La zona geográfica de enfoque abarcará el Pacífico Central de Costa Rica, incluyendo la ciudad de Puntarenas en el norte, hasta el límite sur del Parque Nacional Marino Ballena, desde la línea de la pleamar hasta las 12 millas náuticas. Contempla como división político administrativa los Distritos de Puntarenas, Chacarita y El Roble del Cantón de Puntarenas, los Distritos Espíritu Santo, San Juan Grande del Cantón de Esparza, los Distritos Tárcoles y Jacó del Cantón de Garabito, el Distrito de Parrita del Cantón homólogo, los Distritos de Quepos y Savegre del Cantón de Aguirre y finalmente el distrito de Bahía Ballena del Cantón de Osa, todo esto bajo la Provincia de Puntarenas. Esta área de estudio se dividió en 4 sectores, para una adecuada representación cartográfica de la información.

La fase de resultados se divide en dos partes, la primera consta de la descripción de los ISAs costeros y marinos, elaboración de una matriz de sensibilidad que contempla su realidad física, biótica, socioeconómica, y el proceso geo-estadístico, insumo fundamental para la zonificación.














Para la clasificación de los ISA, además de una digitalización de la geomorfología de las diferentes zonas, también se requirió detalles relacionados con la estratigrafía, la vegetación y el tipo de paisaje (marismas, pantanos, etc.), a una escala detallada de trabajo de campo (1:25.000), los cuales generalmente no están disponibles para áreas extensas. Para la clasificación geomorfológica, se digitalizó la línea, basándose en la tipificación que presenta la guía Arpel (2005), donde se presentan las principales geoformas litorales del mundo, generando de esta manera una representación cartográfica escala 1:25.000 por cada uno de los 4 sectores definidos; asimismo, una representación de la pendiente, altura y energía de oleaje.

En cuanto a los elementos bióticos y socioeconómicos, claves para el desarrollo de los ISAS marinos, se realizó la respectiva representación cartográfica de estos dos componentes para toda el área de estudio, no de manera sectorizada, esto permitió ver la integralidad de la información y generar una mejor correlación de los datos para la clasificación ISA.

### 5.1. ISAs Costeros

Para realizar esta sección se digitalizó la geomorfología litoral presente en el área de estudio, teniendo en cuenta la leyenda que propone la NOAA (2013). Esta etapa se generó a partir del álgebra de mapas, la combinación temática de la altura de la costa, la pendiente, la geoforma y la energía de la costa que fue digitalizada y clasificada de manera visual generando un algoritmo que permitió reclasificar la geomorfología litoral de la zona de estudio. Posteriormente se vectorizó la información y se ajustó la tabla de atributos para la salida gráfica y la publicación en el geovisor teniendo en cuenta el valor de sensibilidad y el color que establece la metodología según el grado de vulnerabilidad. Las clases geomorfológicas que se digitalizaron fueron:

#### ISA Costero

	ISA 1a. Acantilados rocosos expuestos
	ISA 1b. Diques marítimos expuestos
	ISA 2. Plataformas expuestas y talladas por las olas
	ISA 3. Arena de grano fino a medio
	ISA 4. Arena de grano grueso
	ISA 5. Arena y grava
	ISA 6. Playas de grava
	ISA 7. Bancos mareales expuestos
	ISA 8a. Estructuras hechas por el hombre (zonas urbanas)
	ISA 8b. Puerto - Desembarcadero
	ISA 10a. Manglar
	ISA 10b. Marismas de agua dulce
	ISA 10c. Pantanos de agua dulce

### 5.2. ISAs Marinos

Para la elaboración de los ISAS Marinos se obtuvieron y elaboraron distintas capas de información geográfica, como fondos marinos, especies, ecosistemas y diferentes actividades socioeconómicas a partir de varios documentos, informes técnicos, tesis, publicaciones y bases de datos, de entidades importantes como el Centro de Investigación en ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), MarViva, Sistema Nacional de Áreas de conservación (SINAC), Instituto de Pesca (Incopesca), Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), Comisión Centroamericana de transporte marítimo (Co-catram), Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), Universidad de Costa Rica (UCR), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito vives de Andreis (Invemar), entre otras, obteniendo aproximadamente 1700 polígonos de información geográfica con los siguientes datos individuales o combinados en cada uno de ellos:

Cuadro 1. Datos para generar ISAs Marinos.

Datos		
Área de anidación de aves	Fondo marino lodoso bioclástico	Pastos marinos
Área de pesca	Fondo marino lodoso litoclásticos	Playa de anidación de tortugas
Área protegida	Fondo marino arenas litoclásticos	Zona de avistamiento de ballenas
Bancos de piangua	Fondo marino blando	Zona de avistamiento de cetáceos
Corales	Fondo marino blando litoclásticos	Zona de avistamiento de delfines
Fondo marino arenas litoclásticos	Fondo marino duro	Zona de pesca deportiva
Fondo marino blando	Fondo marino litoclásticos	Zona de reproducción y crianza de especies de interés
Fondo marino blando litoclásticos	Fondo marino lodoso bioclástico	Zona estuarina
Fondo marino duro	Fondo marino lodoso litoclásticos	Zonas de alimentación y crianza de tortugas
Fondo marino litoclásticos	Humedales	

Posteriormente se desarrolló una matriz de fragilidad del hábitat para que, a través de un panel de técnicos y expertos de cada una de estas variables, estimaran y asignaran un valor en una escala de 1 a 10 en cuanto a degradación, resiliencia y el nivel de tensión ambiental de existir un derrame de hidrocarburo en cada uno de estos ambientes.

Al tener esta valoración se revisó que existen algunas variables semejantes, las cuales fueron agrupadas en 13 índices, por lo que cada polígono puede tener una calificación de 1 hasta máximo 130, si solamente posee una variable calificada con 1 o si al contrario posee todas las 13 variables con la puntuación máxima de 10 respectivamente.

Al consolidar esta información se encontró que solamente 17 polígonos de los más

de 1700 presentaron la mayor combinación de información, siendo 6 esta combinación de capas, por lo que su calificación podría variar entre 6 hasta 60, pero al revisar la puntuación de todas las áreas, esta varió entre 3.3 y 51.9, indicando que la fragilidad ambiental de la zona de estudio mínima es de 3% y la máxima es de 40%, teniendo en cuenta que el 100% equivaldría a un valor de 130 de la calificación de las variables de degradación, resiliencia y nivel de tensión ambiental.

A continuación, se normaliza estos valores, realizando un comparativo, indicando que el valor máximo obtenido (en este caso 40%) correspondiera a 100%, y a partir de esta relación se determinó las demás calificaciones, pasando de 6% a 100% cada una de las variables.

Figura 6. Matriz de fragilidad de los ambientes, ecosistemas y especies para realizar el ISA marino.

Fragilidad del Hábitat	Acantilados	Fondo marino duro	Fondo marino lodoso litoclástico	Fondo marino lodoso bioclástico	Fondos marino arenas litoclásticas	Afloramientos rocosos (zonas de anidación de aves)	Plataformas de abrasión	playas de arena de grano fino a medio	Playas de arena gruesa	Playas de arena y grava	Arrecifes de coral	Pastos Marinos	Estuarios	humedales	Manglar	Zona de alimentación y desove de tortugas	Zona de avistamiento de cetáceos	zonas de reproducción y crianza en el Golfo de Nicoya (Camarón blanco)	zonas de congregación de peces en el Golfo de Nicoya (Corvina aguada - Corvina reina - Pargo Mancha)	zonas de reproducción y crianza fuera del Golfo de Nicoya (Camarón blanco)	zonas de congregación de peces fuera del Golfo de Nicoya (Corvina aguada - Corvina reina - Pargo Mancha)	Bancos de piangua dentro del Golfo de Nicoya
Degradación	1	2	8	8	8	10	2	4	10	8	8	10	10	10	10	8	8	8	8	6	4	10
Resiliencia	1	2	8	8	6	2	2	6	6	6	8	10	10	10	10	10	10	2	2	4	6	2
Nivel de tensión ambiental	1	6	6	6	7	10	2	10	4	8	10	10	10	10	10	10	7	8	8	6	4	10
Promedio Aritmético	1	3,3	7,3	7,3	7	7,3	2	6,7	6,7	7,3	8,7	10	10	10	10	9,3	8,3	6	6	5,3	4,7	7,3



Finalmente, para determinar los índices de sensibilidad en valores de Alto, Medio y Bajo, y revisando la información de ESRI, se clasificaron en ArcGIS por medio de las clases de cortes naturales o Jenks, basadas en agrupaciones naturales esenciales a los datos, siendo los cortes de clase un método que agrupa mejor los valores equivalentes y que extiende las diferencias entre clases.

### **5.3. Validación de la aplicación geográfica web Índices de Sensibilidad marino costera ante un derrame de hidrocarburo en el mar – Pacífico Central de Costa Rica**

Con el objetivo de afinar la herramienta de manera más rigurosa, se realizaron dos validaciones de la aplicación, 1) con técnicos y 2) Con representantes de instituciones que tengan injerencia en los espacios marino costeros. En el taller con técnicos se presentó el desarrollo de la aplicación y se invitó a los participantes a usarla, después hubo una discusión de retroalimentación para mejorar la herramienta.

El taller de validación con instituciones, de la aplicación web geográfica (geovisor) para identificar zonas de sensibilidad ambiental ante un derrame de hidrocarburos en el mar, se dividió en tres partes: 1) Una presentación breve de antecedentes, metodología, desarrollo de la aplicación. 2) Se organizaron en grupos combinados de varias instituciones y se trabajó un manual donde se les indicaba, explorar el mapa, marcar, medir, prender y apagar capas de información, cambiar mapas bases y generar un mapa para impresión estableciendo el tamaño y formato más adecuado. 3) Durante la tercera sesión se realizó una discusión del uso de las herramientas como proceso de retroalimentación y validar el contenido y la eficacia de la aplicación y finalmente las sugerencias fueron incorporadas para mejorar la herramienta.



Foto. 1. Taller de validación con representantes del representante del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, el Instituto Costarricense de Turismo, el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) UNA, UCR y comercializadores de pescado, CIMAT, CATIE, MINAE y Fundación MarViva. Fuente: MarViva.

## Conclusión

Este trabajo de investigación, tiene como producto final una herramienta integradora de temáticas litorales, marinas y socioeconómicas, construida colectivamente mediante la constante consulta con expertos, y disponible para libre uso, teniendo en cuenta niveles especializados, permitiendo ser consultada y manipulada por todos los niveles de gestión, desde la sociedad civil hasta autoridades internacionales, nacionales y locales, además que siendo una aplicación que está libre en la web, y que puede ser compartida de manera fácil y de manera masiva, genera un gran interés. Igualmente, esta aplicación puede verse en el corto plazo como herramienta de planificación y de gobernabilidad, donde las competencias de cada actor sean claras, y la vocación o importancia ecológica, o sociocultural y económica de sus atractivos naturales, sean respetados y valorados. Sólo así se puede contrarrestar la presión que provenga de las actividades antrópicas, no solo de contaminación por hidrocarburos, sino también con obras de desarrollo, logrando un uso sostenible de la base natural aún en buen estado, regulando el turismo, tránsito de rutas marinas, zonas de importancia biológica y socioeconómica.

De igual manera se recomienda ampliar el conocimiento sobre el estado de las áreas costeras, sus ecosistemas y recursos, en zonas como el Caribe, logrando que ese conocimiento sea información articulada y complementaria a los planes reguladores de las áreas marina costeras, y se haga una actualización de los índices de fragilidad ambiental, metodología que actualmente se aplica en el país. Sólo así, los impactos y efectos de la información serán útiles y aplicados de manera coherente y acertada, permitirán un manejo integrado de las áreas marino costeras, esta aplicación geográfica web es un insumo que apunta en esa dirección.

El mapa de sensibilidad ambiental, como producto final de la investigación y como instrumento visual, representa la información base para el desarrollo de un plan estratégico ante un eventual derrame de hidrocarburos y facilita la toma de decisiones urgentes. Representa un instrumento inspirado en el método científico y usando técnicas de: digitalizaciones, clasificaciones geomorfológicas, uso de imágenes Lidar, reclasificaciones en mosaicos. LAS y ráster, uso de ArcGIS, Geoestadística, modelamiento de procesos espaciales, algebra de mapas, creación y administración de base de datos, junto con programación; por lo que se realizó de manera rigurosa; teniendo como objetivo final la reducción al mínimo de los impactos ambientales y socioeconómicos ante un derrame de hidrocarburos en el mar. Esta metodología puede fácilmente replicarse en el resto de las Costa de Costa Rica y eventualmente en toda Centroamérica. Este trabajo es una actualización de una primera aproximación que desarrolla Acuña, Cortés, J., y Murillo, M. (1996) en su Mapa de sensibilidad ambiental para derrames de hidrocarburos en las costas de Costa Rica, la metodología que emplearon fue con una escala general y a través de un mapeo más grueso, por lo que este trabajo no solo está actualizado sino que a su vez maneja una escala más detallada y usa las tecnologías de la información geográfica para realizar una zonificación más integral.

Esta iniciativa hace un llamado a las autoridades, instituciones, academias encargadas y ONG en compartir la información cartográfica y científica generada desde sus instituciones, en una base de datos centralizada y administrada, que permita ser consultada, descargada y eventualmente retroalimentada con información específica, que facilite la toma de dediciones por medio de geovisores disponibles y de libre acceso, incentivando el uso y desarrollo de aplicaciones geográficas como ins-

trumentos para tomar decisiones en las áreas marinas del país.

La información publicada en este documento escrito, como la herramienta online, procede de distintas entidades, fuentes y técnicos, por lo que algunos pueden estar regulados por el régimen legal sobre derechos de autor y de propiedad intelectual o industrial, igualmente no se garantiza la precisión de los datos debido a procesos de captura y/o ajuste, o bien por no estar actualizada en la fecha que se acceda a los datos.

El trabajo de campo podría complementar el análisis y el resultado final de este proyecto, como método de investigación, teniendo en cuenta sus ventajas y limitaciones del mismo, puesto que establece un contacto directo con la zona de estudio, observando y corroborando la dinámica ecológica, biológica, geomorfológica y antropológica, que no siempre se hace evidente en documentos teóricos.

## Referencias

- Acuña, J., Cortés, J., y Murillo, M. (1996). Mapa de sensibilidad ambiental para derrames de hidrocarburos en las costas de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44(3) /45(1), 463-470.
- Alonso, D., Vides, M., y Londoño, M. (2002). Amenazas y riesgos ambientales en las zonas costeras colombianas. *Serie de Publicaciones Periódicas*, 692-5025(1), 131 - 160.
- Alvares, O., Díaz, M. (s. f.). Metodología de cálculo de un índice de sensibilidad ambiental. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Orlando\\_Alvarez3/publication/43653105\\_Incidencia\\_de\\_factores\\_geomorfologicos\\_sobre\\_los\\_impactos\\_al\\_medio\\_en\\_zonas\\_litorales\\_por\\_la\\_actividad\\_petrolifera\\_en\\_Cuba\\_II\\_Litoral\\_Varadero\\_-\\_Cardenas/links/54b400ed0cf2318f0f96a984](https://www.researchgate.net/profile/Orlando_Alvarez3/publication/43653105_Incidencia_de_factores_geomorfologicos_sobre_los_impactos_al_medio_en_zonas_litorales_por_la_actividad_petrolifera_en_Cuba_II_Litoral_Varadero_-_Cardenas/links/54b400ed0cf2318f0f96a984).
- Bravo, E. (2007). Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. *Acción Ecológica*, 2007(5), 2-52.
- Burton, I., & Kates, R. (1964). The Perception of Natural Hazards in Resource Management. *Natural Resources Journal*, 3(3), 412-441.
- Cajiao, M. (2003). Régimen legal de los recursos marinos y costeros en Costa Rica. San José, Costa Rica: Fundación AMBIO.
- Cajiao, M., Florez M., González, A., Hernández, P., Martans, C., Porras, N., y Zornoza, J. (2006). Manual de Legislación Ambiental para los países del corredor marino de conservación del Pacífico Este Tropical. San José, Costa Rica: Fundación Marviva
- Capone, D., & Bauer, J. (1992). Microbial processes in coastal pollution. *Environmental Microbiology*, 2, 191-238.
- Celis, J. (2009). Efectos de los derrames de petróleo sobre los hábitats marinos. *Ciencia Ahora*, 12(24), 22-30.
- Ciselli, G. (2011). Una reflexión sobre la gobernanza de los riesgos ambientales: el caso de la megaminería en Esquel (Chubut). *Hermeutic*, 2011(11), 1-13.
- Comisión Centroamericana de Transporte Marítimo, COCATRAM. (2012). Términos de referencia para la actualización y elaboración de los mapas de sensibilidad ambiental y socioeconómico en Centroamérica para la respuesta de ante derrames de hidrocarburos. Recuperado de <http://www.cocatram.org.ni/>

TDR%20Mapas%20de%20Sensibilidad%20Ambiental%20y%20Socioeconomico\_Derrame%20Hidrocarburos%20CA.pdf

COCATRAM. (2012). Regímenes de indemnización. Trabajo presentado en la XIX Reunión de la Red de Cooperación Regional de Autoridades Marítimas de Centroamérica y República Dominicana. Ciudad de Panamá, Panamá. Recuperado de <http://www.cocatram.org.ni/Regimenes%20de%20Indemnizacion%20Derrames%20de%20Hidrocarburos.pdf>

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, CNE. (2012). Deficiencias del índice de fragilidad ambiental en la valoración de las amenazas naturales para la planificación territorial. En Torno a la Prevención, 2012(9), 1-9.

Confederación Empresarial de la Provincia de Alicante, COEPA. (2007). El riesgo ambiental, guía de gerencia de riesgos ambientales. Recuperado de <http://www.coepa.es/GuiasMA/Riesgo%20Ambiental%20def.pdf>

Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, Convenio de Ramsar. (2015). El Cuarto Plan Estratégico para 2016 – 2024. Ponencia presentada en la XII Reunión de la Conferencia de las Partes. Punta del Este, Uruguay. Recuperado de [http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/4th\\_strategic\\_plan\\_2016\\_2024\\_s.pdf](http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/4th_strategic_plan_2016_2024_s.pdf)

De Bolos, M. (1992). Manual de Ciencia del Paisaje. Teoría, métodos y aplicaciones. Barcelona, España: Masson.

Decreto Ejecutivo 32967 MINAE. Diario Oficial La Gaceta Costa Rica, San José, Costa Rica, 04 de mayo de 2006.

Detenido barco que vertió diésel en puerto Limón (16 de mayo de 2008). La Nación. Recuperado de [http://www.nacion.com/In\\_ee/2008/mayo/16/pais1539012.html](http://www.nacion.com/In_ee/2008/mayo/16/pais1539012.html)

Echarri, L. (1998). Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Disponible en <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/00General/Principal.html>.

El desastre de ‘Deep Water Horizon’ provocó una lluvia de crudo en el fondo del Golfo de México (28 de octubre de 2014). Europa Press. Recuperado de Environmental Systems Research Institute, ESRI. (2016). Clasificar campos numéricos para simbología graduada. Recuperado de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/working-with-layers/classifying-numerical-fields-for-graduated-symbols.htm>.

GitHub. (2016). Pgmodeler/pgmodeler. Recuperado de <https://github.com/pgmodeler/pgmodeler>

Harper, J., Howes, D. & Reimer, P. (1991): Shore-Zone mapping System for use in Sensitivity Mapping and Shoreline Protection. Presentada en el 14° Program Arctic and Marine Oil Spill Program, AMOC. Vancouver, Canadá.

Hernández, R. y Urrutia, F. (1998). Ausencia de una Legislación que proteja la Costa Marina, del Puerto de Acajutla ante la Contaminación Provocada por Vertidos Industriales 1994-1998 (Tesis de Licenciatura). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador. Recuperado de <http://www.csj.gob.sv/BVirtual.nsf/0/726eb2ae7e3a5fdf062575cf-005d13f0?OpenDocument>

Jiménez, J. (2013). Ordenamiento Espacial Marino: Una Guía de Conceptos y Pasos Metodológicos. Recuperado de [http://www.marviva.net/Publicaciones/marviva\\_folleto\\_oem\\_esp\\_web.pdf](http://www.marviva.net/Publicaciones/marviva_folleto_oem_esp_web.pdf)

Kann, E. y Muñoz, J. (2005). El petróleo no es lo que parece. Recuperado de [http://www.ubp.edu.ar/todoambiente/templates/monografias/petroleo\\_no](http://www.ubp.edu.ar/todoambiente/templates/monografias/petroleo_no).

Kates, R. (1970). Human Perception of the Environment. *International Social Science Journal*, 22(4), 648-660. Recuperado de <http://www.rwkates.org/pdfs/a1970.02.pdf>

La catástrofe de la plataforma Deepwater Horizon: el coste de una irresponsabilidad (27 de noviembre de 2012). *Diario Responsable*. Recuperado de <http://diarioresponsable.com/opinion/16097-rse-catastrofe-deepwater-horizonirresponsabilidad>

Lacovella, S. & Youngblood, B. (2013). *GeoServer Beginner's Guide*. Recuperado de [https://www.lifewatchgreece.eu/sites/default/files/GeoServer%20Beginner%E2%80%99s%20Guide%20\[eBook\].pdf](https://www.lifewatchgreece.eu/sites/default/files/GeoServer%20Beginner%E2%80%99s%20Guide%20[eBook].pdf)

Ley N° 3763. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 19 de noviembre de 1966.

Ley N° 5605. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 22 de octubre de 1974.

Ley N° 5980. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 16 de noviembre de 1976.

Ley N° 6043. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 02 de marzo de 1977.

Ley N° 6591. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 24 de julio de 1981.

Ley N° 7224. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 9 de abril de 1991.

Ley N° 7291. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 3 de agosto de 1992.

Ley N° 7317. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 30 de octubre de 1992.

Ley N° 7414. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 13 de junio de 1994.

Ley N° 7416. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 30 de junio de 1994.

Ley N° 7554. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 04 de octubre de 1995.

Ley N° 7575. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 13 de febrero de 1996.

Ley N° 7614. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 27 de agosto de 1996.

Ley N° 7627. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 23 de octubre de 1996.

Ley N° 7906. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 24 de setiembre de 1999.

Ley N° 7938. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 19 de octubre de 1999.

Ley N° 8059. *Diario Oficial La Gaceta Costa Rica*, San José, Costa Rica, 12 de diciembre de 2000.

Mancera, J., Gavio, B. y Lasso, J. (2013).

Principales amenazas a la biodiversidad marina. *Actual Biol*, 35(99), 111-133. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/acbi/v35n99/v35n99a1.pdf>

Marine Geospatial Ecology Tools, MGET (s. f.). ArcGIS Tutorial. Recuperado de <http://mgel.env.duke.edu/mget/documentation/arcgis-tutorial/>

Michel, J., Zendel, S., White, M., Lord, Ch., Plank, C. & Peterson, J. (1995). Environmental Sensitivity Index Guidelines. Recuperado de [http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ESI\\_Guidelines.pdf](http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ESI_Guidelines.pdf).

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, MIDEPLAN. (2014). Región Pacífico Central plan de desarrollo 2030. San José, Costa Rica.

Naranjo, C., Arias, L. y R. Lastra, R. (2008). Metodologías para la administración de proyectos de desarrollo de software. Recuperado de <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/6318MetodologiaProyectosLSI.pdf>

Natural Resources Defense Council, NRDC. (2009). La protección de nuestros océanos y economías costeras: Evitemos riesgos innecesarios ocasionados por las perforaciones en alta mar. Recuperado de <http://www.laondaverde.org/laondaverde/oceans/offshore/files/offshore.pdf>

Niederst, J. (2012). Learning Web Design: A Beginner's Guide to HTML, CSS, JavaScript, and Web Graphics. Recuperado de <http://www.reedbushey.com/60Learning%20Web%20Design%204th%20Edition.pdf>

Núñez C. (2013). Clasificación de la línea de costa según grado de sensibilidad ambiental ante derrames de hidrocarburos en el

golfo de Nicoya para el año 2012. *Revista Geográfica de América Central*. 2013(51), 39-66. Recuperado de <http://www.geo.una.ac.cr/phocadownload/Revistas/Revista51/re-v.51-art.03.pdf>

Oilwatch Mesoamérica Panamá (4 de febrero 2007). Pronunciamiento de Oilwatch Sobre Derrame de Crudo el Chiriqui Grande. Recuperado de <http://oilwatchpanama.tripod.com/comunicadosarticulos/id3.html>

Organización Marítima Internacional, OMI e International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, IPIECA. (1996). Desarrollo de mapas de sensibilidad para la respuesta a derrames de hidrocarburos. OMI-IPIECA Serie de Informes. 1, 1-24. Recuperado de [http://www.cocatram.org.ni/IMO\\_Vol\\_1\\_Sens\\_Mapping\\_SP\\_1590.22KB.pdf](http://www.cocatram.org.ni/IMO_Vol_1_Sens_Mapping_SP_1590.22KB.pdf)

Orias, L., Rodríguez, F. y Aguilar, E. (s. f.). Índice de fragilidad ambiental (IFA), cantón de Siquirres, Costa Rica. Recuperado de <http://www.observatorioambiental.una.ac.cr/index.php/component/sobipro/90-indice-de-fragilidad-ambiental-ifa-canton-de-siquirres-costa-rica?Itemid=0>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA. (2016). Corredor Marino del Pacífico Este Tropical – CMAR. Recuperado de [http://www.pnuma.org/documento/taller%20mamiferos%20marinos/01.CMAR%20subir%20a%20web%20pdf/ESP\\_Resena%20general%20del%20CMAR.pdf](http://www.pnuma.org/documento/taller%20mamiferos%20marinos/01.CMAR%20subir%20a%20web%20pdf/ESP_Resena%20general%20del%20CMAR.pdf)

Pronunciamiento de Oilwatch Sobre Derrame de Crudo el Chiriqui Grande (2007). Oilwatch Mesoamérica Panamá. Recuperado de <http://oilwatchpanama.tripod.com/comunicadosarticulos/id3.html>.

Redacción El Tiempo (03 diciembre 1994). El Salvador otro derrame de crudo. El

Tiempo. <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-258903>.

Resolución N° 588-97 SETENA. Diario Oficial La Gaceta Costa Rica, San José, Costa Rica, 07 de noviembre de 1997.

Saborío, M. (2012). Inclusión del Concepto de Riesgo dentro del Índice de Fragilidad Ambiental (IFA) realizado para el Cantón de Liberia, Provincia de Guanacaste, Costa Rica (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19292/TFM-%20MMar%20Saborio%20Viquez.pdf?sequence=1>

Santiago, A. (2015). The book of OpenLayers 3: Theory & Practice. Recuperado de <http://samples.leanpub.com/thebookofopenlayers3-sample.pdf>

Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA. (2012). Puertos Marítimos de Centroamérica y Puestos Fronterizos de Centroamérica. Recuperado de <http://www.sieca.int/PortalData/Documentos/F91BD93D-6562-4EA9-8E03-774F12BB6647.pdf>

Servicio Geológico Mexicano, SGM. (2014). Introducción Sistemas de Información Geográfica. Recuperado de <http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/introduccion-sig>

Sistema d'observació i predicció costaner de les Illes Balears, SOCIB. (2010). Sensibilidad Ambiental de la Costa (métodos). Recuperado de <http://www.socib.eu/?seccion=siasDivision&facility=EnvironmentalSensitivityCoastsMethod>

Sistema Nacional de Áreas de Conservación, SINAC. (2016). Área de Conservación Pacífico Central (ACOPAC). Recuperado de <http://www.sinac.go.cr/AC/ACOPAC/Paginas/default.aspx>

The PostgreSQL Global Development Group, PostgreSQL. (2015). About. Recuperado de <https://www.postgresql.org/about/>

The United Nations Environment Programme established the Caribbean Environment Programme, UNEP CEP. (Mayo, 2009). Informe de Misión. Ponencia presentada en Proyecto CAOP, San José, Costa Rica. Recuperado de [http://cep.unep.org/racrempeitc/actividades/activites\\_2008-2009/informe-mision-costa-rica-may-09](http://cep.unep.org/racrempeitc/actividades/activites_2008-2009/informe-mision-costa-rica-may-09)

Tribunal Ambiental Administrativo de Costa Rica, TAA. (2014). Manual de Buenas Prácticas Ambientales Marino Costeras. San José: Infoterra.

Universidad de Vigo. (s. f.). Software for species distribution data management. ModestR Software. Recuperado de <http://www.ipez.es/ModestR/>

Valverde, R. (2002). Efectos de derrames de petróleo en ecosistemas marinos. La Bici, 2(2). Recuperado de <http://www.grupoadela.org/labici/02efectos.html>

Wotherspoon, P., Marks, D., Solsberg, L. y West, M. (1997). Guía para el desarrollo de mapas de sensibilidad ambiental para la planificación y respuesta ante derrames de hidrocarburos. Montevideo, Uruguay: (s.n.).

Wotherspoon, P., y Solsberg, L. (2005). Cómo elaborar un Plan Nacional de Contingencia ante derrames de hidrocarburos. Montevideo.