

Desarrollo de Sistemas de Información Geográfica aplicados a la mejora de la seguridad marítima

Resumen.

La Universidad de Cantabria lidera un proyecto coordinado de investigación, en el que también participan las Universidades de Cádiz y Politécnica de Cataluña. Estas Universidades han ejecutado la primera fase de un proyecto subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología español, relacionado con la Seguridad Marítima. En esta fase, hemos elaborado bases de datos sobre los accidentes marítimos en las costas españolas, 5600 registros con más de 40 campos por registro, desde 1992 hasta hoy; y sobre el tráfico marítimo, en este segundo caso empleando como fuentes de información los registros de las Autoridades Portuarias y la observación radar directa. Mediante la correlación de las bases de datos elaboradas y otras existentes, se deseamos representar el índice de riesgo marítimo por áreas. Gracias a éste, evaluaremos los riesgos de la navegación, y simularemos soluciones que los reduzcan. De igual manera, hemos desarrollado algoritmos para el cálculo del número y distribución óptima de los recursos de salvamento marítimo o de las ayudas a la navegación. El objetivo final de este proyecto es la realización de un prototipo de Sistema de Información Geográfico útil para la gestión de la seguridad marítima y la lucha contra la contaminación, en tiempo real, tanto en el ámbito portuario como en aguas costeras y alta mar. Este sistema sería capaz de conjugar la experiencia, los datos históricos, con la realidad, que vendría registrada por los datos en tiempo real vía AIS o un sistema similar. Otra funcionalidad del sistema consistiría en la gestión de protocolos y planes de contingencia, para la rápida y eficaz respuesta a los siniestros marítimos. Nuestro deseo es exponer el estado de nuestros trabajos, las metodologías, software desarrollado y algoritmos empleados, y nuestras futuras líneas de investigación.

Autores: Dr. Francisco Correa Ruiz. Profesor Titular. Dept. Ciencias y Técnicas de la Navegación y Construcción Naval. Universidad de Cantabria. c/ Germán Gamazo, 1. ETS de Náutica. 39004 Santander. Cantabria. España. Tel.: +34 942 201330. Correo electrónico: correa fj@unican.es

Dr. Javier Sánchez Espeso. Profesor Titular. Dept. Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. Avda. de los Castros, s/n. Santander. Cantabria. España. Tel.: +34 942 201791. Correo electrónico. javier.sanchez@unican.es

Dr. Rafael Ferrer Torio. Catedrático de Universidad. Dept. Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. Avda. de los Castros, s/n. Santander. Cantabria. España. Tel.: +34 942 201795. Correo electrónico. rafael.ferrer@unican.es

Dr. Francisco Sánchez Díaz de la Campa. Profesor Titular. Dept. Ciencias y Técnicas de la Navegación y Construcción Naval. Universidad de Cantabria. c/ Germán Gamazo, 1. ETS de Náutica. 39004 Santander. Cantabria. España. Tel.: +34 942 201333. Correo electrónico: sanchez f@unican.es

Capt. Andrés Ortega Piris. Profesor Asociado. Dept. Ciencias y Técnicas de la Navegación y Construcción Naval. Universidad de Cantabria. c/ Germán Gamazo, 1. ETS de Náutica. 39004 Santander. Cantabria. España. Tel.: +34 942 201350. Correo electrónico: andres.ortega@unican.es

D. Vicente Bayarri. Becario y doctorando. Dept. Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. Avda. de los Castros, s/n. Santander. Cantabria. España. Tel.: +34 942 201795. Correo electrónico.

Introducción.

Las Universidades españolas han manifestado en multitud de ocasiones su preocupación por la Seguridad Marítima. En el año 2003, por primera vez, la Seguridad Marítima apareció como una prioridad en los programas nacionales españoles de investigación, fruto de este programa, tres de las siete Universidades españolas con Escuelas de Náutica, junto con el Área de Conocimiento de Ingeniería Geográfica de la Universidad de Cantabria, están desarrollando un Sistema de Información Geográfica que deseamos ayude en la gestión de la Seguridad Marítima y la lucha contra la contaminación. Este sistema se presume que permitirá facilitar el análisis de las causas de los accidentes marítimos mediante su correlación con variables espaciales, temporales, atmosféricas y, por supuesto, con los modelos de tráfico. También, entendemos que la representación de modelos en el SIG facilitará el análisis de consecuencias de los accidentes marítimos y, a partir de este conocimiento, se aborda el cálculo de la distribución óptima de los recursos de salvamento y lucha contra la contaminación que favorezcan la disminución de los daños a las personas, el medio ambiente, los buques y sus cargas.

En resumen, estos investigadores sostienen que los SIGs son una herramienta esencial para la gestión, en tiempo real, de la Seguridad Marítima frente a las costas.

En esta comunicación, deseamos exponer la metodología de trabajo que hemos desarrollado y las dificultades que hemos encontrado.

Objetivos.

El objetivo fundamental del proyecto que estos investigadores están ejecutando es el de cuantificar los riesgos de la navegación marítima en las aguas de responsabilidad SAR españolas, en base al empleo de modelos multi-variable.

Los objetivos específicos planteados son:

- Conocer y representar la distribución espacio-temporal de los accidentes marítimos en las costas españolas. Conocer el tipo de buques que sufren los accidentes, diferenciar las clases de accidentes, sus causas y sus consecuencias.
- Conocer y representar el modelo de tráfico marítimo, general y particular para las diferentes áreas.

- Correlacionar el modelo de tráfico con el de accidentes, deducir el índice de riesgo por áreas.
- Establecer las bases para un análisis sencillo y metodológico de las causas y las consecuencias de los accidentes.

De esta manera, el esquema de trabajo es fácilmente deducible:

- Elaboración de una base de datos sobre los accidentes marítimos y su representación.
- Elaboración de una base de datos sobre el tráfico marítimo de los buques mercantes en las costas españolas y representación del mismo.
- Realización de observaciones radar de las áreas más conflictivas.
- Tratamiento de los datos obtenidos y desarrollo de los indicadores de correlación.

Elaboración y representación del modelo de accidentes.

Fuentes.

Actualmente, tenemos elaborada una base de datos que comprende todos los accidentes marítimos ocurridos en las aguas de responsabilidad SAR españolas desde enero de 1992 hasta diciembre de 2003. La base de datos es fruto de un importante trabajo en el cual se ha:

- Recopilado la información existente, en soporte papel.
- Revisado más de 100.000 documentos, más de 6000 expedientes.
- Obtenido 5600 registros válidos.

El trabajo ha sido realizado por un equipo de cuatro personas trabajando durante 9 meses. La Dirección General de la Marina Mercante ha sido nuestra fuente de información, en concreto los expedientes sobre los accidentes marítimos que ésta elabora. Estos expedientes son fruto de la investigación in situ de los mismos y suelen englobar:

- El informe del Centro Coordinador de la Emergencia.
- Informe realizado por la capitanía marítima, que a su vez puede contener:
 - Copia de los certificados del buque
 - Copia de las protestas de mar
 - Declaraciones ante los tribunales de los capitanes y otros miembros de las tripulaciones de los buques implicados.

- Reportajes fotográficos
- Informe de emisión de EPIRB.
- Informes de peritos independientes.

El comienzo de la lectura de los informes en el año 1992 fue debido al deseo de poseer un histórico superior a 10 años y porque, en este año, comenzó a operar la Sociedad Estatal de Salvamento Marítimo SASEMAR, en virtud de la ley 27/1992, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante y, como consecuencia, iniciaron su actividad los Centros Coordinadores de Emergencias Marítimas.

Para la elaboración de los formularios con los cuales llevar a cabo la base de datos consultamos y nos guiamos por:

- La Circular 849 del Comité de Seguridad Marítima de la OMI, sobre los informes de siniestros y sucesos marítimos.
- Las circulares COMSAR 22 y 27, para los sistemas de búsqueda y salvamento.
- La base de datos TRANSTAT¹.
- La base datos Lloyd's Casualty².

Asimismo, realizamos un muestreo sobre los datos que encontramos en los expedientes de los accidentes, en concreto en la cubierta descriptiva del expediente, la cual se fundamentaba en un formulario elaborado por SASEMAR. En la figura 1 podemos ver la frecuencia en las anotaciones de los datos en los diferentes campos contemplados en la cubierta-resumen del accidente, los colores se corresponden con la siguiente tabla:

Intensidad en la aparición de los datos en la cubierta descriptiva		
	1	Muy pocas ocasiones o ninguna
	2	Pocas veces
	3	Aparece en algunas ocasiones
	4	Aparece habitualmente
	5	Siempre

Tabla 1. Relacionada con la figura 1 sobre los informes de accidentes.



TRANSTAT. The Intermodal Transportation Data Base. Marine Casualty and Pollution Data Base. Bureau of Transportation. USA 2001.

² <http://www.lloydcasualty.com/mt/seasearcher/casasrch.jsp>

**SOCIEDAD ESTATAL DE SALVAMENTO
Y SEGURIDAD MARÍTIMA**

**CENTRO REGIONAL / LOCAL DE COORDINACIÓN DE SALVAMENTO
MARÍTIMO Y LUCHA CONTRA LA CONTAMINACIÓN MARINA DE**

.....

ACCIDENTE

1.- DATOS DEL ACCIDENTE Cuadrícula Afecta a la seguridad marítima ?

Referencia	Número	Fase de la emergencia	
Tipo de accidente	Causa del accidente		
Daños producidos por el buque			
Muertos	Desaparecidos	heridos	Rescatados ilesos
Primera noticia	Info		Teléfono
Meteo viento	Mar		Visibilidad
Zona	Región		Latitud Longitud
Fin emergencia (fecha)	Fin hora		Duración de la emergencia

2.- CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE

Nombre	Call Sign				Matrícula
Tipo	Eslora	Manga	Puntal	TRB	Año construcción
Radiobaliza tipo	Frecuencia				
Tripulación	Nacionalidad				
Viaje de	Para				Carga
Armador	Teléfono				Fax Telex
Domicilio	Cía. de Seguros				Latitud Longitud
Fin emergencia (fecha)	Fin hora				Duración de la emergencia

3.- PLAN DE ACTUACIÓN

Actuación	
Medios propios	Medios colaboradores

Coordinación local	Enlace
---------------------------	---------------

Figura 1. Representación de la frecuencia con la que se rellenan los datos.

Metodología, normalización y filtrado.

Teniendo en cuenta los formularios recomendados por la OMI, otras bases de datos y los datos disponibles en los expedientes elaboramos el diseño de la base de datos siguiendo el método normalizado Merise³.

Definimos cinco grupos de campos (objetos): la identificación del buque, del accidente, su localización, las variables meteorológicas y los recursos de salvamento empleados. Las principales variables registradas, propiedades de los objetos definidos, se pueden leer en la tabla 2.

Grupo	Campos
Id buque	Nombre, año de construcción, Edad, Bandera, gt, Tipo, Cl.mer., Subtipo buque.
Localización	Día, Hora, Región, Accidente en..., Lugar, Latitud, Longitud, Signo
Tipo accidente	Tipo Accidente, Causa, Daños, Detalle, Buque Apto/ No apto, P. Total, Tipo de fondo, Contaminación, Cantidad, Fallec., Desap., Heridos, Resc.ilesos
Meteorología	Viento, Dirección, Mar, Visibilidad
Tareas recursos SAR	Act.CNCS, Medios ut., Duración emergencia, n Hel, n Lan., n Re, n Av, n Otro, Rango

Tabla 2. Grupos y campos de la base de datos sobre accidentes marítimos.

De manera que una vista de las tablas que contienen algunos de los campos anotados es la que observamos en las figuras 2 y 3.

OBJECTID	NUMERO	NOMBRE	ANO_CONSTR	EDAD	BANDERA	TRB	TIPO	CLASE_MERC	SUB_TIPO_B
4565	5389	Virgen del	1997	8	ES	72	Pesquero		
4566	5390	Ria de Noya	1983	20	ES	2	Pesquero		
4567	5391	Ciudad de A	1979	24	ES	5287	Mercante		
4568	5392	Scooby	1996	7	ES	1	Otros		
4569	5393	Nalima	1974	29	GB	69	Yate		
4570	5394	Yifa 4		0	BZ	98	Pesquero		
4571	5395	Submarina I	1959	44	ES	266	Otros		
4572	5396	Virgen de a	1955	48	ES	3	Otros		
4573	5397	Pilar Dos	1994	9	ES	3	Otros		
4574	5398	Carmen del	1970	33	ES	4274	Mercante	Pass./Ferry	

Figura 2. Representación de los campos relacionados con el buque.

³ AFNOR, norma Z67-101. Recomendaciones para la gestión de proyectos informáticos.

DIA	HORA	REGION	ACCIDENTE_EN	LUGAR	LATITUD	LONGITUD	SIGNO	TIPO_ACCID	CAUSA
27-11-2003	14.10	Cataluna	Aguas coste		41.26	2.27 E		Otros	s/d
28-11-2003	11.13	Galicia	Aguas coste		42.76	-8.95 W		Otros	Mal tiempo
28-11-2003	11.50	Andalucia	Puerto. Atr	Muelle Juan	36.17	-5.38 W		Fuego y exp	Proyeccione
29-11-2003	18.14	Andalucia	Aguas coste		35.91	-5.25 W		Otros	s/d
02-12-2003	09.45	Andalucia	Aguas coste		36.7	-3.73 W		Fuego y exp	s/d
04-12-2003	12.00	Canarias	Puerto. Atr	Muelle Rein	28.13	-15.4 W		Fuego y exp	s/d
04-12-2003	16.10	Galicia	Aguas coste		43.55	-7.03 W		Varada	s/d
04-12-2003	16.30	Andalucia	Puerto. Atr	Puerto de T	36	-5.6 W		Otros	Mal tiempo
07-12-2003	12.30	Cataluna	Aguas coste		41.83	3.1 E		Varada	s/d
09-12-2003	19.00	Valencia	Puerto. Man	Puerto de D	38.78	0.19 E		Choque	s/d

Figura 3. Representación de los campos relacionados con la localización del accidente.

El contenido de cada uno de los campos fue perfectamente definido, de manera que se facilitase un posterior proceso de filtrado y normalización. En muchos de los campos, ej. “Región” ó “Tipo de accidente”, se emplearon listas de valores, con la finalidad de evitar errores.

Destacar que en los años 1992 y 1993 más del 50% de los registros resultaron ser no válidos, debido a la escasez de campos que contenían datos y, fundamentalmente, a la falta de geo-referenciación. Consecuentemente, el análisis de se ha centrado en dos quinquenios, los comprendidos entre 1994-1998 y 1999-2003.

Geo-referenciación.

Con relación a la geo-referenciación, se ha realizado la mejor de las posibles:

- bien proporcionada por los recursos de salvamento y anotada en el impreso expuesto en páginas anteriores
- ó bien deducida de anotaciones relacionadas, como demoras y/o distancias a lugares o referenciadas a los propios lugares (playas, radas, bajos...). Con relación a esta segunda se empleó la cartografía náutica digital Navi-Sailor 3000 de Transas Ltd, para la asignación de coordenadas.

Cartografía y reticulado.

La metodología del proyecto ha consistido en disponer de una cuadrícula de diferente tamaño según su proximidad a la costa con información asociada sobre los accidentes.

Los pasos seguidos se pueden resumir del siguiente modo:

- Extracción de la cartografía base: se ha dispuesto de la cartografía a escala 1/2.000.000 del IGN (Instituto Geográfico Nacional) español en el huso 30 y de la cartografía a escala 1/1.000.000 del IHM (Instituto Hidrográfico de la Marina) Para la representación de los datos, se ha elegido un sistema de coordenadas geográficas, empleando el elipsoide WGS84.

- Creación de la cuadrícula: los antecedentes en esta metodología analítica lo podemos encontrar en Whalley⁴, y más recientemente en el informe MEHRA⁵ (7,5x4 millas náuticas) y las cuadrículas empleadas por SASEMAR (7,5x5), entre otras. La cuadrícula es esencial tanto para un análisis coherente las causas y consecuencias de los accidentes, que tenga en cuenta la componente espacial. Del análisis de consecuencias se derivará la distribución de los recursos de salvamento y lucha contra la contaminación de acuerdo a criterios de accesibilidad. En la figura, se observa el reticulado empleado para las zonas SAR españolas, las cuales aparecen sombreadas. Las cuadrículas para el análisis, aquí expuestas, están fundamentadas en el informe MEHRA. En este caso, las celdas costeras son de 7,5 millas de mar por 4 de costa, doblando su dimensión a medida que nos alejamos de la franja costera hasta llegar a la celda de alta mar que abarca 60 x 32 millas.

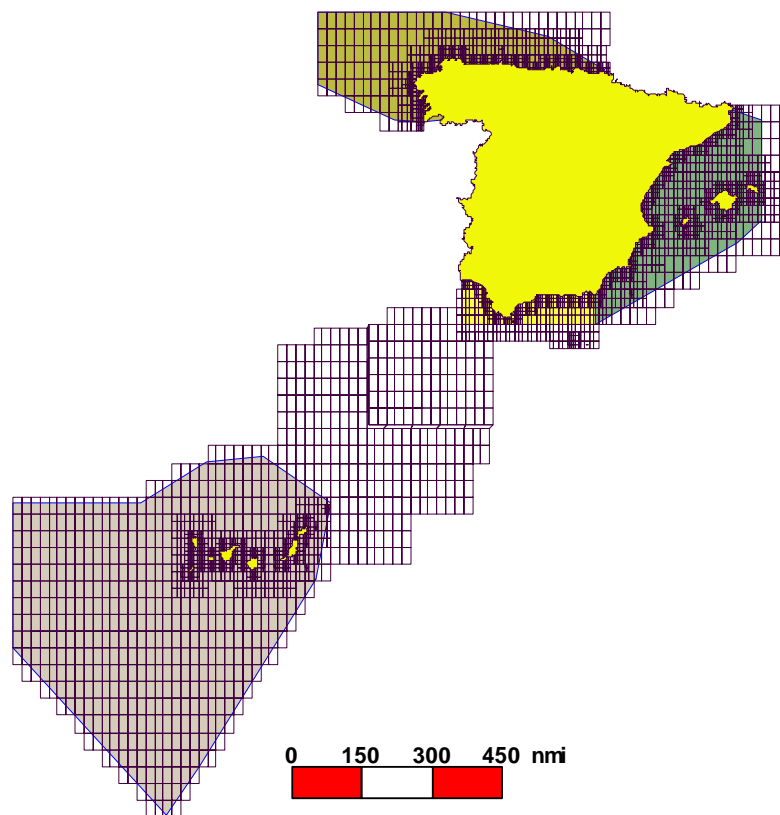


Figura 4. Cuadrículas y zonas SAR españolas.

Representación.

⁴ WHALLEY, T.P. (1982). "Marine Traffic Analysis". Journal of Navigation. Vol. 35, nº 3. pág. 466.

Para la representación de los accidentes hemos empleado un SIG (Sistema de Información Geográfico). En la figura 5, observamos una representación de todos los accidentes acaecidos en el Mediterráneo español entre 1994 y 2003.

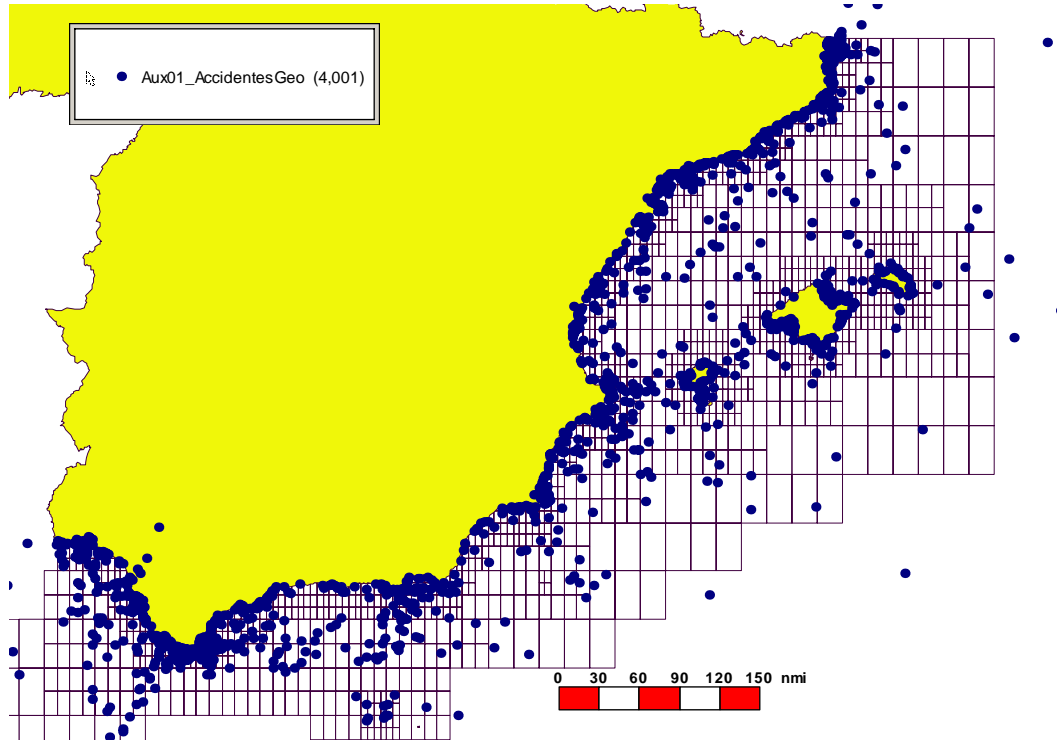


Figura 5. Representación de los accidentes marítimos en el Mediterráneo español.

Mediante filtros, podemos manejar la base de datos de accidentes desde el SIG y representar puntualmente los tipos de buques que tienen los accidentes, qué tipos de accidentes sufren, dónde se localizan las pérdidas de vidas humanas o las contaminaciones de la mar. Además, trabajando sobre el SIG, podemos pedir la información del suceso colocando un puntero sobre el punto seleccionado. Es evidente, la importancia de este tipo de análisis que tiene en cuenta la componente geo-espacial. De esta manera, esta herramienta nos permite realizar geo-estadística descriptiva de los accidentes marítimos. A continuación, exponemos varias figuras con algunos de los filtros empleados y representando los resultados obtenidos.

⁵ U.K. Government (Diciembre, 1999). *Identification of Marine Environmental High Risk Areas (MEHRA's) in the UK*. Department of the Environment, Transport and the Regions.

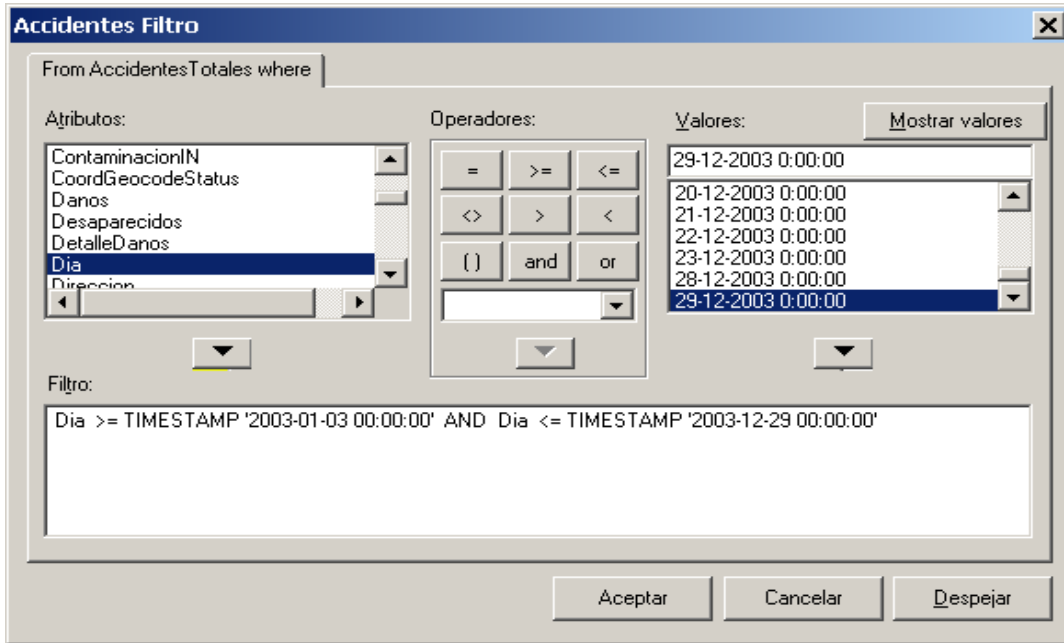


Figura 6. Ejemplo de filtro para la representación de los accidentes acaecidos en el año 2003 y que representamos en la figura 7.

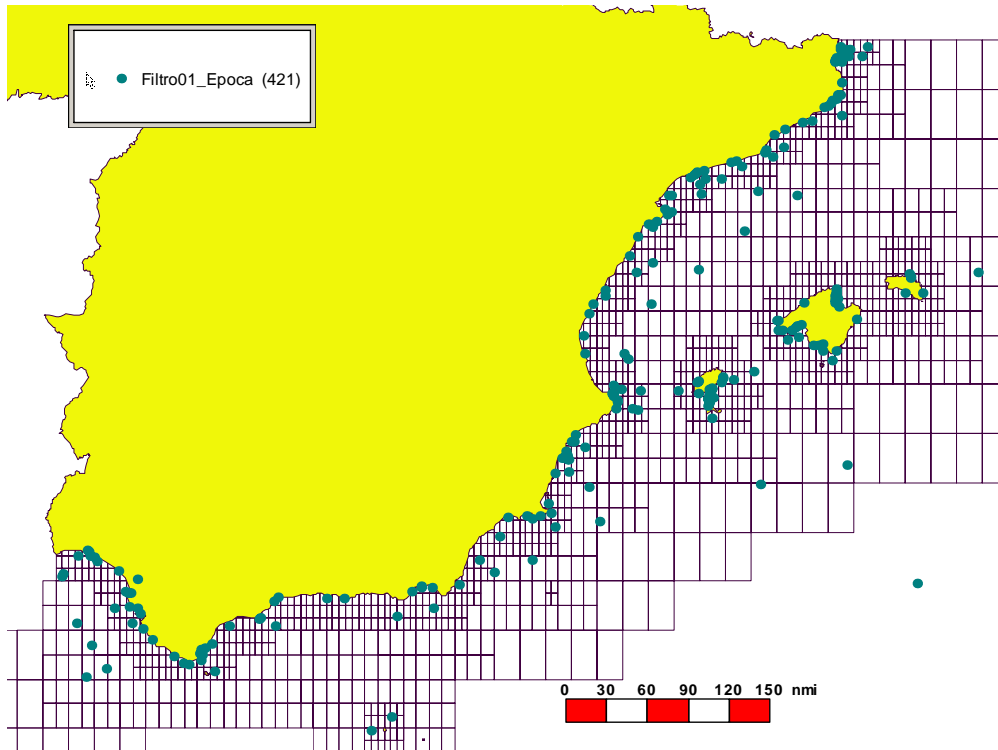


Figura 7. Representación de los accidentes acaecidos en 2003.

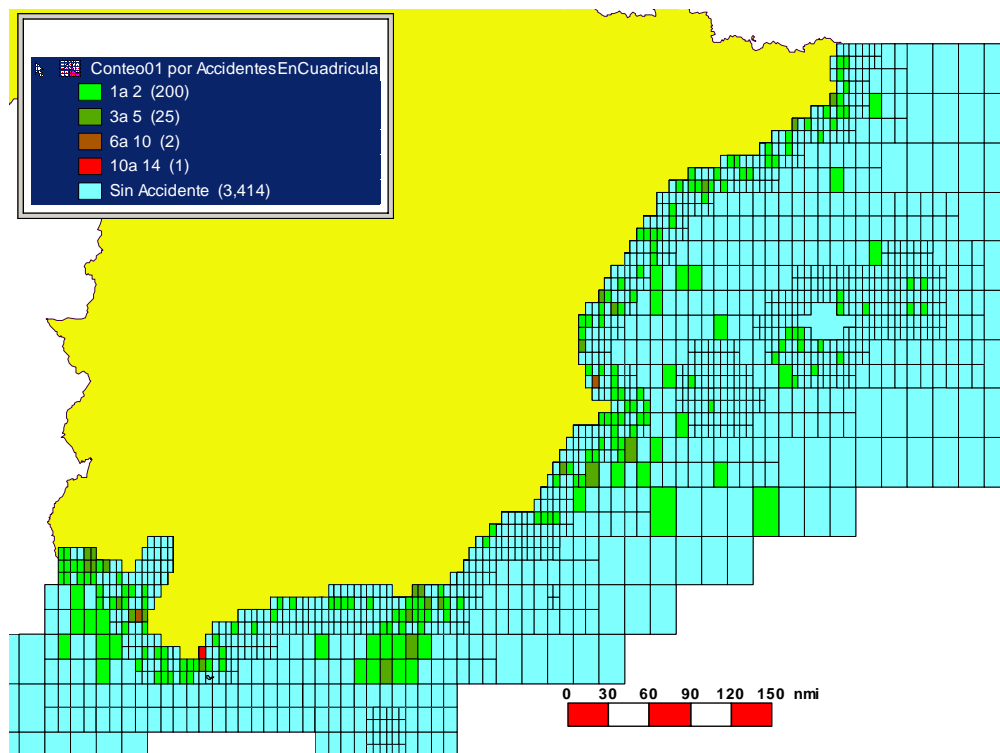


Figura 8. Conteo de accidentes por cuadrícula.

Conclusiones sobre la metodología seguida en los accidentes marítimos.

Actualmente, estamos elaborando una base de datos mucho más completa que la actual para ser rellenada, de manera normalizada y desde su puesto de trabajo, por los investigadores que poseen las capitanías marítimas, mediante formularios sencillos que distingan el tipo de accidente investigado y el tipo de buque que ha sufrido el accidente. De igual manera, estamos realizando trabajos para el análisis de los movimientos y tareas que realizan los recursos de salvamento durante sus actuaciones.

Para tener una buena visión de la realidad es muy importante que se registren todos los accidentes y el mayor número de datos sobre los accidentes marítimos de manera normalizada. Esta es la mejor garantía para el posterior análisis acertado de las causas y consecuencias de estos accidentes.

Volvemos a subrayar la importancia de manejar estas bases de datos con Sistemas de Información Geográfica que facilitan el análisis de los accidentes teniendo en cuenta varios de los factores de riesgo, tales como la localización o la hidrografía.

Medida y representación del modelo de tráfico marítimo de buques mercantes.

Fuentes.

Para la elaboración del modelo general del tráfico de buques mercantes frente a nuestras costas acudimos a las Autoridades Portuarias españolas. De éstas demandamos sus registros de entrada y salida de buques durante los años 2002 y 2003. Datos globales sobre el tráfico marítimo de buques mercantes los podemos encontrar en la página web de Puertos del Estado⁶. Una de las tareas más laboriosa fue la normalización de los datos obtenidos de las diferentes Autoridades Portuarias, en España coexisten 27. En la figura 9 observamos el resultado final de esta normalización, dónde además de un identificador del movimiento, aparecen la fecha y hora de entrada y salida del buque en puerto, el código ISO del puerto, los códigos del país y puerto de origen y destino, el código del país de la bandera del buque, su nombre y tipo según la autoridad portuaria y Fairplay y un identificador que nos permite abundar en las características del buque, mediante la enciclopedia Fairplay⁷.

The figure displays two screenshots of a normalized shipping movement database table. The top screenshot shows a table with columns for movement ID, dates, times, ports, and codes. The bottom screenshot shows a table with columns for movement ID, name, type, and various codes.

IDTraf	InDate	InTime	OutDate	OutTime	Port	FNCode	FPCode	FromCode	TNCode	TPCode	ToCode	FlagCode
26321	28/08/2003	12:30	28/08/2003	15:30	ESSDR	GB	PLY	GBPLY	GB	PLY	GBPLY	FR
26322	28/08/2003	20:25	29/08/2003	15:00	ESSDR	GB	SOU	GBSOU	GB	SOU	GBSOU	FI
26323	28/08/2003	18:35	31/08/2003	10:40	ESSDR	EG	DAM	EGDAM	ES	ZZZ	ESZZZ	PA
26324	29/08/2003	7:30	29/08/2003	12:25	ESSDR	BE	ZEE	BEZEE	ES	PAS	ESPAS	NO
26325	29/08/2003	10:05	29/08/2003	18:05	ESSDR	BE	ZEE	BEZEE	ES	VGO	ESVGO	JP
26326	29/08/2003	13:45	29/08/2003	17:25	ESSDR	BE	GNE	BEGNE	PT	SET	PTSET	ES
26327	29/08/2003	16:20	04/09/2003	12:25	ESSDR	CI	ABJ	CIABJ	ES	ZZZ	ESZZZ	PA
26328	29/08/2003	23:05	30/08/2003	12:00	ESSDR	ES	BIO	ESBIO	IQ	IKD	IQIKD	GB
26329	30/08/2003	7:35	30/08/2003	16:00	ESSDR	GB	SOU	GBSOU	FR	LEH	FRLEH	NO
26330	31/08/2003	4:10	31/08/2003	16:55	ESSDR	LV	VNT	LWNT	ES	ZZZ	ESZZZ	AG
26331	01/09/2003	3:00	02/09/2003	16:00	ESSDR	GB	FOY	GBFOY	ES	ZZZ	ESZZZ	AG
26332	01/09/2003	3:00	01/09/2003	16:20	ESSDR	IE	ORK	IEORK	ES	ZZZ	ESZZZ	AG
26333	01/09/2003	22:30	02/09/2003	16:45	ESSDR	FR	LAV	FRLAV	ES	BIO	ESBIO	FR

IDTraf	Name	Type	Type_Fair	SubType_Fair	GT	TM	IDShipFairPlay
26321	VAL DE LOIRE	RO-RO PASAJEROS	Pass./Ferry	Passenger/Veh	31788	4110	46208
26322	CETAM VICTORIAE	RORO COCHES NUEVOS	Roro	Ro-Ro	10100	6615	10271
26323	MARITIME ANTALYA	GRANELEROS SOLIDOS	Bulker	Bulk Carrier Ore	30053	52454	27552
26324	AUTOPRIDE	RORO COCHES NUEVOS	Roro	Vehicle Carrier	11591	0	6430
26325	TRITON HIGHWAY	RORO COCHES NUEVOS	Roro	Vehicle Carrier	45783	14484	45462
26326	ARROYOFRIO DOS	RORO MERCANCIAS	Roro	Ro-Ro	8126		5617
26327	ESSCO HOPE	CARGA GENERAL	Bulker	Bulker	3511	4620	14759
26328	CEC VENTURE	CARGA GENERAL	Dry Cargo	Multi-Purpose S	2815	4110	10104
26329	AUTOPRESTIGE	RORO COCHES NUEVOS	Roro	Vehicle Carrier	11596		6429
26330	VERDI	GRANELEROS LIQUIDOS (TAN	Tanker	Chemical/Oil T	2195	3079	46597
26331	FEED STAR	CARGA GENERAL	Dry Cargo	Multi-Purpose S	1473	2097	15438
26332	JULIA ISABEL	CARGA GENERAL	Bulker	Bulker	2446	3735	22620
26333	POINTE DU CORMORAN	GRANELEROS LIQUIDOS (TAN	Tanker	Chemical Tank	3446	5453	35100

Figura 9. Base de datos normalizada del movimiento de buques en puerto.

⁶ <http://www.puertos.es/index2.jsp?langId=1&catId=1014807580631&pageId=1039433568375>

⁷ <http://www.lrfairplay.com>. Lloyd's Register Fairplay. World Shipping Encyclopaedia. July, 2004.

Para completar el modelo de tráfico solicitamos a SASEMAR, sin éxito, los registros del tráfico internacional que navega frente a nuestras costas, sin tocar nuestros puertos, procedentes de las torres de control de tráfico de Finisterre y Tarifa (Estrecho de Gibraltar).

Diseño del modelo de tráfico.

Una vez obtenidos los datos debíamos diseñar un modelo de tráfico lo más sencillo posible pero que representase la realidad del tráfico de la forma más ajustada posible. Nos decantamos por diseñar una red nodal jerárquica, con tres tipos de nodos:

1. Nodos fuente-sumidero, 25 en total, que representan la salida y/o entrada de los buques en los diferentes puertos y los empleamos para describir el tráfico local de los mismos.
2. Nodos de enlace costeros, otros 25 nodos, que nos sirven para enlazar las derrotas costeras de los buques.
3. Nodos internacionales, de entrada y salida en la red costera, 16 en total, que nos permiten enlazar el tráfico costero con las principales rutas marítimas.

En total, de las posibles combinaciones de estos nodos resultaron 135 derrotas marítimas de los buques que arriban y/o zarpan de nuestros puertos o bien navegan frente a nuestras costas en tráficos internacionales.

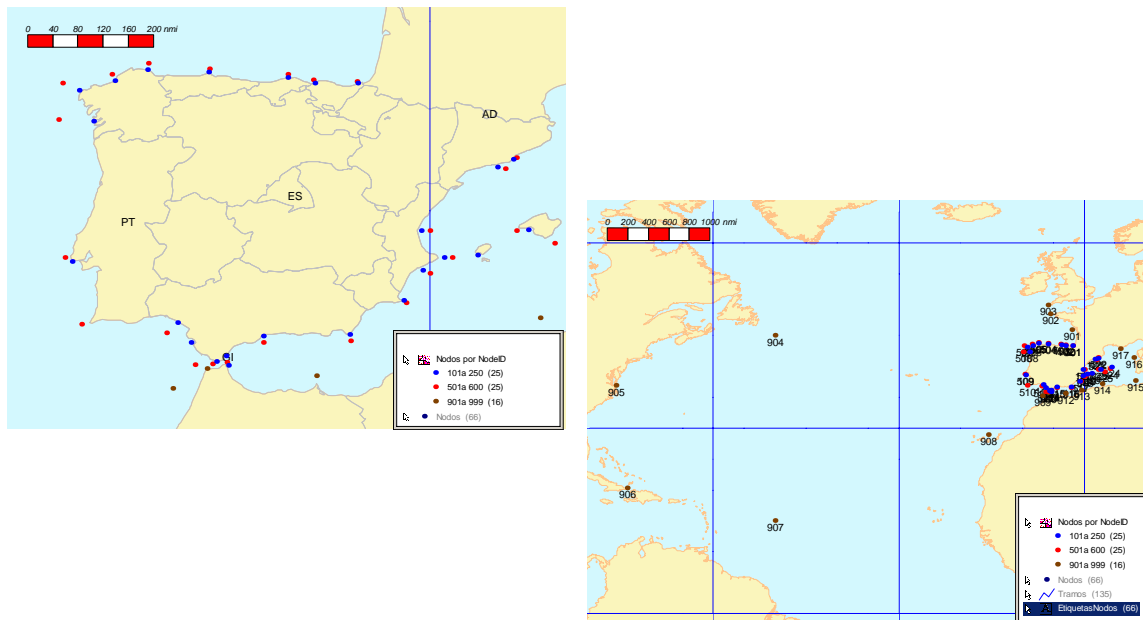


Figura 10. Diseño de la red nodal.

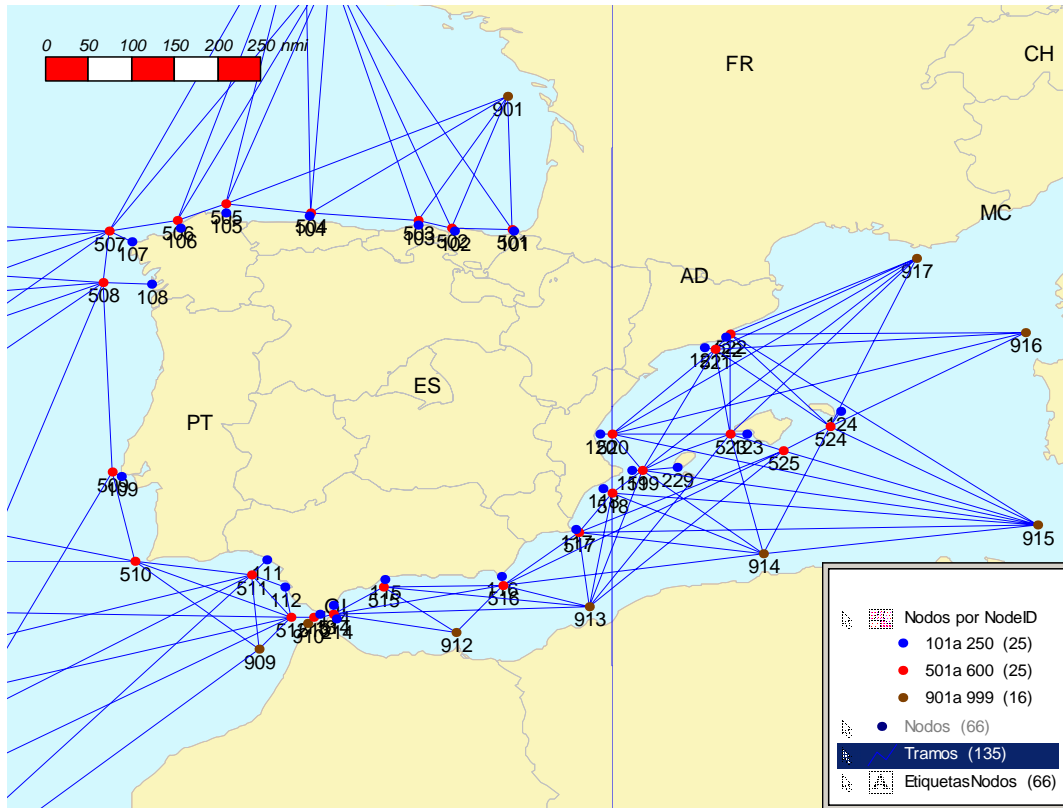


Figura 11. Representación de las derrotas o tramos entre nodos.

De forma sintética, con herramientas SIG se realizan tres tareas:

- Con relación al tráfico, la codificación de puertos a nodos.
- Con respecto a las derrotas, la determinación de todas y cada una de las rutas entre los nodos de la red.
- Y, finalmente, el análisis de las rutas entre nodos, por diversos atributos: tráfico total, tráfico por épocas, por tipo de buque, tamaño, edad, etc.

Indicar que el sistema que hemos diseñado es dinámico, esto es, la aportación de nuevos datos supone nuevos resultados.

En la figura 12, representamos parte de una extensa tabla donde relacionamos cada puerto del mundo, que puede ser bien origen o destino de los buques, con un nodo de nuestra red, donde el buque se incorpora o sale de la malla de derrotas dibujada. Es evidente, que todos los puertos de algunos países están relacionados con un único nodo, por lo cual nos basta con consultar el código del país del puerto de origen y/o destino del buque. Por el contrario, para determinados países, como Francia, Reino Unido, Marruecos, la asignación de nodos a sus puertos ha sido realizada uno por uno.

ID	Node	CodeISO	CodeCountry	CodePort	PortName
340	903	GBLDY	GB	LDY	Londonderry
305	903	GBDNU	GB	DNU	Dunoon
336	903	GBLIV	GB	LIV	Liverpool
307	903	GBECS	GB	ECS	Eccles
308	903	GBELL	GB	ELL	Ellesmere Port
309	903	GBFNT	GB	FNT	Finnart
310	903	GBFIS	GB	FIS	Fishguard
311	903	GBFLE	GB	FLE	Fleetwood
299	903	GBCFG	GB	CFG	Carrickfergus
280	903	GBBNG	GB	BNG	Bangor
378	903	GBWPT	GB	WPT	Warrenpoint
272	902	GBJER	GB	JER	
273	902	GBGCI	GB	GCI	
274	903	GBABA	GB	ABA	Aberaeron
275	903	GBAPP	GB	APP	Appledore

Figura 12. Asignación de nodos a los puertos.

Deseamos subrayar la bondad de nuestro diseño frente a los modelos clásicos de representación del tráfico marítimo, los cuales emplean matrices orígenes – destino. En el diseño que explicamos la definición de rutas es relacional y nos permite conocer:

- Los tramos y nodos de cada ruta.
- El orden en que se recorren.

Representación del modelo de tráfico marítimo.

En el SIG podemos preparar prácticamente cualquier tipo de consulta, en el ejemplo de las figuras 13 a 15, representamos el tráfico diario de buques tanque en la época 2003.

El SIG nos realizará los conteos por tramos, tal como podemos ver en la figura 14, el resultado gráfico final lo podemos observar en la figura 15.

Editar consulta [X]

Nombre de la consulta:

Descripción:

T202 RutasTráficoBarcosTramos

Filtro:

Figura 13. Ejemplo de consulta en el SIG

T204 CriterioRutasTramosConteo	
EdgeID	TraficoTramos
121521	2571
519521	1357
122522	275
521522	275
214514	92
901502	23
902502	489
903902	24
904507	17
905507	25
906507	17
908508	59
909510	35
913514	53
914516	712
915914	640
917519	207

Registro 32 de 98

Figura 14.

Conteo de

buques tanque por tramos.

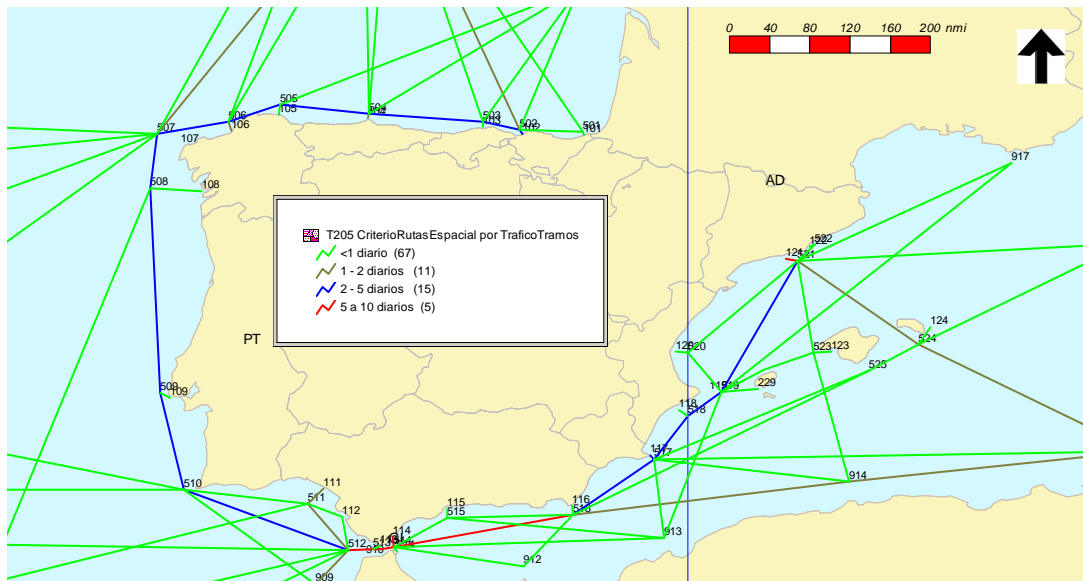


Figura 15. Representación del tráfico de buques tanque frente a las costas españolas.

Conclusiones sobre la metodología seguida en la representación del modelo del tráfico.

La utilidad y versatilidad de este sistema de representación del tráfico marítimo de buques mercantes entendemos que es indudable.

Para que el sistema sea completo y el modelo fiable sería importante que las torres de control de tráfico nos facilitasen sus registros.

En un futuro próximo se podría realizar cualquier tipo de representación en tiempo real gracias al AIS, mucho más allá de las actuales representaciones puntuales que podemos encontrar en la red⁸, las cuales tan sólo nos indican el estado del tráfico, en un momento determinado, en el área de influencia del receptor terrestre.

Algunos de los archivos de algunas de las Autoridades Portuarias no los hemos podido añadir a la base de datos del tráfico por falta de alguna de las variables, por ejemplo, los puertos de origen y destino. Nuestro deseo es que existiera un modelo normalizado facilitado por las Autoridades Portuarias diariamente, que no tan sólo nos permitiría ver el histórico del tráfico sino también prever los futuros tráficos, en un horizonte cercano de un día a una semana. El tiempo medio que puede estar un buque en la red, o para el que podríamos tener una predicción meteorológica fiable.

Sería importante conocer también la naturaleza de las cargas que transportan los buques para poder evaluar determinados riesgos de forma fiable, por ejemplo, el riesgo de vertido de hidrocarburos en función del número de toneladas de hidrocarburos que pasen por un determinado tramo.

Al sistema diseñado es fácil incorporar bases de datos adicionales, por ejemplo del “París MOU”⁹ sobre los buques detenidos por las Autoridades de los diferentes Estados, o encontrados con deficiencias. Sería un elemento valioso a tener en cuenta para la evaluación de determinados riesgos de la navegación marítima frente a las costas.

Medida y representación del modelo general de tráfico marítimo.

El modelo del tráfico estaría incompleto si sólo considerásemos el tráfico de buques mercantes. A éste hay que sumar el tráfico de:

1. Los buques pesqueros. Hoy en día, España tiene una flota censada ligeramente superior a los 16.000 buques¹⁰, está era de 16.700 buques en el año 2000¹¹.
2. Las embarcaciones de recreo. En España hay matriculadas más de 300.000, las cuales tienen base en puertos españoles, y tienen un índice de crecimiento anual cercano al 8%.

⁸ <http://www.aislive.com>

⁹ <http://www.parismou.org/ParisMOU/Detention+Lists/xp/menu.3974/default.aspx>

¹⁰ <http://www.mapya.es/pesca/pags/triptico/espanol.pdf>

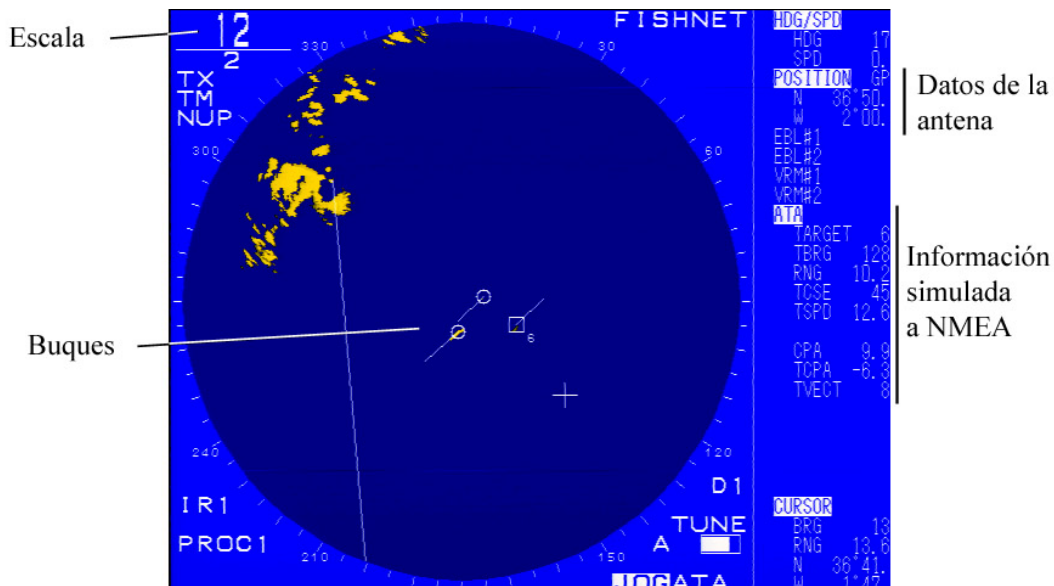
¹¹ <http://www.fao.org/fi/fcp/es/ESP/profile.htm>

- Otras embarcaciones, como las auxiliares de los puertos, los remolcadores, dragas, gánguiles, aljibes, embarcaciones de vigilancia, de salvamento, buques de guerra, etc. En España hay censados más de 1.000 buques de más de 100 gt, de estas características¹².

De esta forma, la única manera posible de conocer bien el modelo de tráfico es mediante un seguimiento radar. Para ello, gracias a la colaboración de la Dirección General de Aduanas, equipamos un coche con los elementos de observación necesarios: radar, ordenador para el registro de las imágenes, GPS, radiogoniómetro en banda VHF, VHF, y telescopio. La metodología no podía consistir tan sólo en registrar imágenes radar para su posterior análisis sino también en identificar los diferentes buques y embarcaciones.

Diseñamos una campaña de observaciones que abarcase las principales rutas de la costa española, y procedimos a efectuar registros del tráfico en 8 zonas: Cabo de Gata, Cabo de Palos, Calpe, Sacratif, Guadalmesí, Touriñan. Cabo Peñas, y Castro Urdiales. Registramos el tráfico que navegaba en un pasillo de 24 millas de ancho, desde la costa. Obtuvimos más de 250 Gb de imágenes, aproximadamente cada imagen tenía 1 Mb, las imágenes del radar eran registradas cada 3 segundos. La observación radar en cada punto fue como mínimo de 24 horas, divididas en diferentes períodos horarios a lo largo de tres o más días, dependiendo de las variables meteorológicas.

La captura y el posterior procesamiento de las imágenes se realizaron con Image Pro Plus.



¹² <http://www.mfom.es> Subdirección General de Seguridad Marítima y Contaminación. Registro Marítimo Español. Estructura de la flota. Todos los datos que se muestran en la página citada están actualizados al 31 de enero de 2003.

- Tipo de movimiento: caótico. Aunque los buques tienen una tendencia a lo largo de las imágenes; su posición en imágenes consecutivas puede considerarse como errática.
- Permitir seguimientos con una longitud mínima de 4 imágenes. Es decir, que las trayectorias estimadas tienen que aparecer en, al menos, 4 imágenes.

Una vez configuradas las opciones se ejecuta el seguimiento automático, el cual mide y superpone todas las imágenes del período de observación, aplicando una LUT (tabla indexada de asignación). Una vez confeccionados los seguimientos, con las condiciones previamente establecidas; se crea una tabla con las coordenadas de cada buque en cada instante.

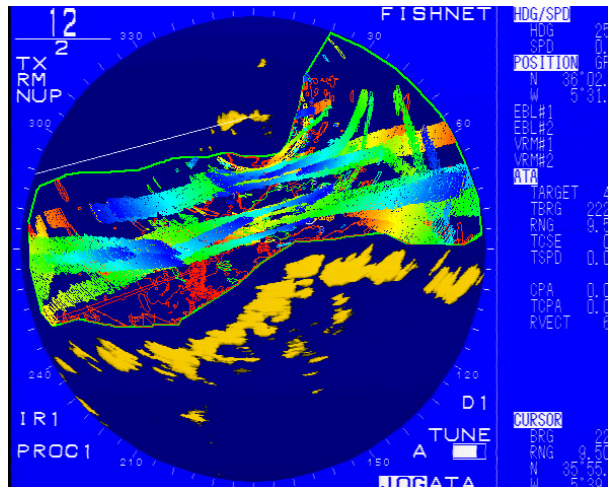


Figura 8: Superposición de imágenes de un período de observación

Una vez exportados los datos de las trayectorias, éstos han sido depurados debido a la existencia de ruidos, por ejemplo debido a las olas.

El siguiente paso ha consistido en geo-referenciar los datos extraídos. Hemos transformado las coordenadas desde un sistema local (x, y) a coordenadas GPS en el elipsoide WGS84.

Para poder realizar la transformación ha sido necesario conocer:

1. Posición media de la antena durante los períodos de observación.
2. Coordenadas de la antena en el sistema local.
3. Factor de escala de la imagen.

Conocidos los datos anteriores, y teniendo en cuenta la precisión de las coordenadas radar, se han estimado las coordenadas GPS del origen del sistema local x e y, a partir de la posición de la antena, y a continuación el factor escalar de los datos.

Las trayectorias han sido representadas superponiendo todas las horas y, finalmente, se han volcado a un SIG.

Sobre estas imágenes hemos medido las siguientes variables: flujo de buques, densidad del tráfico, rumbos a los que se navega, velocidades, distancia de paso entre buques, número de encuentros, ángulo entre los encuentros y, distancia de paso entre los buques y la costa.

Conclusiones sobre la metodología seguida en la representación del modelo general del tráfico.

- Disponer de datos radar más continuos, en tiempo y espacio, lo cual nos permitirá conocer un modelo real del comportamiento del tráfico.
- Debemos optimizar los parámetros de captura de datos RADAR para aumentar el rendimiento.
- La integración de datos AIS es inmediata en el modelo desarrollado.

Estado actual de los trabajos y líneas de investigación abiertas.

Estamos desarrollando modelos probabilísticas de los accidentes, generales y por áreas. Asimismo, estamos intentando correlacionar variables tales como el tipo de buque, su edad, el rumbo al que navega o el flujo del tráfico con los diferentes tipos de accidentes, los modelos que actualmente estamos empleando son de regresión. La validación de los modelos se realizará a partir de los históricos de accidentes y sus condiciones de contorno. Nuestro objetivo inmediato es tener una visión lo más precisa de la realidad, accidentes marítimos y tráfico que los genera, de manera que podamos inferir modelos matemáticos representativos de ésta, que la expliquen de manera lógica. Es decir, deseamos conocer la forma y ajustar las constantes de nuestras expresiones de regresión. Más adelante, también deberán ser representadas las incertidumbres.

Nuestro deseo es que a partir del modelo de tráfico, existente en un momento determinado, podamos concluir cuales son los riesgos para la navegación y cuales son las consecuencias más probables de éstos.

El siguiente paso será el realizar análisis de causas de los accidentes por áreas, lo que permitirá obtener conclusiones, recomendaciones, incluso normativas, para evitarlos.

El análisis de consecuencias nos permitirá la distribución óptima de los recursos de salvamento y lucha contra la contaminación, mediante modelos matemáticos ya desarrollados por estos autores¹³.

Alcanzados estos objetivos, podremos incluso relacionar los índices de riesgo por áreas con mapas de sensibilidad de la costa, con la finalidad de ordenar el tráfico para evitar vertidos en las áreas marítimas más sensibles a éstos o, incluso, conocer cuales pueden ser las mejores zonas de refugio.

De igual manera, podremos y deberemos simular los modelos de tráfico alternativos propuestos, con la finalidad de conocer sus riesgos.

Una vez conocidos perfectamente los riesgos del tráfico marítimo frente a nuestras costas y las probables consecuencias de éstos, será el momento de redactar los planes de contingencia y los protocolos de actuación que permitan la mayor eficacia posible en el salvamento de vidas humanas y bienes y en la lucha contra la contaminación.

Para esta gestión integral de la Seguridad Marítima, nuestro proyecto, a medio plazo, es desarrollar un prototipo de SIG que pueda operar y gestionar todas las variables citadas, en tiempo real y en red.

Conclusiones.

- Se han desarrollado modelos de accidentes, tráfico y comportamiento capaces de evidenciar situaciones actuales.
- La correlación geo-estadística de los modelos desarrollados va a permitir:
 - Mejora de la seguridad marítima.
 - Establecer ubicaciones óptimas de los recursos SAR.
 - Simular riesgos y adoptar protocolos de actuación.

¹³ **CORREA, F.J. et al.** (2002). *“Proposal of a mathematical model for optimizing resources in marine SAR services”*. IAMU 3rd. GENERAL ASSEMBLY. Maine.