

Transformaciones Territoriales y de la Dinámica Litoral en la Bahía de Algeciras: Aplicaciones de los SIG y la Teledetección

Vallejo Villata, I
Sánchez Rodríguez, E
Ojeda Zújar, J.
*Dpto. Geografía física y análisis geográfico regional
Universidad de Sevilla*

1. Introducción

La presente comunicación se enmarca en el contexto de la explotación del *Sistema de información geográfica del litoral de Andalucía* desarrollado por el grupo de investigación *Ordenación de litoral y tecnologías de información territorial* al que pertenecen los autores. Este sistema constituye una herramienta de la máxima versatilidad concebida para el análisis de diferentes problemáticas (contaminación marina, riesgos naturales, explotación-protección de recursos) que afectan al litoral andaluz y su objetivo último es contribuir a los procesos de ordenación y gestión de este espacio.

En este trabajo, en estrecha relación con la temática del encuentro, se ha seleccionado el ámbito de la bahía de Algeciras. Se trata de un territorio, resultante de una activa política de planificación económica desarrollada desde la segunda mitad de los años sesenta, que en la actualidad se enfrenta a una grave crisis que afecta a los distintos órdenes económico, social y ambiental. Cualquier intento para la superación de esta situación debe partir de un profundo conocimiento de los condicionantes y factores que intervienen en dicha crisis con el fin de optimizar de la eficacia de la medidas que se adopten. En este sentido, debe señalarse una importante carencia de estudios y trabajos, especialmente significativa en los vinculados a una **perspectiva territorial**.

Sobre estas bases, la comunicación hace primero una somera introducción al sistema de información geográfica del litoral de Andalucía y, a continuación, expone una serie de ejemplos, centrados en la bahía de Algeciras, que vienen a demostrar las diferentes posibilidades que ofrece el mismo y su potencial utilización en procesos de planificación.

2. El sistema de información geográfica del litoral de Andalucía.

El objetivo fundamental de este sistema es abordar todo tipo de problemáticas que afecten a la zona costera de Andalucía, incluyendo su estudio y la participación en los procesos de gestión de la misma. El software principal utilizado lo constituyen básicamente los programas de ESRI (ARCINFO y ARCVIEW), así como IDRISI y AMATEL (Junta de Andalucía) en el caso del tratamiento de imágenes. La estructura del sistema, en relación con el objetivo expuesto, es eminentemente abierta e incorpora una gran cantidad de información que comprende distintas escalas, temáticas y procedencias. Al margen de la utilizada en aplicaciones concretas, existe un conjunto de información geográfica básica que constituye el soporte fundamental del sistema. Esta información se divide en los siguientes grupos:

Información topográfica.

Constituye una parte esencial de la información y cubre dos aspectos fundamentales. De una parte, la cartografía a escala 1:10.000 del Mapa topográfico de Andalucía (Instituto de Cartografía de Andalucía) constituye la base utilizada para la georreferenciación del resto de la información espacial garantizando un aspecto crucial para la correcta explotación del sistema. De otra parte, los datos altimétricos y batimétricos proveniente de diferentes fuentes aportan una información de gran interés para su utilización en múltiples aplicaciones.

Información temática.

A este nivel existe una gran cantidad de información disponible, sin embargo es preciso destacar los dos casos siguientes. El primero se refiere al proyecto europeo LACOAST (Consejería de Medio Ambiente) que genera una cartografía de usos para la zona litoral de la Comunidad Europea, representando los usos presentes y revisando los usos pasados (*downdating*) a partir de imágenes de satélite (sensores MSS y TM). La segunda está representada por el Mapa Fisiográfico del Litoral de Andalucía (Consejería de Obras Públicas y Transportes y Consejería de Medio Ambiente) que constituye, hasta el momento, la única cartografía que integra unidades fisiográficas, procesos e infraestructuras del litoral andaluz.

Fotografía aérea e imágenes de satélite.

Como en el caso anterior, entre las múltiples fuentes disponibles en este apartado, conviene destacar una serie de casos concretos por su carácter básico. En cuanto a las imágenes de satélite hay que hacer referencia a las ortoimágenes provenientes del SPOT en su modo pancromático, pieza fundamental en la elaboración del Mapa Fisiográfico del Litoral de Andalucía. Igualmente, la biblioteca de imágenes de la Consejería de Medio Ambiente, entre las que destacan las del sensor TM, supone la fuente fundamental para los estudios de contaminación y dinámica de las aguas costeras.

Respecto a la fotografía aérea deben resaltarse dos vuelos concretos. Por un lado, la colección

de fotogramas del llamado *vuelo americano* a escala 1:30.000 ,efectuados en 1956 por el Army Map Service de los Estados Unidos, representa un documento único a la hora de caracterizar la situación del litoral justo antes de su masiva ocupación tras la política desarrollista de los años sesenta. Por otro lado la existencia de un vuelo en color de 1997 para toda Andalucía (escala 1:60.000) realizado por el Instituto de Cartografía de Andalucía y obtenido en formato digital, ofrece un magnifico documento para contrastar con el anterior y efectuar interesantes interpretaciones de los cambios ocurridos entre ambas fechas.

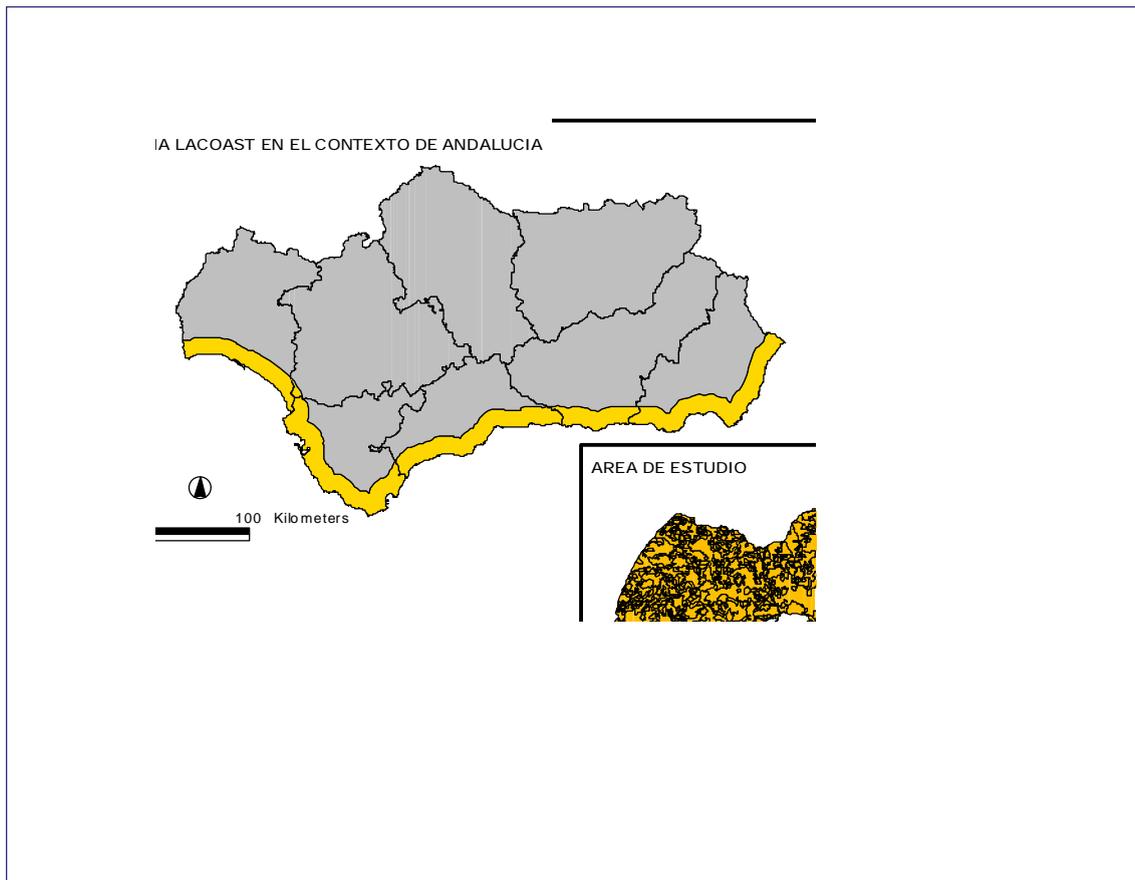
3. Aplicaciones al ámbito de la bahía de Algeciras.

Como se expuso anteriormente, en esta segunda parte se presentan algunos ejemplos de las posibles aplicaciones del sistema centradas en la bahía de Algeciras. La secuencia de estas aplicaciones irán cubriendo desde enfoques más generales o aproximativos hasta otros de mayor detalles.

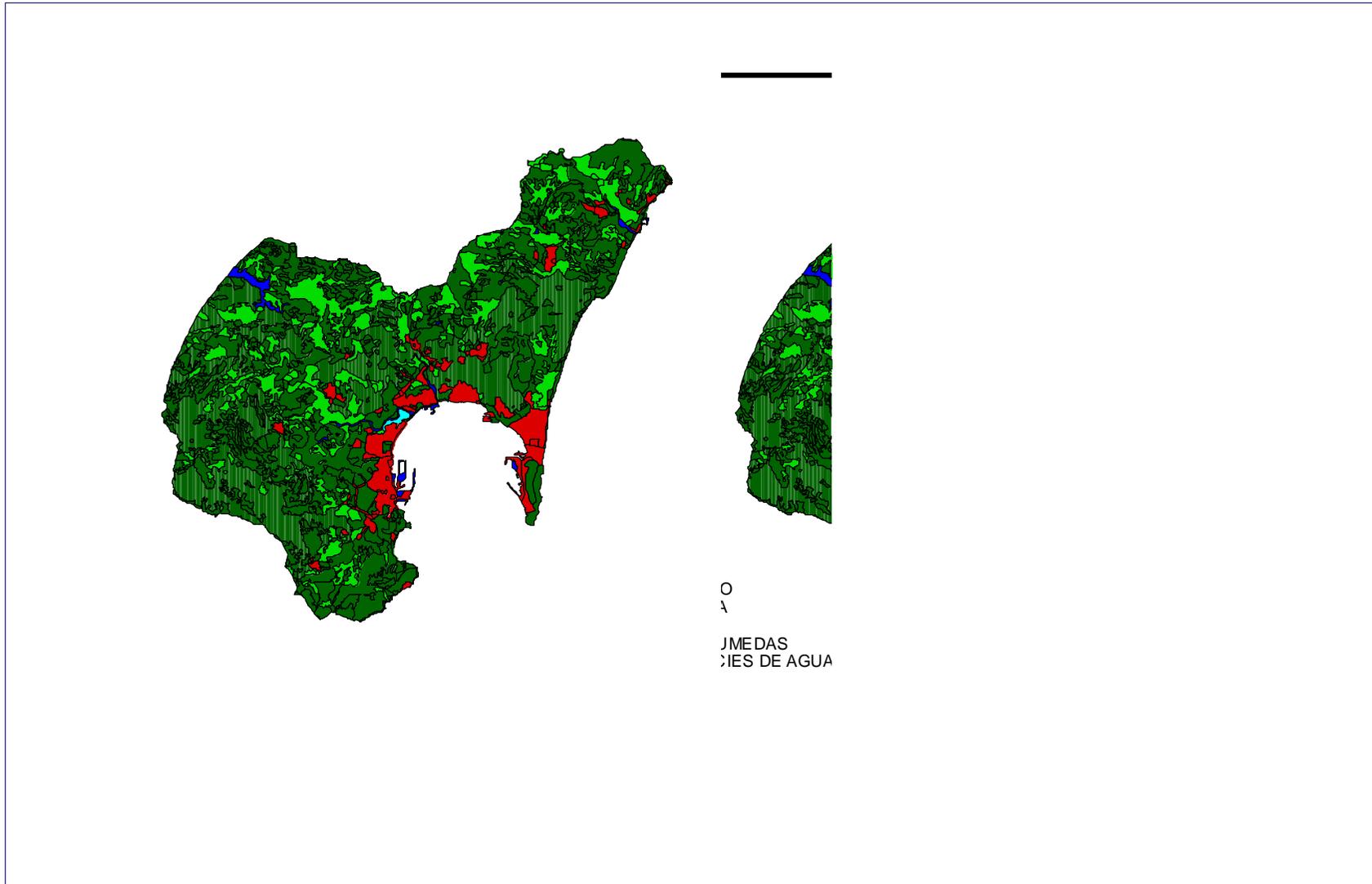
El contexto comarcal de la bahía de Algeciras: la explotación del proyecto LACOAST.

En este primer caso se expone una presentación del contexto comarcal en el que se incluye la bahía de Algeciras, utilizándose para ello la información procedente del proyecto LACOAST. Tal como se adelantaba, este proyecto ha sido concebido para la confección de una cartografía de usos del litoral de la Comunidad Europea, ocupándose de un espacio de unos 15 kms tierra adentro de la línea de costa. En esta cartografía se recogen los usos mediante un sistema de leyenda jerárquica que incluye cinco niveles básicos (edificado, agrícola, natural, zonas húmedas y superficies de agua) que a su vez se desagregan en diferentes subniveles hasta el quinto orden. Para su elaboración se ha partido de la información del proyecto LANDCOVER, obteniéndose con ello los usos para el año 1991. Esta delimitación sirve de base para la revisión de los usos correspondientes al año 1975 mediante la transformación de los polígonos existentes a partir de la utilización de imágenes MSS.

En el caso de la bahía de Algeciras, se ha extraído la parte de la *zona lacoast* correspondiente a los municipios ribereños que son Algeciras, Los Barrios, La Línea de la Concepción, San Roque y la colonia de Gibraltar (figura 1).



Una vez extraída la zona de estudio se han elaborado mapas de uso con las cinco categorías principales para ambos años de referencia (figura 2) y se ha confeccionado una tabla que representa las superficies intercambiadas entre usos (tabla 1). Observando los mapas y la tabla puede obtenerse una clara idea de las tendencias de la zona, destacando un aumento del peso de las superficies edificadas (crecimiento urbano, industrial y de infraestructuras) a costa, sobre todo, del uso agrícola.



		Usos en 1991						
Usos en 1975		Edificado	Agrícola	Natural	Humedales	Sup.Agua	Total75	(%)75
	Edificado	32,35	0	0	0	0	32,35	3,95
	Agrícola	1,70	111,46	15,73	0	0	128,89	15,75
	Natural	8,20	8,49	626,79	0	0	643,48	78,63
	Humedales	0	0	0	8,20	0	8,20	1,00
	Sup. Agua	1,30	0	0	0	4,12	5,42	0,66
	Total91	43,55	119,95	642,52	8,20	4,12	818,34	100
	(%)91	5,32	14,66	78,52	1,00	0,50	100	

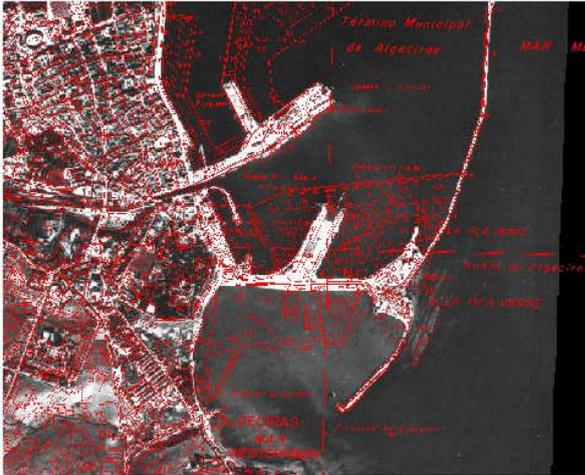
Tabla 1. Intercambio de superficies entre usos desde 1975 a 1991 (superficies en km²)

La evolución de la franja costera de la bahía de Algeciras en 1956 y 1997.

Siendo relevante la información obtenida en el apartado anterior, no debe olvidarse que en el ámbito en que nos encontramos, como en casi todo el litoral andaluz, los cambios más importantes tuvieron lugar a partir de la década de los sesenta. En la bahía de Algeciras, en concreto, estos cambios guardan una relación directa con la puesta en marcha de Plan especial del Campo de Gibraltar en 1965 en el contexto de los planes de desarrollo a nivel nacional. Este plan, que afectaba a una extensión total de 1514 km² (comarca del Campo de Gibraltar) y proclamaba la promoción equilibrada de distintos sectores económicos, se vió finalmente ejecutado en un ámbito espacial mucho más restringido (el arco de la bahía de Algeciras), sesgándose en lo sectorial hacia el crecimiento industrial.

Con el fin de comprender el verdadero alcance de las transformaciones territoriales que estos hechos suponen, el siguiente análisis hace uso de otro tipo de información. Básicamente, el proceso de trabajo ha supuesto i) la obtención de un mosaico digital a partir de los fotogramas del *vuelo americano* de 1956 georreferenciado respecto a la base que constituye el MTA 1:10.000; ii) la georreferenciación respecto a la misma base de la fotografía aérea en color del ICA de 1997; iii) fotointerpretación de los usos en ambas fechas y obtención de las coberturas digitales para su análisis comparativo. El ámbito del análisis se limita a la franja costera de la bahía definida con una anchura de 1 km desde la línea de costa actual. Asimismo, en lo referente a los usos, se ha ampliado el número de categorías que ahora es de once. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 2 y la representación cartográfica de los mismos en la figura 4

Detalle del fotomosaico de 1956 y de la fotografía en color de 1997 sobre la base MTA 1:10.000



Instalaciones del Puerto de Algéiras en 1956



Instalaciones del Puerto de Algéiras en 1997

Figura 3. Detalle de las fuentes para la interpretación de los usos del suelo

U S O S 1 9 9 7														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	T56	%56	
U S O S 1 9 5 6	0	00.00	0.54	0.16	00.00	2.33	00.00	00.00	0.10	00.00	00.00	00.00	3.13	12.21
	1	00.00	2.62	0.01	0.03	00.00	00.00	00.00	0.01	00.00	00.00	00.00	2.67	10.41
	2	00.00	0.68	0.66	0.10	0.01	0.01	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	1.46	5.69
	3	00.00	00.00	00.00	0.07	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	0.07	0.27
	4	00.00	00.00	00.00	00.00	0.25	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	0.25	0.98
	5	00.00	1.63	2.54	1.10	0.11	0.40	0.07	00.00	00.00	00.00	00.00	5.85	22.82
	6	00.00	0.43	2.34	2.24	00.00	00.00	4.12	00.00	00.00	00.00	00.00	9.13	35.61
	7	0.10	0.01	0.36	0.34	0.10	00.00	0.08	0.30	00.00	00.00	0.01	1.30	5.07
	8	00.00	00.00	0.02	0.39	00.00	00.00	00.00	00.00	0.56	0.21	00.00	1.18	4.60
	9	00.00	00.00	0.01	0.07	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	0.05	00.00	0.13	0.51
	10	0.01	00.00	0.03	00.00	00.00	00.00	00.00	0.01	00.00	00.00	0.42	0.47	1.83
	T97	0.11	5.91	6.13	4.34	2.80	0.41	4.27	0.42	0.56	0.26	0.43	25.64	100
	%97	0.43	23.05	23.91	16.93	10.92	1.60	16.65	1.64	2.18	1.01	1.68	100	

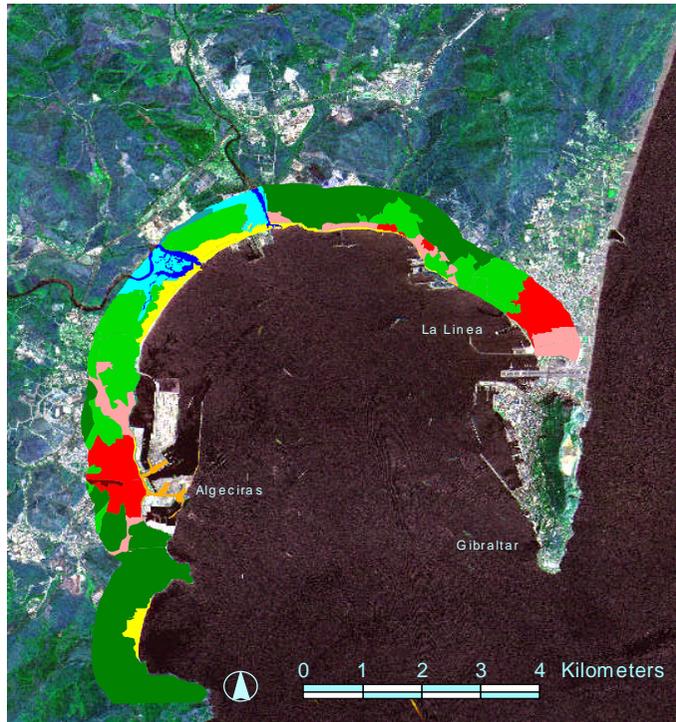
Tipología de usos:

0.- Superficies de agua marina	6.- Superficies con vegetación natural
1.- Tejido urbano continuo	7.- Playas, dunas y arenales costeros
2.- Tejido urbano discontinuo	8.- Marismas
3.- Zonas industriales	9.- Marismas transformadas
4.- Zonas portuarias	10.- Superficies de agua no marina
5.- Zonas agrícolas	

Tabla 2. Intercambio de superficies entre usos desde 1956 a 1997 (superficies en km²)

Entre los principales aspectos a comentar de la tabla anterior conviene resaltar los siguientes. En primer lugar, resulta espectacular el cambio que se produce en la superficie urbana que pasa de suponer el 16,10 % de la superficie total a representar casi la mitad de la misma (46,96%). Lo mismo cabría decir de la superficie industrial que pasa del 0,27 % al 16,93 % y, con una enorme trascendencia para la evolución de la línea de costa de la bahía, de la superficie portuaria que pasa del 0,98 % al 10,92 %, siendo el 92 % (2,33 km²) de este cambio en forma de nuevos terrenos ganados al mar. En términos generales, la superficie que pasa de usos naturales a urbanos o industriales supone un total de 14,75 km² (en negrita en la tabla 2), pasando estas superficies del 17,35 % al 74,81 % de ocupación. Trascendente es también el descenso que se produce en las superficies de las formaciones arenosas de la bahía que pasan del 5,07 % a ocupar sólo el 1,64 %.

MAPAS DE USO PARA LOS AÑOS 1956 Y 1997



Los cambios en la línea de costa entre 1956 y 1997.

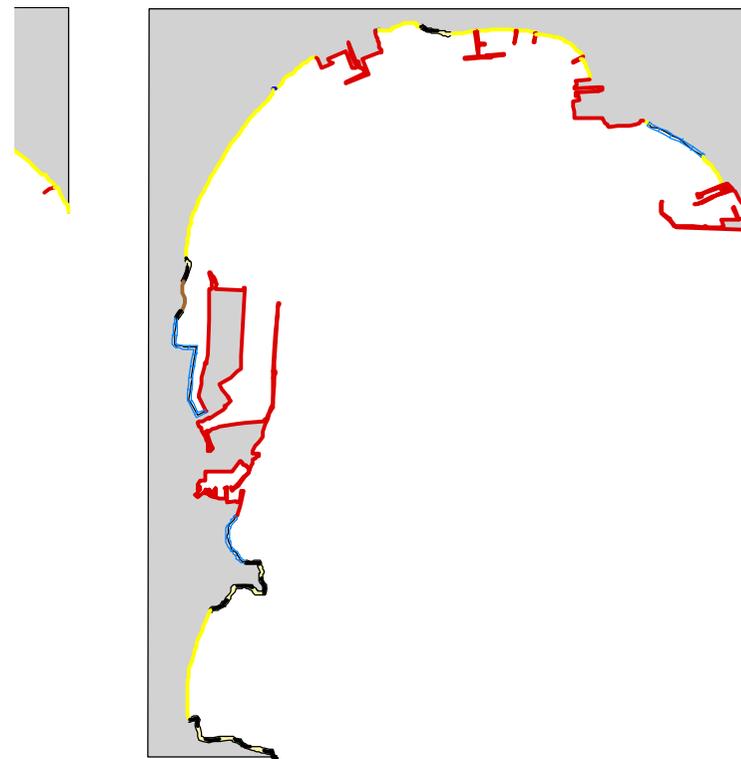
Partiendo de las mismas fuentes de información utilizadas en el caso anterior y siguiendo la secuencia hacia aspectos más particulares, se han trazado las líneas de costa para las fechas de referencia y se han caracterizado los distintos sectores del frente costero (figura 5). Como puede observarse, tanto en esta figura como en la tabla 3, es evidente la transformación experimentada por la línea de costa que, si se tienen en cuenta los tramos de playas sometidos a procesos de regeneración, ha pasado a ser un frente completamente antropizado.

Tipos de frente costero	Longitud en 1956	Longitud en 1997
Acantilados	6.566	4.309
Acantilados con playas	523	-
Desembocaduras fluviales	99	98
Playas	14.319	9.129
Puertos	9.983	33.332
Rellenos	-	449
Frente urbano	-	3.679
Longitud total	31.490	50.996

Tabla 3. Caracterización y longitud del frente costero (longitud en metros).

Al margen de esta caracterización, mediante la superposición de ambas líneas de costa se puede apreciar el sentido de los cambios ocurridos, así como los procesos y tendencias que operan en los distintos tramos (figura 6). Es evidente la existencia de una clara tendencia recesiva más acusada, lógicamente, en los sectores de playas situados en el fondo de la bahía. Esta tendencia guarda relación con la alteración de las condiciones originarias de la dinámica litoral. Según esas condiciones, la entrada de los trenes de oleaje en la bahía, predominantemente del Este, generaba una corriente de deriva de Oeste a Este y otra en sentido contrario. Siendo más acusada la primera, el efecto de ambas ha servido para conformar una línea de playas en forma de concha con su mayor expresión en las playas barreras de la zona noroeste, entre las desembocaduras de los ríos Palmones y Guadarranque, donde la exposición a levante ha logrado construir importantes campos de dunas hoy prácticamente desaparecidos (figura 4). A esta circulación equilibrada se ha opuesto un importante conjunto de infraestructuras perpendiculares a la línea de costa, cuyo efecto ha sido el de compartimentar todo el sector en tramos aislados entre sí. Entre éstos, los primeros perjudicados han sido los sectores situados hacia el noreste, al encontrarse lejos de las fuentes de sedimentos representadas, principalmente, por los citados cursos. En cualquier caso, la tendencia recesiva afecta a todos los sectores como se aprecia también en la zonas noroeste. Aquí debe hacerse alusión a la reducción de los aportes sedimentarios por efecto de la regulación de los ríos Palmones y Guadarranque y, sin duda, a los efectos que haya podido ejercer en las condiciones de la dinámica las instalaciones del puerto de Algeciras.

CARACTERIZACIÓN DEL FRENTE COSTERO EN 19



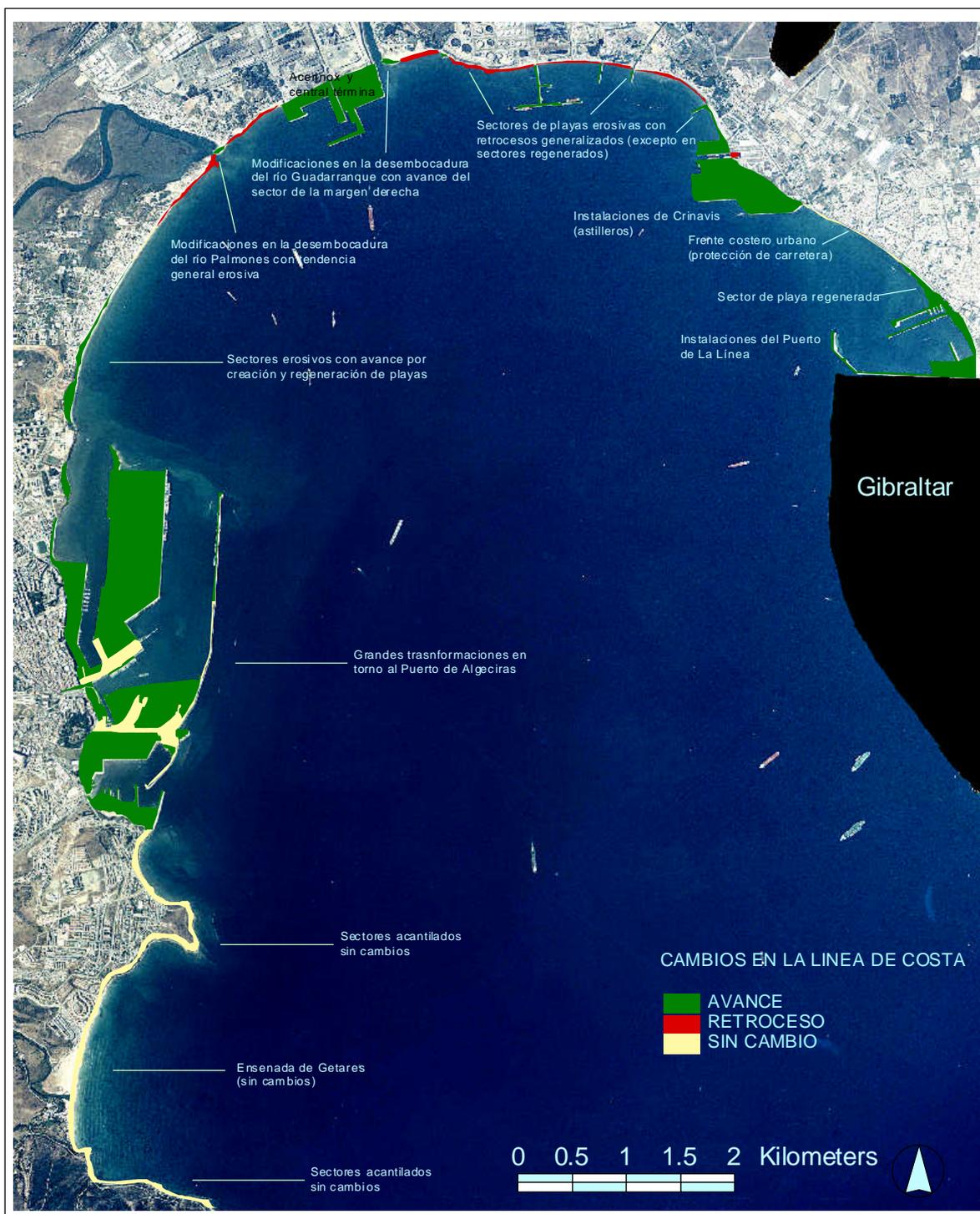


Figura 6. Cambios en la línea de costa

Estudios sobre la playa submarina.

Un acercamiento de gran utilidad que ayudaría a comprender mejor los mecanismos implicados en los procesos anteriormente descrito los constituye el análisis de los cambios ocurridos en la playa submarina (hasta la isobata -10 mts) en el entorno estudiado. Para ello se han considerado dos vías diferentes de estudio. La primera hace uso de información proveniente de parcelarios batimétricos y emplea la herramienta de los MDT para su análisis comparativo. La segunda, aún por explotar, intenta valorar las aportaciones que en este campo puede introducir la teledetección espacial en zonas como la bahía de Algeciras donde son frecuente las aguas de gran transparencia.

En el caso de los MDT, la comparación entre modelos levantados en múltiples fechas ha demostrado ser una inestimable fuente de información para este tipo de procesos y han sido empleados por este grupo en otros ámbitos (Ojeda, J et al 1993) Para el sector de la bahía de Algeciras se cuenta con un parcelario de gran detalle 1:5.000) levantado por el Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) en 1966 (figura 7) y otro, del mismo organismo, a escala 1:10.000 del año 1988. El problema para el análisis multitemporal de los mismos ha surgido al comprobar que en el de 1988, paradójicamente, no se recoge información para las zonas más cercanas a la línea incluídas las áreas de los deltas submarinos de los ríos Palmones y Guadarranque. Siendo que estas zonas son las más activas de la playa submarina, deberá tratarse en un futuro de conseguir información batimétrica reciente de la misma. A modo de ejemplo, sin embargo, se han elaborado dos MDTs de la zona para 1966 y 1988 y se ha efectuado una comparación entre ambos (diferencia de GRIDs) en zonas próximas a la desembocadura del Palmones (figura 8)

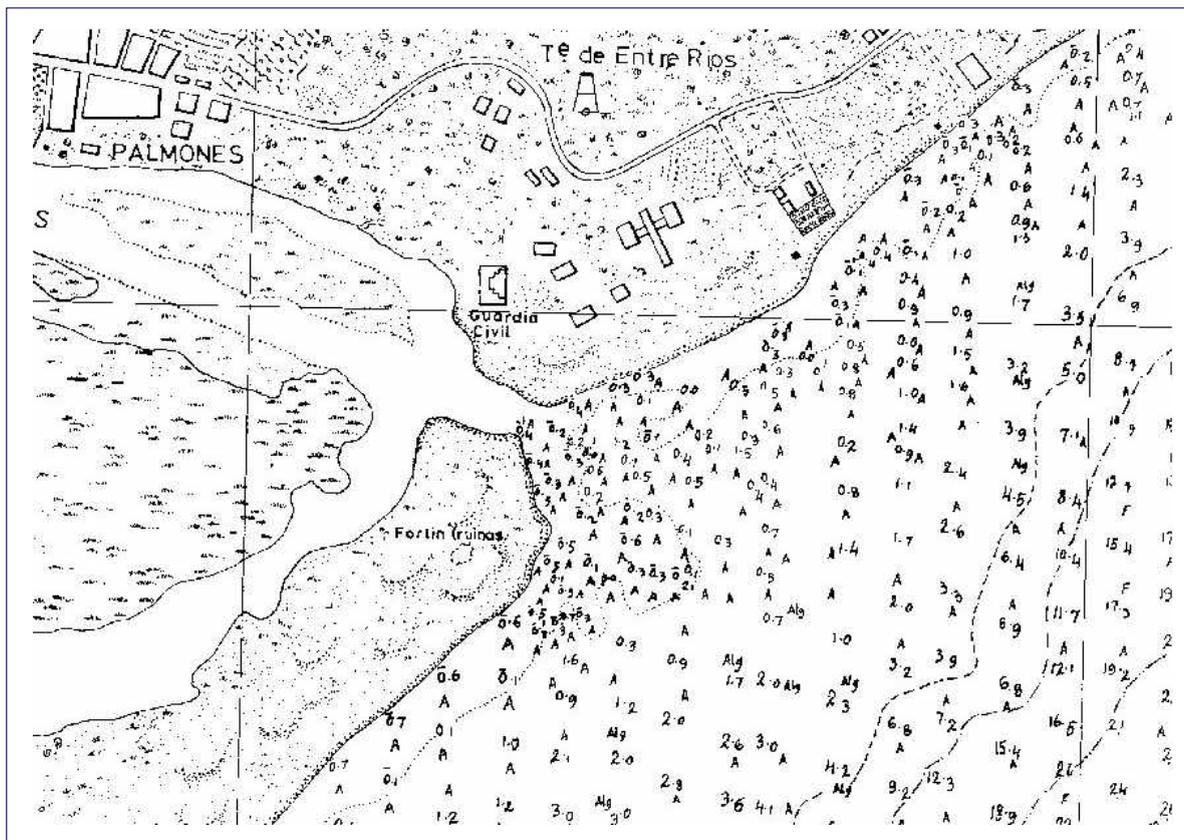
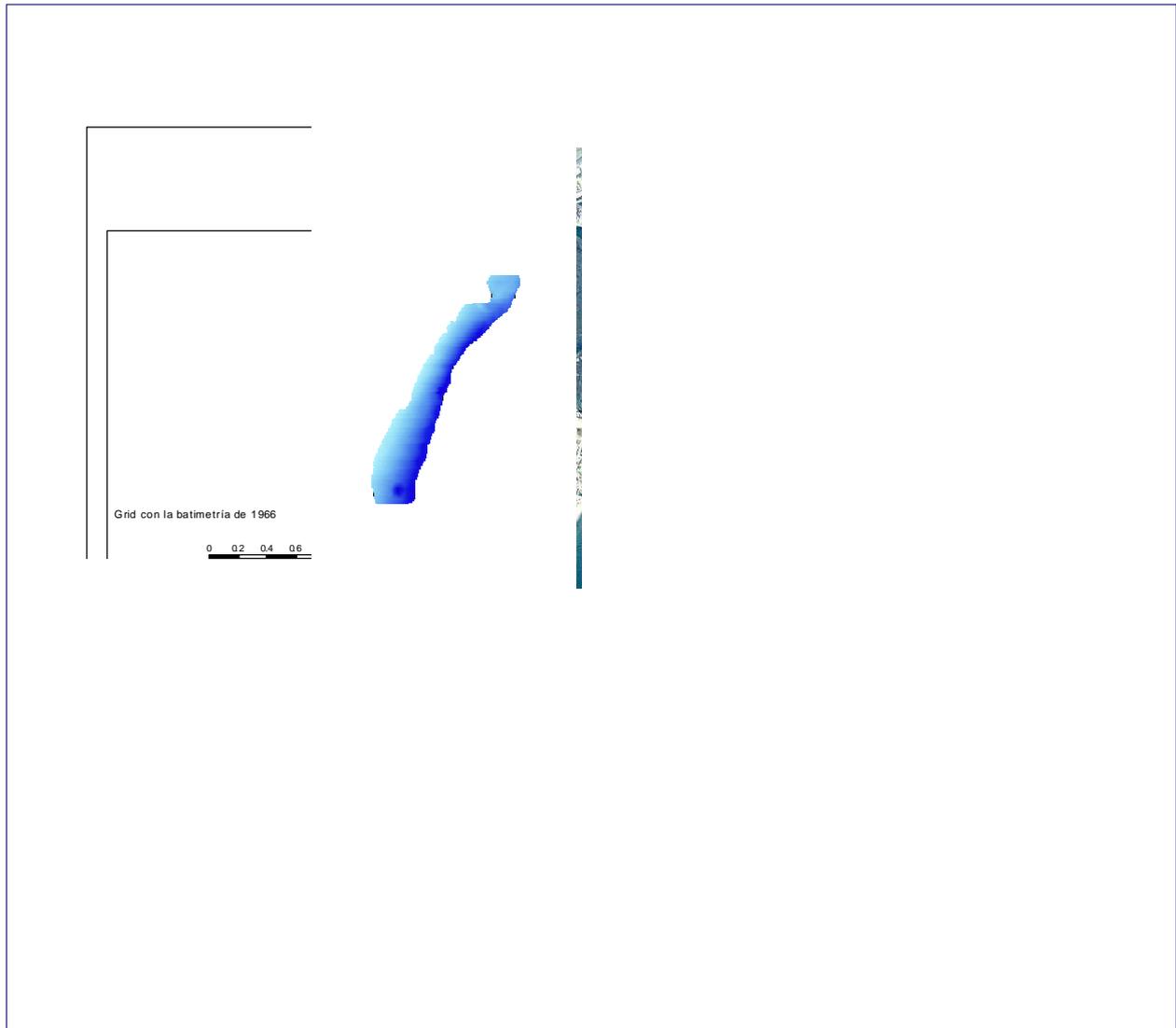


Figura 7. Detalle del parcelario del IHM de 1966 en la desembocadura del río Palmones

Los resultados obtenidos en el ejemplo realizado no muestran unos cambios llamativos, si bien debe insistirse en que no se centra en las zonas donde, en teoría, estos cambios deben ser más importantes.



4. Conclusiones generales

Tras el análisis de los datos que acaban de exponerse y en espera de una profundización en nuevas líneas de trabajo, pueden realizarse las siguientes consideraciones acerca de los fenómenos observados en la zona de estudio. Las consecuencias de las profundas transformaciones territoriales en el entorno de la bahía de Algeciras han llevado al inicio de un ciclo erosivo general en las playas del arco de la bahía que, hoy por hoy, sólo perduran gracias a políticas de regeneración. Este hecho parece tener su origen en: a) la disminución de las entradas de sedimento tras la regulación de los ríos Palmones y Guadarranque, b) la disminución de las reservas de arena (dunas y arenales) que se utilizaban para reponer los efectos de los temporales de invierno, c) una interrupción de los tránsitos sedimentarios longitudinales por la interposición de barreras totales (infraestructuras portuarias) y d) un aumento de los fenómenos de reflexión del oleaje (endurecimiento y avance del frente costero) con incremento del transporte transversal y pérdida del sedimento hacia zonas profundas.

La facilidades ofrecidas por el sistema de información geográfica del litoral de Andalucía, hacen posible llevar a cabo aproximaciones como la realizada en este trabajo, posibilitando la enunciación de hipótesis y la apertura de líneas de trabajo para su comprobación. En futuros estudios deben incluirse análisis sobre la evolución de la playa submarina y caracterizaciones de la dinámica y calidad de las aguas litorales, en ellos la teledetección podría convertirse en una herramienta de suma utilidad. En áreas como la tratada, en las que los estudios existentes son escasos e insuficientes, estas aproximaciones presentan un especial interés de cara a la utilización de la información generada en procesos de planificación y gestión del medio litoral.

5. Bibliografía

Revistas:

Ojeda, J y Vallejo, I (1995). La flecha de El Rompido: análisis morfométrico y modelos de evolución reciente durante el periodo 1943-1991 en Revista de la Sociedad Geológica de España Vol. 8. Madrid.

Libros:

Consejería de Medio Ambiente (1995). Usos y coberturas vegetales del suelo en Andalucía. Seguimiento a través de imágenes de satélite. Junta de Andalucía. Sevilla.

Fernandez-Palacios, A et al (1988) Guía naturalística de la provincia de Cádiz: el litoral. Diput. Provincial de Cádiz. Cadiz.

Lozano, J.M (1983). El desarrollo del Campo de Gibraltar. Confederación española de cajas de ahorro. Málaga.

Walker, H.J (1988). Artificial structures and shorelines. Kluwer academic pub. London

Comunicaciones:

Ojeda, J y Vallejo, I (1993). Tránsito sedimentario y modificaciones morfológicas en las formaciones arenosas submarinas asociadas a la flecha de El Rompido (Huelva): una aplicación del software SEM ARC/INFO-PC” en Actas del 2º congreso de AESIG. Madrid.

