

8

LA COSTA DEL SOL EN LA ENCRUCIJADA
GEO-EVOLUTIVA FORZADA POR EL
CAMBIO CLIMÁTICO

D. Víctor Díaz del Río Español

*Dr. Ciencias Geológicas
Investigador Científico del IEO*



D. Víctor Díaz del Río Español

*Dr. Ciencias Geológicas
Investigador Científico del IEO*

Víctor Díaz-del-Río Español es Doctor en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid, e Investigador Titular del Instituto Español de Oceanografía (Ministerio de Ciencia e Innovación).

En el año 1978, tras un curso académico impartiendo docencia, inicia su actividad investigadora en el IEO, cooperando en los proyectos bilaterales hispano-norteamericanos sobre la oceanografía de Galicia y el Golfo de Valencia. Participa en las expediciones del Estrecho de Gibraltar, para el estudio del enlace permanente entre Europa y África. Participa en los estudios geoambientales de la Bahía de Palma (Mallorca), Murcia (Mar Menor) y margen continental de Alborán. Realiza, para el Ministerio de Fomento, el primer estudio del litoral en España orientado a la realimentación de playas. Coopera con el Ministerio de Defensa en algunos estudios de zonas de interés estratégico. A partir del año 1991 centra su actividad en el estudio del Golfo de Cádiz, donde investiga sobre la expulsión de metano del fondo marino. En los últimos años ha participado en el estudio de los ecosistemas vulnerables de Hatton Bank (Hatton-Rockall Plateau, Cuenca de Islandia) en colaboración con el British Geological Survey (BGS/UK).

Ha sido Director del Centro Oceanográfico de Murcia (IEO). Es miembro de la Comisión Nacional de Geología (Ministerio de la Presidencia) y del Grupo de Trabajo *ad hoc* para el Estudio de la Extensión de la Plataforma Continental (UNCLOS). Ha formado parte de la Comisión de Expertos Científicos para la valoración del desastre del Prestige.

En el ámbito internacional, ha sido miembro de la Comisión para la Concertación de Política Científica de los Países Comunitarios Mediterráneos (Comisión Europea, 1994). Ha formado parte del primer Panel de Seguimiento de la actividad del Programa MAST II (DG XII de la Comisión Europea, 1995). Ha sido miembro de la Comisión Bilateral de Cooperación Científica Marina entre Francia y España (1996 y 1997) y Delegado Nacional en el European Science Support Advisory Committee (ESSAC) del Integrated Ocean Drilling Program (IODP). Desde el año 2005, ha formado parte de la Delegación Nacional de España ante la International Seabed Authority (ISA/ONU), con sede en Jamaica.

En el ámbito de la actividad académica, ha sido Profesor en la Universidad Internacional Menéndez y Pelayo, y en la actualidad es Profesor en el MASTER de Ingeniería de Puertos y Costas que se imparte en el Centro de Estudios y Experiencias de Obras Públicas (CEDEX) en colaboración con la Universidad Politécnica de Madrid. Ha tutelado 12 becas de estudiantes universitarios y codirigido 6 Tesis de Licenciatura y 4 Tesis Doctorales. Ha participado en 8 proyectos internacionales y 26 nacionales. En la actualidad es el Investigador Principal del Proyecto LIFE+INDEMARES/Chimeneas de Cádiz, centrado en el estudio de los hábitats relacionados con las zonas de expulsión de metano.

8 • LA COSTA DEL SOL EN LA ENCRUCIJADA GEO-EVOLUTIVA FORZADA POR EL CAMBIO CLIMÁTICO

D. Víctor Díaz del Río Español

*Dr. Ciencias Geológicas
Investigador Científico del IEO*

I. INTRODUCCIÓN

La Costa del Sol es un referente turístico de primer orden, mundialmente conocido. Bajo esta denominación se engloba, fundamentalmente, el tramo de costa de la provincia malagueña con los 14 municipios que la componen. Desde una perspectiva más amplia, se acostumbra a incluir bajo este término, el tramo de costa mediterránea de la provincia de Cádiz (Campo de Gibraltar) e incluso la de Granada. Nosotros nos referiremos en nuestra exposición únicamente a la provincia de Málaga. La mayor parte de los 14 términos municipales que la componen poseen una extensa superficie encajada en el dominio litoral.

En términos de gestión ambiental del espacio natural afectado por la Costa del Sol, podríamos hablar de una franja continental de unos 10 km de anchura, lo cual supondría unos 1.610 km² de superficie afectados por la presión derivada de la explotación turística de la zona. Sin embargo, la superficie submarina y extensión de las aguas que pudieran verse afectadas por la gestión integral del espacio natural, es muy difícil de concretar pero, a los efectos prácticos a día de hoy, podemos señalar que la preocupación de los gestores de la cosa pública se reduce única y exclusivamente a la costa, esto es, el paisaje emergido. De aquí que resulte muy difícil trasladar la preocupación por el deterioro del medio marino, causado por una excesiva explotación del medio en favor de la industria turística, lo cual hace que las medidas de protección o conservación del medio marino sean muy lentas de gestionar y más aún de establecer y aplicar. Esto repercute muy negativamente en la calidad del producto final que se ofrece al consumidor (turista) y a los ciudadanos que habitan en este tramo del litoral.

Estamos refiriéndonos a 14 municipios que disponen de un fragmento de costa que pertenece a este puzzle que llamamos Costa del Sol. De Poniente a Levante: Manilva, Casares, Estepona, Marbella, Mijas, Fuengi-

rola, Benalmadena, Torremolinos, Málaga, Rincón de la Victoria, Vélez Málaga, Algarrobo, Torrox y Nerja. Componen un mosaico de municipios que alcanza la cifra de 1.221.619 habitantes de población estable. El incremento de población que se establece temporalmente durante el verano en toda la Costa del Sol es muy difícil de fijar (sirva de orientación el dato ofrecido por la Diputación Provincial de 1.7 millones de pernотaciones durante el año 2009; extrapolar esta cifra u otros modos de ocupación del litoral es relativamente sencillo e igual de espeluznante), pero las tendencias más atinadas apuntan a que en el año 2015 podría haber una población estable de 1.7 millones de habitantes en la Costa del Sol Occidental (entre Málaga y Manilva). Cabría esperar algo menos en el tramo oriental, pero estaríamos rondando la cifra total, para ambos tramos de costa, de unos 3 millones de habitantes. Este hecho produciría una presión en el medio natural, particularmente en el medio marino y litoral, muy difícil de asimilar por el propio medio. Estaríamos propiciando un deterioro irreversible en la calidad ambiental de la costa, máxime si los cambios ambientales derivados del Cambio Climático llegan a afectar de manera importante a esta zona del Mar Mediterráneo.

En el tramo de costa de la provincia malagueña predominan las playas en las que brilla el sol la mayor parte del año. Disfrutamos de temperaturas medias anuales que rondan los 18° C, con medias durante el verano de unos 25° C a 30° C. Un dato importante es el de la pluviometría, que alcanza una media anual de 800 milímetros, con picos máximos de 1.000 mm anuales. La importancia del drenaje continental provocada por las precipitaciones, deviene en los aportes de carga sólida transportados por los ríos, arroyos y torrentes, que favorecen el sostenimiento del litoral. Es evidente que la regulación de los cauces fluviales justificada por la necesidad de disponer de agua para abastecer a las poblaciones litorales, supone una reducción muy considerable en el material sedimentario que alcanza la costa, con lo que se añade un factor de deterioro ambiental de primer orden.

Así pues, encontramos dos rasgos que vamos a comentar en esta ponencia: (1) Predominio de las playas, (2) meteorología bonancible, con dominancia de los días soleados. Pero, ¿cuáles son las causas geoambientales por las que la costa ha adquirido este paisaje peculiar en este tramo del mar Mediterráneo? Hemos de destacar, antes de entrar en materia, un aspecto singular de la zona que ahora vamos a analizar, y es la proximidad de las montañas al mar. Este rasgo es muy similar al que encontramos en el norte de España, en la Cornisa Cantábrica, sin embargo, los relieves continentales y submarinos son muy diferentes. Estas observaciones son muy intrigantes y tienen su explicación, en la que vamos a procurar adentrarnos a lo largo de esta ponencia.

Fijémonos en el hecho de que la Costa del Sol está encajada en la ribera de un mar epicontinental (formado entre dos continentes). En conse-

cuencia, la circulación de las aguas marinas adquiere un carácter más restringido que el existente en las aguas cántabras, donde los procesos oceánicos tienen una mayor repercusión. Siendo esto una realidad incuestionable, nos encontramos con la paradoja de que el Mar Mediterráneo, y más concretamente el Mar de Alborán, están fuertemente influenciados por las aguas del Océano Atlántico que se adentran a través del Estrecho de Gibraltar (Díaz del Río et al., 2009). Esta circunstancia permite disfrutar a la Costa del Sol de una dualidad climática que solamente es comparable a la que existe en el Golfo de Cádiz: se trata de una zona que siendo mediterránea está bañada por aguas atlánticas. He ahí uno de los detalles más singulares que hacen de este tramo de costa uno de los lugares más privilegiados de todo el Mar Mediterráneo. La influencia de las aguas atlánticas en su tránsito hacia el extremo más oriental de la Cuenca Mediterránea, genera una serie de procesos oceanográficos que tienen una fuerte influencia en la meteorología, en la biodiversidad y en la geodiversidad de los relieves submarinos y costeros (Gutiérrez Elorza, 1994).

Estos tres elementos medioambientales constituyen la base de los valores naturales propios de la Costa del Sol. Pues bien, son precisamente ellos los que van a acusar de una manera más profunda las alteraciones ambientales afectadas por la actividad humana.



Figura 1. Reconstrucción de la Costa del Sol hace aproximadamente unos 7.000 años (5.000 AC), momento en el que se producía el denominado máximo eustático, situación en la que el nivel del mar se habría elevado por encima de la posición actual y habría invadido una parte importante de las llanuras litorales de la provincia. El nivel de base de los ríos habría remontado corriente arriba y habría facilitado la formación de pequeños estuarios y lagoones costeros, con reducidos bancos de arena aislados. Esta situación, o una similar, podría repetirse en caso de cumplirse los pronósticos más pesimistas basados en las tendencias observadas en el ascenso del nivel marino, en un escenario de Cambio Global.

Hemos de considerar, además, las presiones ambientales que sufre la Costa del Sol, tanto las que tienen un origen natural –como los cambios en la posición y geometría de los giros anticiclónicos del agua atlántica, las variaciones meteorológicas y de la presión atmosférica sobre la superficie del mar, fluctuaciones en la recluta de los recursos vivos marinos, etc.–, como las que génesis antropica –presión urbanística litoral (es uno de los tramos de costa más intensamente urbanizados del Mar de Alborán), explotación de recursos naturales (vivos y no vivos), tráfico marítimo, contaminación marina, vertidos urbanos (¿redes de saneamiento integral?), contaminación sónica, etc.–, que pueden ser factores que determinen importantes cambios en la respuesta que puede dar el medio natural a la propia evolución climática. En definitiva, son elementos que entran en juego -y cuyo impacto en el sistema natural desconocemos su alcance- en el momento de realizar una prospectiva sobre la influencia de un Cambio Climático en la zona.

Entonces, cabe preguntarse, ¿por qué recurrimos a la idea de la encrucijada geo-evolutiva? En realidad, desde una perspectiva razonablemente reduccionista, si persiste la tendencia de las alteraciones ambientales que están científicamente comprobadas, nos situaremos en un escenario con una única solución: ascenso eustático e incremento de las temperaturas. Sin embargo, si la tendencia de dichas alteraciones cambia sensiblemente, podríamos encontrarnos en una situación que ofrece varias posibilidades y que, en el momento actual, no sabríamos cual tomará el sistema natural. Esta es la auténtica encrucijada.

Por otra parte, sabemos que el espacio natural está construido, y permanentemente restaurado, por continuos procesos repetitivos de diversas escalas, espaciales y temporales. Un buen ejemplo lo podemos encontrar en las glaciaciones que se han sucedido durante el Cuaternario, con una periodicidad verdaderamente espectacular. Otro ejemplo lo tenemos en los movimientos del nivel del mar, que ha ascendido y descendido en numerosas ocasiones a lo largo del tiempo geológico. Por ello, podríamos pensar que la solución reduccionista nos situaría en un escenario de Cambio Global similar a los muchos que han sucedido a lo largo del Cuaternario. Entonces, ¿por qué no pensar que el futuro de la Costa del Sol es como una suerte de regreso al pasado reciente?, En términos de situaciones ambientales, desde luego repetiremos escenario. Así pues, el futuro de la Costa del Sol lo encontramos en el pasado, razón por la cual podemos pensar que, en cierta manera, “regresaremos al futuro”. En esta ficción de ir y venir, nos damos cuenta de que la Naturaleza entiende que al futuro se va y se viene con tremenda facilidad. Esta idea de movernos en el tiempo ya ha sido muy tratada con gran éxito en diversas ocasiones, razón por la cual he querido ponerla en práctica, yo también, para intentar explicar el hecho de que la Naturaleza juega con estos viajes de ida y vuelta, del presente al pasado, para configurar el futuro.

Así pues, vista la evolución del Planeta, ¿cabe esperar algún proceso natural que no haya sucedido con antelación?, ¿podríamos llegar a pensar que el escenario que nos espera ya ha sucedido en un periodo anterior?, ¿estaremos caminando hacia un futuro que ya hemos vivido?, ¿estaremos, entonces, en una encrucijada que nos ofrezca la posibilidad de regresar al futuro?

II. LA COSTA DEL SOL EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Ya sabemos, entonces, que los cambios climáticos globales han sido muy frecuentes durante el periodo geológico más reciente: el Cuaternario. Estos cambios ambientales se denominan genéricamente, glaciaciones. Los periodos entre glaciaciones, interglaciares, se caracterizan por el incremento de las temperaturas del aire y del agua, con importantes aumentos del nivel marino, situación que es muy similar a la que ahora parece amenazarnos este cambio climático que tanto se comenta. En cierta forma, es lógico pensar que acabamos de salir, hace unos 12.000 años, de la última glaciación y que la tendencia natural del sistema climático es la que estamos viviendo, con incrementos importantes de las temperaturas y ascensos relativamente rápidos del nivel marino. En cierta medida estaríamos viviendo en pleno periodo interglaciar. Así pues, este fenómeno que ahora nos afecta no tendría nada de extrañar.

Entonces, ¿por qué nos preocupa tanto el dichoso Cambio Global? Pues por una razón muy simple: “los cambios ambientales que experimenta el sistema climático no se pueden explicar únicamente con las variaciones de los forzamientos externos de carácter natural (variabilidad de la actividad solar, erupciones volcánicas, alteraciones en el eje de la Tierra, modificaciones del magnetismo terrestre, etc.), por lo que nos vemos en la obligación de tener en cuenta forzamientos de tipo antropogénico para poder explicarlos (emisiones de CO₂ y de metano principalmente, incremento del vapor de agua en la atmósfera, cambios de usos del suelo, desertificación, emisión de aerosoles, etc.)” (Vargas et al., 2010). Parece pues fuera de toda duda, que se ha producido un conjunto de cambios ambientales afectados por la actividad humana (Cambio Global) que han acelerado o alterado algunos ciclos naturales cuya evolución resulta imprevisible. Si resulta científicamente constatable que a partir de 1880 el régimen climático ha sufrido una profunda variabilidad, con un crecimiento exponencial que hay que vincular a la actividad industrial humana (Navas, 2010).

Observemos un detalle muy ilustrativo de lo que estamos diciendo. Desde la última glaciación (hace unos 12.000 años BP) hasta el final de la Edad Media (1.500 años después de Cristo), la temperatura media de la Tierra se incrementó unos 7° C a lo que le sucedió un breve pe-

riodo de descenso muy acusado de la misma y que alcanzó hasta los inicios del Siglo XIX. Es lo que se conoce como la Pequeña Edad de Hielo (Figura 1). Desde entonces, se ha iniciado un incremento progresivo, sostenido, de las temperaturas que se puede estimar en 1.5°C en los últimos doscientos años.

Es evidente que la Costa del Sol no ha escapado a toda esta sucesión de acontecimientos. Es más, muy probablemente ha contribuido de manera importante a provocar estos cambios. Ya estamos viendo alteraciones importantes en los ecosistemas, en los recursos vivos marinos, e incluso en la propia morfología de nuestras costas. La ocupación intensiva y descontrolada del litoral, la fuerte presión industrial en la zona, el uso agrario del campo, la modificación de los perfiles naturales de los litorales, la invasión del medio marino con infraestructuras portuarias o de defensa y protección de la costa –curioso concepto, cuando es la propia costa la que tendría que protegerse de las agresiones del ser humano–, han deteriorado de tal forma la Costa del Sol, que resulta muy difícil reconocer el paisaje natural anterior a la explotación masiva de la esta ribera del Mar Mediterráneo.



Figura 2. En marzo de 2008 pudimos contemplar esta escena tan poco frecuente en la playa de la Araña (Málaga). En uno de los días más fríos del año, se produjo una granizada que cubrió de blanco toda la superficie de la playa. Este fenómeno se repitió en las playas de Estepona, donde se entremezcla con nieve. Muy probablemente los habitantes de Málaga en la Alta Edad Media, se habrían acostumbrado a presenciar escenas como esta, a juzgar por el descenso importante de la temperatura que sucedió en la Pequeña Edad de Hielo (Imágenes captadas por Antonio Moreno).

Resulta muy ilustrativo realizar comparaciones basadas en fotografías tomadas a mitad del siglo pasado, con imágenes obtenidas en este último año. El parecido entre unas y otras es una mera coincidencia que muy pocas veces se produce. Lo que sí es fácil comprobar es la tendencia del medio marino a recuperar su espacio natural, el que por evolución natural le corresponde. De aquí las políticas de protección de la costa. Observemos que, curiosamente, los paseos marítimos están construidos sobre las playas, precisamente una de las zonas del dominio litoral que más dinamismo tiene y que mayor importancia posee para mantener el

equilibrio de las costas. Pero, no solamente las playas, si no también las carreteras (un paseo por la playa de la Araña nos permite observar una de las más abruptas agresiones al litoral que existe en la Costa del Sol; ¿y que decir del Paseo Marítimo de Málaga construido sobre la Playa de la Malagueta aprovechando el antiguo trazado del tren de cercanías de Vélez Málaga?).

Pues bien, las playas prácticamente han desaparecido –y con ellas toda la vida que encierran sus sedimentos–, pues no se ha respetado su existencia ni su función como el mejor sistema de protección de las costas, y se ha recurrido a la, eufemísticamente, denominada regeneración de playas, actividad que consiste, principalmente, en alimentar el frente de la playa (la zona sumergida o entre dos aguas) con sedimentos ajenos a la propia playa. Como es de imaginar, esta actividad no garantiza la sostenibilidad de la playa, ni siquiera su integridad, y de ello dan buena cuenta los temporales de invierno que destruyen lo construido el año anterior y que alertan a todos los alcaldes de la Costa del Sol sobre los peligros que acechan sobre las infraestructuras construidas en la costa, con riesgos evidentes para las poblaciones ribereñas. Las inversiones que supone el mantenimiento del perfil playero artificial son elevadísimas y el coste ecológico de la removilización de sedimentos, tanto si proceden del fondo marino como si lo hacen de las terrazas fluviales, es también considerable. La solución no es fácil, pero la prevención si que es muy necesaria y urgente de gestionar, a pesar del coste económico real que se pueda producir en el sector turístico a corto plazo. En mi opinión, es más importante aplicar políticas que permitan sostener la productividad de la costa que sobredimensionar las posibilidades de explotación sin contabilizar el coste ecológico que tal actividad comporta.

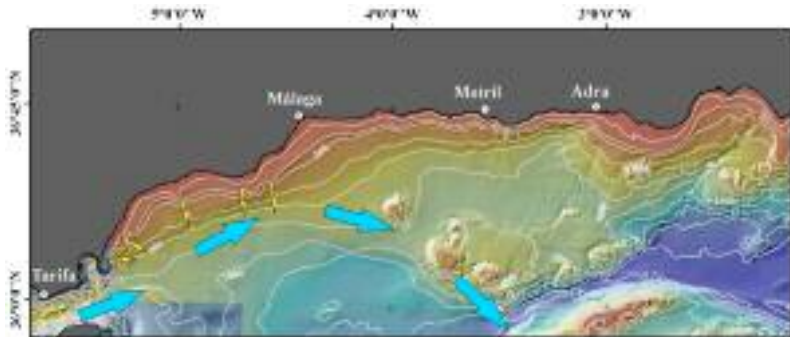


Figura 3. Rasgos geomorfológicos (deducidos a partir de datos obtenidos con sonda multihaz) y forzamiento hidrodinámico superficial de la Costa del Sol en el contexto del Mar de Alborán. Las flechas amarillas indican los ejes de los cañones submarinos. Las flechas azules señalan la dirección del flujo de agua atlántica entrante en el Mar de Alborán a través del Estrecho de Gibraltar.

El medio marino y submarino existente frente a la Costa del Sol, posee algunas peculiaridades que la hacen especialmente sensible a las posibles alteraciones ambientales derivadas del Cambio Global. Una de las zonas más sensibles a dichos cambios son las costas bajas. Málaga está enclavada, precisamente, en una llanura aluvial formada al amparo de uno de los ríos más importantes que desaguan en el Mar de Alborán: el Río Guadalhorce. La costa baja que se forma en su desembocadura es el frente de un inmenso valle que se ha ido colmatando de sedimentos y que ha adquirido una morfología aplacerada, rematada por extensas playas en las que se conjugan los depósitos finos -formados en los momentos de transporte pausado-, con los gruesos -acarreados en los momentos de actividad torrencial-. La penetración de los frentes de tormenta que acompañan a los temporales marinos, en conjunción con momentos de fuertes avenidas fluviales causados por elevadas precipitaciones, tienen una capacidad destructiva que ya hemos podido comprobar en el pasado más reciente. Estas circunstancias se podrían agravar en un escenario de ascenso eustático, sin necesidad de que el nivel del mar ascienda considerablemente; sería solamente suficiente con que aumentara unos centímetros, con lo que se multiplicarían los efectos destructivos de los frentes de tormenta.

Frente a los relieves continentales se desarrolla una plataforma continental relativamente estrecha, recubierta de sedimentos predominantemente finos (arenas finas y fangos), en la que no abundan los roquedos aislados (como el del Placer de las Bóvedas) que ayuden a proteger el litoral. Este hecho la convierte en una plataforma continental fácilmente removilizable, dado que los sedimentos superficiales se transportan con facilidad. Otro rasgo geomorfológico de gran importancia es la presencia de cañones submarinos cuyas cabeceras se encajan en la plataforma continental a modo de profundas incisiones en el substrato que aproximan las elevadas profundidades al dominio litoral. De esta manera nos encontramos con auténticos sumideros de sedimentos transportados a lo largo de la plataforma continental que son atrapados por las cabeceras de los cañones submarinos y posteriormente acarreados a lo largo del valle submarino hasta la cuenca profunda. Sin haber aportes sólidos que sostengan el litoral y reemplacen el material perdido, podríamos contemplar una situación de deterioro litoral muy preocupante.

Otros fenómenos, como los deslizamientos submarinos, propician la desnutrición de sedimentos de la plataforma y talud continental, tan necesarios para sostener el equilibrio dinámico de los sedimentos y el equilibrio ecológico de los ecosistemas marinos. Los deslizamientos submarinos, sin ser muy abundantes, son frecuentes y, lo que resulta más preocupante, se presentan en ocasiones en profundidades muy próximas al litoral (entre 30 y 40 metros de profundidad) vinculados al desarrollo del prisma sedimentario que sostiene las costas.

No podemos olvidar la escasez de campos de dunas en la Costa del Sol. A penas podemos contabilizar más allá de las dunas de Artola, como reliquia de las extensas superficies costeras ocupadas por las dunas. Todos estos campos han sido destruidos a favor de un desarrollo urbanístico que no ha respetado el equilibrio dinámico del litoral, asunto por el que ahora tenemos que pagar tan alto precio para poder proteger la costa a base de espigones y escolleras, así como de realimentaciones periódicas con sedimentos. No es menos preocupante la costa acantilada, como por ejemplo los acantilados de Maro y Nerja. Están compuestos por rocas que son fácilmente degradables y que pueden retroceder a gran velocidad. Fenómenos de este tipo ya los hemos observado en la costa portuguesa del Algarve, en la que se han perdido edificaciones seculares por causa del retroceso de los acantilados constituidos por materiales similares.

Por último, y sin necesidad de tener que caer en el catastrofismo, pensemos que la Costa del Sol es la más directa beneficiaria del flujo de agua atlántica entrante por el Estrecho de Gibraltar. Gracias al chorro atlántico, que forma un giro anticiclónico frente al litoral malagueño, se revitaliza toda la vida submarina y repercute en la meteorología del lugar. Reactiva la circulación de las aguas y favorece la aparición de fenómenos de surgencia de agua marina profunda. Un cambio en las condiciones ambientales del agua atlántica, sería muy negativo para el ecosistema mediterráneo, pues de su flujo entrante depende todo el ecosistema mediterráneo. Es bien cierto que este impacto no está suficientemente estudiado, a pesar de los esfuerzos científicos que se están realizando en los últimos años, pues las observaciones a corto plazo hablan de fenómenos opuestos –por ejemplo, ralentización de las corrientes profundas en una zona, frente a la aceleración de las mismas corrientes en otras zonas–, pero lo que no parece caber ninguna duda es en que los fenómenos tendrán efectos negativos en los ecosistemas mediterráneos.

Algunos científicos han especulado con aspectos que parecen más propios de Ciencia ficción, pero que, por desgracia, aparecen en algunos informes como situaciones perfectamente posibles, como puede ser la profundización del Estrecho de Gibraltar por efecto de deslizamientos submarinos. Esto provocaría una mayor salida de agua mediterránea con lo que se modificaría el sistema de intercambio. Este hecho dispararía una serie de cambios en la cuenca mediterránea cuyos efectos son impredecibles.

Sea como fuere, no parece ninguna tontería comenzar a pensar en la insostenibilidad del sistema de explotación del litoral, en la forma en la que se está llevando a cabo en la actualidad. Es evidente que habrá que buscar otras formas de uso que sean más respetuosas con el medio natural, el equilibrio de los ecosistemas y el sistema geodinámico que gobierna su evolución, particularmente en la Costa del Sol que es el recurso más importante del que disponemos los malagueños.

III. LA COSTA Y EL LITORAL: DOS CONCEPTOS BÁSICOS

La costa, en su sentido más amplio, se presenta como un espacio al que casi nadie es ajeno. La evolución de las costumbres sociales hace que cada vez sea mayor la cantidad de personas que se instalan en la zona costera, de una manera estable o circunstancial, razón por la cual cada uno de nosotros posee una idea de lo que es la costa, más o menos acertada, fuertemente vinculada a su particular percepción del paisaje que está acostumbrado a presenciar. Es de hecho muy frecuente escuchar al cíclico visitante de un lugar de veraneo, comentar, de año en año, lo cambiada que está la costa, ya sea por causa de las intervenciones humanas o por fenómenos naturales que modifican el paisaje costero. Y éste es precisamente el hecho que caracteriza de una manera más notoria el paisaje costero: su morfología cambiante.

Desde una perspectiva catastrofista podríamos decir que la costa está sometida a un proceso de destrucción causada por la intervención humana, tanto por sus usos como por las construcciones que la transforman hasta dejarla, en ocasiones, prácticamente irreconocible. Pero esta perspectiva, con ser importante, no es precisamente la que conviene introducir cuando nos referimos a los procesos de destrucción, construcción, o modificación de la morfología costera, pues entendemos que son debidos a la intervención de procesos naturales de componente física, geológica, biológica y química (con especial significancia de los procesos hidrodinámicos y climáticos).

El concepto de Dominio Litoral, que es el que a los científicos nos importa, permite contemplar la costa como un componente del paisaje imbricado en el contexto de un espacio en el que se reconocen varias interfases: continente-agua, continente-atmósfera, agua-atmósfera, o incluso la interfase triple continente-agua-atmósfera (Davis, 1994). Es pues éste enfoque el que conviene mantener cuando se analiza la zona costera; por decirlo de otro modo, conviene mirar la costa “con un ojo debajo del agua y el otro por encima de ella”, de tal manera que podamos percibir en su conjunto la intervención de todos los agentes que participan en la evolución de esta zona tan cambiante del planeta. Así pues, mantengamos en nuestra mente la idea de que la costa no es una línea que, de una manera más o menos artificiosa, podamos trazar sobre un mapa; tampoco se trata de un frente continental que separa la tierra del océano —como se establece en algún prosaico libro de texto—, ni cualquier otro concepto más o menos inspirado que contemple este complejo medio físico de transición, obviando sus poliédricas interfases.

Tengamos presente que el Dominio Litoral hay que contemplarlo como un cuerpo único que encuadrado en un medio de transición, en términos de macroescala, tiene una parte emergida (tradicionalmente identificada como costa) y otra sumergida, que no tiene un término concreto



Figura 4. Zona de desagüe de la Rambla de Totalán (Rincón de la Victoria), una de las más amplias de la Costa del Sol y que en momentos de arrollada, aporta una importante carga sólida al medio marino, favoreciendo así el sostenimiento del equilibrio del litoral en su entorno.

A pesar de que las grandes avenidas torrenciales de las ramblas se perciben como sucesos catastróficos, resultan de gran importancia por ser la fuente de los aportes que permiten reponer el material sedimentario que pierden las playas. Obsérvese que la rambla está prácticamente urbanizada en su rivera oriental, lo cual eleva peligrosamente el riesgo de los habitantes del lugar, al haber construido sus edificaciones en el área de influencia del cauce.

con el que referirlo que haya sido aceptado mayoritariamente. Ambas unidades (emergida y sumergida) no están relacionadas entre sí, si no que componen un solo conjunto —como ejemplo más evidente se puede citar un depósito playero o bien un acantilado con su depósito de base, o porque no un arrecife coralino—, y su evolución depende de la concurrencia de ciertos factores que actúan permanentemente y que se discutirán más adelante. Mantengamos en la mente la idea de que el Dominio Litoral está sometido a un continuo remodelado bajo la influencia de un conjunto de forzamientos de largo (p.e.: movimiento de las placas tectónicas) y de corto periodo (p.e.: olas y mareas).

IV. EL DOMINIO LITORAL.

El Dominio litoral es la zona de tránsito entre el continente y la plataforma continental, perfectamente caracterizada por ciertos atributos geológicos y por procesos geodinámicos y oceanográficos específicos. Es posible identificar tres sectores (Maldonado 1997) en razón de la diferente intensidad con la que actúan los procesos naturales y los productos que generan:

- Supralitoral, compuesto fundamentalmente por la zona continental emergida que queda expuesta a una menor influencia de los agentes marinos, destacando la acción de los frentes de oleaje en momentos de tormenta, siendo particularmente activo en los mares donde las fuertes mareas vivas coincidan con momentos de tormenta. Es entonces cuando la capacidad erosiva y de transporte en el supralitoral se hace más notoria.

- Interlitoral, más influenciada por el ambiente marino y episódicamente sometida a inundaciones.
- Infralitoral, abarca desde el límite superior de acción del oleaje hasta el nivel inferior de influencia de dicho oleaje. Esto supone que dicha zona es la de mayor energía y donde los gradientes texturales y de pendientes se encuentran en consonancia con la variación de energía de las olas con la profundidad. Su anchura es muy variable, en función del lugar que se contemple, estando en relación directa con la intensidad del oleaje, mientras que la profundidad media puede estimarse en un valor en torno a los 25 metros (+/- 5m).

Asumiendo ésta concepción geoambiental del Dominio Litoral, podríamos asimilar la costa al conjunto paisajístico comprendido por el Supralitoral y el Interlitoral.

V. FACTORES QUE CONTROLAN LA EVOLUCIÓN DEL LITORAL.

Podemos decir sin temor a equivocarnos que el litoral, en su sentido más amplio, viene caracterizado por la triple interfase continente-agua-atmósfera. La evolución de los ambientes que genera dependerá exclusivamente de los agentes geodinámicos internos y externos que convergen en la interfase. La intensidad con la que actúen, determinará la tipología de geoformas que se originen (Benassai et al., 2011).

En éste esquema evolutivo nos vemos obligados a incluir un agente ajeno al sistema natural que es la acción antropogénica que, por lo general, puede ser bastante más destructiva que cualquier agente natural, teniendo además un periodo de actuación más corto e intenso. En realidad, el relieve litoral está sometido a una permanente modificación bajo el efecto de un continuo sistema de fuerzas que tienden a estabilizar el paisaje durante el mayor tiempo posible. Pero ésta estabilización se alcanza –según la escala temporal con la que se contemple un espacio físico– en un corto periodo de tiempo. Es lo que podríamos denominar la instantaneidad del paisaje, según el cual, los atributos geomorfológicos descritos para determinada unidad paisajística tienen únicamente validez para el momento en el que se haya realizado la observación, y no para otro momento posterior. En esta circunstancia podríamos invocar la paradoja de que nada permanece y todo es diferente en infinitésimos de tiempo consecutivos.

A grandes rasgos podemos asegurar que la morfología del litoral que ahora contemplamos, es producto de la estabilización del paisaje alcanzado con posterioridad a la transgresión Flandriense. Este fue un momento de óptimo climático generalizado en todo el planeta, que se inició

hace aproximadamente 6.800 a 6.000 años, que tras alcanzar el máximo eustático (Figura 1) estabilizó el nivel marino en la posición que hoy en día lo conocemos.

Una rápida mirada a los litorales nos permite reconocer áreas donde las rocas se han erosionado fuertemente, zonas próximas en las que se han depositado sedimentos formando playas, ríos que han excavado su curso y han transportado materiales hasta las cuencas marinas formando deltas y abanicos litorales y submarinos, rasas litorales de alta productividad biológica que han permitido la edificación de bioconstrucciones, etc. Ante la evidencia de éstos hechos nos podemos preguntar ¿cuáles han sido los factores que han determinado la evolución de los litorales desde la última estabilización del nivel marino? Pues bien, fundamentalmente son cuatro, todas ellas actuando de manera diversa y en ocasiones de forma difícilmente cuantificable. A saber (Rey y Díaz del Río, 1986):

- 1 El contexto tectónico-estructural y la geomorfología del entorno regional.
- 2 Las fluctuaciones climáticas y las variaciones relativas del nivel del mar durante el Cuaternario.
- 3 Las condiciones oceanográficas que gobiernan el dominio litoral.
- 4 La bioproductividad específica de cada zona del dominio litoral.

No podemos obviar la existencia de un quinto factor de carácter no natural: el impacto humano. No le hemos dado la misma categoría que los otros cuatro, dado que se trata de un factor externo al sistema natural, a pesar de que sí forme parte del medio ambiente. Las consecuencias del impacto humano sobre el medio se describen a lo largo del texto, de tal manera que el lector puede percibir en que punto tiene mayor o menor importancia esta intervención.

Sin entrar en una excesiva casuística, pasemos a analizar cada uno de éstos factores en el contexto de las teorías y tendencias actualmente más sólidamente asentadas. No olvidemos que una de las necesidades que tiene el dominio litoral para permanecer en equilibrio dinámico, es la provisión permanente de material con que edificar su borde con la mar: el aporte sedimentario (Fernández Salas et al., 1996). Los cuatro factores que hemos señalado realizan su aportación de material, de una u otra manera, razón por la cual conviene prestar atención a los procesos que desencadenan y el control que ejercen sobre este sostenimiento del litoral.

V.1. El contexto tectónico-estructural y la geomorfología del entorno regional.

Si contemplamos un mapamundi y analizamos la distribución de continentes y océanos, nos daremos cuenta enseguida de las diferencias y

similitudes existentes entre la morfología de los bordes continentales de los diversos continentes. Dichas morfologías están impuestas por el movimiento diferencial de las placas tectónicas –Teoría de la Tectónica Global–, siendo, posteriormente, los agentes de la geodinámica externa los que retocan dicha morfología para darles, definitivamente, las diversas formas de relieve que actualmente reconocemos.

El conocimiento de las zonas sísmicas del Planeta, ha permitido definir los diversos cinturones sísmicos que surcan el globo y que coinciden con las zonas donde tiene lugar la actividad geológica cortical más intensa. Así, las placas tectónicas forman un mosaico en continuo movimiento, y permanentes reajustes en los bordes de contacto, entre unas piezas y otras.

Movidas por procesos de convección existentes en las capas superiores del interior del globo, las placas litosféricas viajan desde los lugares donde se genera corteza oceánica (dorsales), hasta las zonas de subducción (fosas), donde son destruidas, formando así un proceso continuo de generación/consumo cortical, o si se quiere de otro modo de construcción/destrucción de corteza.

Vemos entonces que la configuración de las placas litosféricas es única para cada momento de la historia de la Tierra. En consecuencia, aquellos litorales que se encuentren formando parte de la fachada de zonas tectónicamente activas, estarán sometidos a un dinamismo que les forzará a cambiar continuamente su morfología. Tenemos claros ejemplos en diversas partes del globo; la orilla pacífica del continente americano (Norte, Centro y Sudamérica), la fachada pacífica del continente e islas asiáticas, el Mar Rojo y la península del Sinaí. Como ejemplo de la apertura de un nuevo océano hay que mencionar el Rift Oriental Africano, que se manifiesta por la zona de los grandes lagos. La Cuenca de Alborán resultaría, en este contexto, un lugar relativamente tranquilo que constituye una microplaca sometida a las presiones que ejerce la convergencia de Europa y África. Se han medido acercamientos de entre 4 y 3 mm/año en dirección NNO/SSE. A resultas de este cuadro tectónico, podemos hablar de una zona sísmica de baja intensidad, por lo que no caben esperar –a no ser que cambien las condiciones de la convergencia–, modificaciones sustantivas en el cuadro sismogénico.

V.2. Las fluctuaciones climáticas y las variaciones relativas del nivel del mar durante el Cuaternario.

Los climatólogos saben perfectamente que nuestro planeta tiene un clima espectacularmente inestable y que situaciones posiblemente inimaginables, como que en los círculos polares hayan podido darse climas subtropicales o que existieran glaciares de casquete en el ecuador, son perfectamente viables, como así ha sucedido y se ha comprobado científicamente.

A los efectos que estamos considerando nos interesan fundamentalmente los cambios climáticos bruscos y relativamente rápidos que hayan determinado la formación de casquetes glaciares. A éstas épocas en las que existen cantidades importantes de hielo sobre los continentes las denominamos glaciaciones. En tales circunstancias es fácil imaginar que el nivel medio de las aguas marinas tienda a descender como consecuencia de la solidificación de una parte importante de la hidrosfera. Las épocas cálidas entre glaciaciones han comenzado a recibir el nombre de épocas de invernadero, porque los climatólogos creen que solamente un acusado efecto invernadero puede hacer subir tanto la temperatura de la atmósfera (Duplessy, 1990).



Figura 5. La primera fase de la última glaciación (Würm) comenzó hace unos 115.000 años, tras el periodo interglacial Eemense (durante el que el nivel medio de la superficie del mar se situó a unos 20 metros por encima del actual), produciéndose un descenso drástico y rápido de las temperaturas. La segunda fase de la glaciación sucedió hace 85.000 y duró unos 10.000 años, siendo mucho más acusada que la primera. La tercera fase se produjo de una manera mucho más abrupta que las dos anteriores, y se inició hace unos 30.000 años. Entonces se alcanzó el denominado Último Máximo Glacial que alcanzó su paroxismo hace 18.000 años. El nivel del mar bajó entonces hasta una cota situada a unos 120 metros por debajo de la actual (Siddall et al., 2003)

¿Cuál es el estado climático normal de la Tierra? ¿Una glaciación o una época de invernadero? La postura tradicional de la Ciencia ha sido que las glaciaciones eran anomalías: crisis climáticas en un planeta perpetuamente cálido. Si estos cambios se realizaran de una manera homogénea y periódica, sería muy fácil analizar la evolución del litoral y sus morfologías predominantes (Somoza et al., 1991). Pero sucede que dentro de una época de glaciación, el clima experimenta grandes variaciones. Los periodos glaciales alternan con períodos interglaciales. Dentro de cada periodo glacial o interglacial existen, a su vez, crisis climáticas regionales (que pueden ocasionar descensos en la temperatura de unos 6° C, incrementándose el polvo atmosférico hasta cinco órdenes de magnitud y llegando el CO₂ a disminuir hasta un 20%).

Existen diversas hipótesis (Anguita, 1988) que pretenden explicar las glaciaciones, los periodos glaciales y las crisis climáticas de corta duración. Las hipótesis solares apuntan la idea que el sol podría experimentar altibajos en su producción de energía que se reflejarían en la Tierra como glaciaciones, o bien que si tiene una combustión uniforme podría disminuir su radiación al atravesar las nubes de polvo atmosférico, o cualquier otra razón (p.e.: variaciones en el viento solar). Las hipótesis geológicas indican que la diferente distribución de mares y continentes puede originar una mayor facilidad para iniciar una glaciación (si la masa continental se encuentra cerca de los polos) además de alterar la circulación oceánica global (anular las corrientes ecuatoriales y forzar las corrientes circumpolares) con lo que fácilmente puede desencadenar una glaciación sobre los continentes. No hay que olvidar que las épocas orogénicas elevan la altitud media de los continentes, impulsan la edificación de cadenas montañosas y generan momentos de abundante vulcanismo explosivo, con lo que la proyección de polvo a la atmósfera es considerable. Recientemente se especula con la posibilidad de que un descenso importante en la cantidad de CO₂ en la atmósfera podría ocasionar una glaciación (efecto anti-invernadero) en un momento dado, de la misma manera que su incremento podría ocasionar un episodio de calentamiento global. Bien es verdad que es difícil encontrar momentos en la historia reciente de la Tierra en las que el descenso del CO₂ pudiera tener explicación, puesto que la biosfera tiene sistemas de amortiguación contra las variaciones excesivas del CO₂ (Anguita, 1988).

Aceptando la realidad de las glaciaciones, cabe preguntarse ¿cuál es la explicación de los periodos interglaciales como el que estamos viviendo en éste momento? La mejor respuesta a ésta pregunta la dio el astrónomo serbio Milutin Milankovitch, que en 1941 propuso que las tres variaciones de detalle de la órbita terrestre (excentricidad, variación y cabeceo en la inclinación del eje de giro) tenían periodicidades que, sumadas, daban una curva análoga a la de las variaciones de la temperatura que definen los periodos glaciales e interglaciales. Sin embargo ésta idea es tan solo una aproximación a un sistema tremendamente complejo que es el clima.

En definitiva, podemos concluir que el acomodo ambiental del litoral es consecuencia de un cambio climático producido por un calentamiento global muy brusco que hizo ascender el nivel medio de las aguas marinas y que marcó el final de la última glaciación (Hernández Molina et al., 1994). A este episodio se le conoce como Transgresión Flandriense, cuya fase inicial se produce hace unos 18.000 años. Es pues a partir de éste momento cuando los litorales empiezan su modelado definitivo bajo la influencia de los estadios de ascenso eustático y de las estabilizaciones relativas.



Figura 6. Afloramiento de un resto de playa paleocuaternaria localizada en un lateral del túnel, compuesto por dolomías, que une la Cala del Moral con el Rincón de la Victoria. En este recorrido litoral se pueden observar varios restos de paleoplayas como el de la fotografía que atestiguan la presencia del nivel marino a una altura superior a la que lo observamos en la actualidad. (Izquierda) El afloramiento de la playa destaca por su tono oscuro, propio de los esquistos de la que se compone, sobre el fondo beige claro de las dolomías. (Derecha) Detalle del afloramiento de la paleoplaya, algo vegetada, en la que aprecia la estratificación de los depósitos.

V.3. Las condiciones oceanográficas que gobiernan el dominio litoral

Hemos estado considerando, hasta éste momento, los procesos que podríamos denominar de largo periodo. Ahora trataremos de mencionar los agentes de corto periodo que actúan de una manera más localizada, y por ello tienen más capacidad de modificar la morfología litoral en periodos temporales más limitados. Resulta clásico identificar los agentes oceanográficos que condicionan la evolución del litoral en tres grupos: olas, corrientes y mareas (Brown et al., 1989a y 1989b).

Sabemos que las olas no son más que el resultado de un movimiento ondulatorio en el que cada molécula de agua está animada por un movimiento orbital que pasa a ser de traslación en el límite de ruptura. Pero este fenómeno puede no ser así cuando tratamos las olas de traslación desde el momento mismo de su formación; este último es el caso de los tsunamis. El frente de olas de un tsunami se forma, principalmente, como consecuencia de la generación de algún sismo producido en la cuenca marina, como resultado de la fricción entre bloques corticales que tienen diferente movimiento. Un buen ejemplo lo encontramos en el terremoto que tuvo lugar en el margen continental de Argelia, de magnitud 7, que provocó un tsunami que se dejó sentir en toda la

cuenca mediterránea occidental y que se acusó particularmente en la Bahía de Palma y en Mahón, con un frente de olas bastante destructivo. Sin embargo a penas tuvo reflejo en la Costa del Sol.

Se especula también con la posibilidad de que los tsunamis se generen por el desplazamiento súbito de grandes masas de sedimento que se desplazan hacia el fondo de la cuenca, con lo que se crea un vacío en la columna de agua que es inmediatamente ocupado por la masa de agua contigua, provocando así el inicio de la avalancha submarina. Ejemplos de este fenómeno lo encontramos en los tsunamis que se habrían generado en el Mar de Alborán como consecuencia de los deslizamientos producidos en la vertiente meridional de la Dorsal.

Se manifiestan en la costa con olas de gran altura que tienen una gran capacidad destructiva y un fuerte impacto erosivo en los litorales arenosos. Al propio ímpetu de la masa de agua hay que añadirle el empastado de la arena que removiliza y que se incorpora a la masa de agua, con lo que el efecto destructor es aún superior. Este tipo de olas son frecuentes en los márgenes activos con sismicidad importante. Existen registros históricos de tsunamis muy conocidos como por ejemplo el que aconteció en 1883 en Java y que se generó como consecuencia de la explosión del volcán Krakatoa. Otro episodio muy conocido es el del tsunami que asoló la ciudad de Lisboa en 1755 y que se generó por un sismo localizado en el Banco Gorringe al Sur de la Península Ibérica. Este tsunami también dejó su ola de destrucción en el Sur de la península y su registro es fácilmente reconocible en los arenales litorales de Cádiz y Huelva. Ejemplos más recientes los tenemos en los tsunamis de Sumatra, Chile y Fukushima. En este último se registraron olas de altura próxima a los 10 metros, habiendo sido generado por un terremoto de magnitud 9.



Figura 7. Durante el año 2010 se llevaron a cabo unas obras en el cauce del arroyo Jabonero (Málaga), con el fin de regular las fuertes avenidas que se estaban produciendo los últimos años y controlar así la desembocadura donde se ha construido un puente sobre el paseo marítimo. Este es un sistema más de retención de la carga sólida que transportan los cauces fluviales y que resulta vital para el sostenimiento del equilibrio dinámico de las playas. No son frecuentes las avenidas del arroyo pero sí son, por lo general, de carácter torrencial. (Izquierda) Construcción durante el verano de los muros de contención de las riadas. (Derecha) La primera avenida fuerte que registró el cauce en el mes de noviembre.

Otro tipo de olas de traslación son las que corresponden a los temporales de invierno. El efecto más significativo de un temporal sobre el dominio litoral, es el ascenso relativo del nivel marino inducido por los fuertes vientos dirigidos hacia la costa y que apilan grandes volúmenes de agua, así como por las bajas presiones atmosféricas (que tienden a bombear verticalmente el agua) actuando sobre la superficie oceánica como un barómetro inverso. Otro factor muy influyente es la fuerte lluvia que suele acompañar a los temporales y que multiplica el efecto de remodelado de relieves litorales. Si las lluvias son muy copiosas, producen un acumulo hídrico en el supralitoral que inhibe el flujo de las precipitaciones del interior hacia el mar, lo que trae como resultado una inundación generalizada. Esto se comprueba en muchos países tropicales o subtropicales que acusan estas situaciones con más frecuencia de la que permite la capacidad de recuperación del territorio.

Por último señalemos la importancia de las corrientes de deriva litoral —que están forzadas principalmente por el viento— y que no tienen una naturaleza de flujo hidrodinámico estable (Gracia, 1994 y 1999). De particular interés resulta el caso de los litorales que están sometidos a dos sistemas dinámicos forzados por los vientos de la misma dirección pero de sentidos contrarios (Figura 8). Uno de los mejor conocidos es el que sucede en el mar de Alborán (Mediterráneo Occidental) y que produce importantísimas modificaciones en los perfiles de equilibrio de las playas y constantes alteraciones de los depósitos infralitorales. El volumen de sedimento que se acarrea puede llegar a ser muy considerable, siendo la causa más frecuente de la pérdida de áridos de ciertos litorales que por causa del decremento de los aportes continentales pueden llegar a desaparecer.



Figura 8. La playa de La Araña (Málaga) es uno de los mejores ejemplos que sirven para explicar el efecto de los vientos y del transporte litoral en la dinámica de las playas. A la izquierda puede observarse la inmensa superficie que ocupa la playa cuando sopla levante. A la derecha se observa la misma playa cuando sopla el poniente. Se trata del régimen de vientos principal que gobierna el transporte por deriva litoral en el Mar de Alborán. La alternancia de ambos vientos permite la regeneración natural de la playa, que en ocasiones llega a quedar prácticamente desnuda, realimentándose por efecto de los vientos con nuevos sedimentos. Dicha alternancia no tiene una periodicidad concreta, si no que puede presentarse en semanas consecutivas o en periodos de tiempo menor. El efecto sobre la playa se percibe en menos de 24 horas cuando el viento es suficientemente intenso.

V.4. La bioproduktividad específica de cada zona del dominio litoral

Es frecuente que los autores que tratan este factor determinante en la construcción de los litorales y en su posterior evolución, se centren más en los exóticos arrecifes que en otros aspectos importantes que nada tienen que ver con éstos paradisíacos lugares. Sin lugar a duda, cuando se apunta la bioproduktividad de las aguas como factor controlador de la evolución del litoral, inmediatamente acude a nuestra mente un arrecife tropical, un atolón “de documental” o el gran cinturón coralino australiano.

Sin pretender quitarle importancia a éstas bioconstrucciones, que realmente la tienen, conviene no olvidarse de otro tipo de edificaciones –como pueden ser las praderas vegetales de *Caulerpa prolifera* o de *Posidonia oceanica*– que modifican sustancialmente la morfología infralitoral y generan un diverso ecosistema en su entorno, cuya elevada producción biológica alimenta los sedimentos donde se asientan aquellas colonias. Este tipo de poblamientos fitobentónicos son frecuentes en la Costa del Sol, donde se han detectado algunas praderas posidonícolas bien desarrolladas y conservadas. Son de gran importancia ambiental –ya que oxigenan las aguas–, y ecológica –ya que son el nicho ecológico de numerosas especies y sirven de hábitat protector para su supervivencia quedando salvaguardadas de muchos de sus depredadores–. Son también importantes para la protección de las costas, ya que sus hojas disipan la energía de las olas y sirven para atrapar el sedimento en suspensión que transportan las corrientes de deriva litoral. Esta función de trampa sedimentaria es vital para continuar extendiendo la pradera. Son hábitats protegidos por la red Natura 2000.

Particularmente interesante es el caso de las plataformas continentales de mares cálidos, como es el caso del Mar de Alborán, que favorecen la alta productividad biológica, o bien las zonas de upwelling que generan una alta productividad biológica y producen una riquísima sedimentación biogénica, o quizá también los fondos fuertemente oxigenados que generan unos ecosistemas macrofitobentónicos con importantes contribuciones biogénicas al sedimento. Son también importantes todas las bioconstrucciones de serpúlidos, algas calcáreas, moluscos, etc., que colaboran en el equilibrio del litoral y son fuente de material sedimentario (Díaz del Río, 1993).

El caso particular de los arrecifes litorales (recientemente se han descubierto extensos arrecifes coralinos, compuestos fundamentalmente por *Lophelia pertusa*, a grandes profundidades, que viven gracias a las corrientes de aguas frías, precisamente todo lo contrario de lo que sucede con los arrecifes tropicales), son bioconstrucciones de elevado relieve y amplia extensión espacial. Su equilibrio depende de las condiciones físico-químicas del medio en el que se desenvuelven los organismos productores del carbonato cálcico (celentereos, espongiarios, algas, etc.).

En términos de sedimentación, la importancia de los factores biológicos se puede concretar en los siguientes dos aspectos: por una parte reelaboran y modifican la naturaleza de los sedimentos, y por otra parte, aporta a su composición materiales detríticos, como son los fragmentos y restos de los esqueletos que componen sus organismos.

VI. CONCLUSIONES.

La importancia del litoral reside, fundamentalmente, en su carácter transicional, siendo un dominio tremendamente frágil y sensible a los cambios ambientales. Preocupa particularmente la ocupación de la que viene siendo objeto en los últimos tiempos, acogiendo urbanizaciones populosas, incremento de población en las ciudades costeras, industrias y, sobre todo, las profundas modificaciones artificiales para garantizar la protección de las obras civiles. La Costa del Sol ha experimentado profundos cambios derivados de la intensa ocupación a la que se ha sometido. Esta circunstancia lo único que ha hecho es interrumpir un proceso natural que de alguna manera se recuperará en el momento más inesperado.

A la vista de lo tratado podemos apuntar las siguientes conclusiones:

1º. Los litorales son zonas muy frágiles que se encuentran en permanente evolución. Están sometidos a un equilibrio dinámico en el que no es conveniente interferir.

2º. El equilibrio dinámico de la Costa del Sol, está controlado por factores de largo y corto periodo. Estos últimos están vinculados a la oceanografía y climatología del Mar de Alborán y, en consecuencia, sometidos a los forzamientos que determinan el Cambio Climático.

3º. La Costa del Sol se emplaza en un litoral muy dinámico, derivado de su configuración orográfica (cadena montañosa paralela al litoral y muy próxima a la costa) y del forzamiento impuesto por el régimen de corrientes y de vientos.

4º. La tipología de relieves costeros que ofrece la Costa del Sol hace que el impacto de los cambios ambientales tenga distintos efectos en unos lugares o en otros. La contribución del drenaje continental puede sufrir profundas transformaciones con consecuencias desastrosas para el sostenimiento del litoral.

5º. La intervención antropogénica en el sistema natural de la Costa del Sol, ha determinado un deterioro ambiental que no puede ser subsanado de manera sostenible sin producir aún mayores deterioros.

6°. El impacto que pueda causar el Cambio Climático sobre la Costa del Sol, en el supuesto de que las tendencias no cambien, es relativamente previsible y nos retrotraería a episodios climáticos ya sucedidos en tiempos relativamente recientes.

7°. La ocupación y destrucción de las playas mediante la construcción de infraestructuras viales, y la regulación de los cauces fluviales, con la consiguiente disminución de aportes sedimentarios al medio marino, se vislumbran como los factores más negativos que dificultan el sostenimiento del equilibrio de las playas.

8°. A tenor de las observaciones realizadas en el mareógrafo de Málaga, en el periodo 1990/2008, la tendencia de ascenso eustático en la Costa del Sol es de un incremento de 1.5 mm/año. Convendrá realizar las convenientes previsiones para poder responder a las posibles catástrofes que puedan originar los frentes de tormenta invernales sobre las costas.

V. BIBLIOGRAFIA

- ANGUITA, F., 1988. Origen e historia de la Tierra. *Editorial Rueda*. Madrid. 525 pp.
- BENASSAI, G., BREBBIA, C.A. y RODRÍGUEZ, G., 2011. Coastal Processes II. WIT Press, Southmpton, UK, 344 pp.
- BROWN, J., COLLING, A., PARK, D., PHILLIPS, J., ROTHERY, D. y WRIGHT, J., 1989a. Waves, tides and shallow-water processes. *Pergamon Press*. Oxford, England. 187 pp.
- BROWN, J., COLLING, A., PARK, D., PHILLIPS, J., ROTHERY, D. y WRIGHT, J., 1989b. The ocean basins: their structure and evolution. *Pergamon Press*. Oxford, England. 171 pp.
- DAVIS, R. A. Jr., 1994. The evolving coast. *Cientific American Library*. New York. 231 pp.
- DÍAZ DEL RÍO, V., 1993. Estudio Geoambiental de Mar Menor. *Mono-grafías del Inst. Esp. Oceanog.* Nº 4, 223 pp.
- DÍAZ DEL RÍO, V., NACHITE, D., PALOMINO, D., y VÁZQUEZ, J.T., 2009. Geomorfología y Geodiversidad de la Cuenca de Alborán. *Informe Técnico*, IUCN.
- DUPLESSY, J.C., 1990. Global changes during the last 20.000 years: the ocean sediment record. En: R.S. Bradley (Edit.), *Global Changes of the past*. Office for Interdisciplinary Earth Studies (OIES), Boulder, CO, pp.341-395.

- FERNÁNDEZ SALAS, L.M., HERNÁNDEZ MOLINA, F.J., SOMOZA, L., VILLALÁIN, J.J., GUERRERO, B., ALONSO, J.J. y DÍAZ DEL RÍO, V., 1996. Estructuración sedimentaria de los depósitos de alto nivel Holoceno del delta del río Guadalhorce (Málaga). *Geogaceta*, vol. 20 (2): 412-415.
- GRACÍA PRIETO, F.J., 1994. Riesgos geológicos litorales. *XXVIII Curso de Geología Práctica (Teruel)*. Instituto de Estudios Turolenses.
- GRACÍA PRIETO, F.J., 1999. Impacto de los asentamientos costeros sobre la morfodinámica litoral. *Curso de Postgrado: Las evaluaciones de impacto ambiental en el medio marítimo-costero*. Universidad de Cádiz.
- GUTIERREZ ELORZA, M., 1994. Geomorfología de España. *Editorial Rueda, S.L.*. Madrid. 526 pp.
- HERNÁNDEZ-MOLINA, F.J., SOMOZA, L., REY, J. y POMAR, L., 1994. Late Pleistocene-Holocene sediments on the Spanish continental shelves: model for very high resolution sequence stratigraphy. *Marine Geology*, vol. 120: 129-174.
- MALDONADO, A., 1997. The Mediterranean coast: an introduction to study of coastal changes. En: Transformations and evolution of the Mediterranean coastline. F. Briand y A. Maldonado (Edt.). CIESM Science Series, nº 3, *Bull. Inst. Ocean. Monaco*, nº 18.
- NAVAS, A., 2010. Cambio Climático y Biodiversidad Edáfica. *Acta Científica Tecnológica*, nº 17: 1-3.
- REY, J. y DÍAZ DEL RÍO, V., 1986. Los depósitos sedimentarios submarinos del litoral. *Curso sobre Obras de Defensa y Regeneración de Playas*. Madrid, 20 al 23 de Mayo.
- SIDDALL, M., E. J. ROHLING, A. ALMOGI-LABIN, Ch. HEMLEBEN, D. MEISCHNER, I. SCHMELZER & D. A. SMEED, 2003. Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. *Nature*, vol. 423: 853-858.
- SOMOZA, L., GOY, J.L., ZAZO, C., BARDAJÍ, T., DABRIO, C.J., SILVA, P. Y LARIO, J., 1991. Holocene sea-level highstands in the western Mediterranean (SE Spain). A computer-statistical analysis of radiocarbon dating. *Medit. Black Sea Shorelines Subcomm. Newslett., INQUA Comm. Quaternary Shorelines*, nº 13: 61-64.
- VARGAS, M., GARCÍA, M.C., MOYA, F., TEL, E., PARRILLA, G., PLAZA, F., LAVÍN, A. y GARCÍA, M.J., 2010. Cambio Climático en el Mediterráneo Español. *Temas de Oceanografía*, Vol. 3: 176 pp. Instituto Español de Oceanografía.