

EL LITORAL CASTELLONENSE: PRESENTE Y FUTURO

VICENTE MARTÍNEZ GARCÍA

Institut Universitari de Matemàtiques i Aplicacions de Castelló

Departament de Matemàtiques, Universitat Jaume I

martinez@mat.uji.es

RESUMEN

La conservación de las playas de Castellón tiene una importancia fundamental para el entorno socio-económico y cultural de la provincia de Castellón. Esto se debe, entre otras consideraciones, a la atracción turística que éstas poseen, a la calidad y forma de vida de los habitantes de la zona y a los beneficios medioambientales que se obtienen. Es conocido que existe una problemática habitual en estas playas, debida por una parte a la localización de emisarios que contaminan el agua y por otra a la pérdida de arena. Para evitar este segundo problema, en muchas de estas playas se ubican pequeños espigones que permiten la acumulación de arena, consiguiendo de esta forma mejorar el atractivo de estas zonas. Sin embargo, esta retención no es suficiente, ya que periódicamente las autoridades se ven obligadas a gastar millones de euros en su regeneración.

El desarrollo de modelos que permitan simular el comportamiento de las corrientes, el movimiento de sedimentos y prever la dinámica del litoral será muy útil para mejorar la ubicación de los emisarios, adecuar el tiempo de emisión con las corrientes, así como observar el lugar y la forma idónea de colocación de los espigones o cualquier otra actuación que consiga retener la arena de forma óptima.

Es conocido que los modelos de aguas someras confirman que la geometría del dominio determina el movimiento del agua. En este sentido, sería recomendable utilizar estos modelos para averiguar qué actuaciones sobre la costa serían más idóneas para retener la mayor cantidad de arena posible y conservar el litoral.

Palabras clave: dinámica litoral, ecuaciones de aguas someras.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la Confederación Hidrográfica del Júcar (la cual incluye a los ríos de la provincia de Castellón) está revisando el plan hidrológico de cuenca. Este plan que incluirá por primera vez la regularización de las aguas costeras cataloga como temas importantes, entre otros, a los siguientes: caudales ecológicos y requerimientos ambientales, restauración de ecosistemas fluviales, calidad de las masas de agua, etc. Algunos apartados concretos que se pueden extraer hacen referencia al cambio climático, a los fenómenos meteorológicos extremos y sus efectos, así como de las medidas de protección a adoptar. Sin embargo, aparte de un mero seguimiento de los datos estadísticos recogidos, no utiliza modelos contrastados para realizar predicciones fiables, lo cual nos daría una verdadera dimensión de la problemática que se plantea.

Existen diversas predicciones sobre las consecuencias del cambio climático, daremos solamente una pequeña muestra:

- Las previsiones de futuro para el Mediterráneo son que el nivel del mar aumente hasta veinte centímetros, lo que implicaría que por cada centímetro de aumento del nivel del agua desapareciera un metro de la línea de costa. La alteración del oleaje podría provocar la desaparición del 70 por ciento de las playas, la salinización de la zona y la consiguiente afectación a los ecosistemas tanto vegetales como marinos (Greenpeace, 2009).
- “El cambio climático puede volver a traer la malaria o el dengue a Baleares. Las lluvias se concentrarán y provocarán plagas de mosquitos que podrían transmitir nuevas enfermedades” declaraciones de Carlos Duarte (diario de Mallorca, 2009), investigador del Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados, Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universitat de les Illes Balears.
- Jorge Olcina, del Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física de la Universidad de Alicante, advertía “La cuenca del Mediterráneo es una región-riesgo frente a los peligros de la naturaleza; una de las más importantes en el contexto mundial por la coincidencia en este espacio geográfico de un medio físico complejo y difícil y una población dinámica y creciente, que se acumula, en gran medida, en áreas litorales”. En relación con el cambio climático, sequías e inundaciones, añadía: “Los últimos veinticinco años han resultado pródigos en peligros naturales y, especialmente, en episodios atmosféricos extremos” (Olcina, 2008).

No se puede asegurar que todo esto vaya a ser cierto, pero tampoco que no pueda ocurrir. Para averiguar cómo evoluciona el clima, cuáles son los procesos que intervienen y que hacer para controlar o al menos adaptarse a la evolución climática sería necesario llevar a cabo proyectos globales donde intervinieran investigadores cualificados de todos los ámbitos con un presupuesto suficiente. La importancia del asunto lo requiere, va con ello el futuro del planeta.

Previamente a emitir cualquier juicio de valor sobre cómo se ha modificado el perfil de la costa en la provincia, cómo afectan las corrientes marinas a las playas, qué efectos tienen los temporales, el incremento del nivel del mar por efecto del cambio climático, y cuáles deben ser las medidas de protección a adoptar, es conveniente conocer algunos detalles de los procesos que tiene lugar en las cuestiones que se han planteado. En este sentido, nos centraremos en los aspectos que afectan al movimiento de arena y

sedimentos en el litoral, sin profundizar en las implicaciones que pueda tener el cambio climático, porque, claramente, su estudio y análisis desborda las pretensiones de este trabajo.

2. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA DINÁMICA LITORAL

2.1. EL EQUILIBRIO DE SEDIMENTOS EN LA PLAYA

Es bien conocido que las playas se forman allí donde la acumulación de arena predomina o se equilibra con la erosión. Fundamentalmente, la arena que se distribuye por la costa, proviene de los sedimentos que los ríos arrojan al mar.

Las dunas próximas al mar amortiguan el impacto del oleaje y retienen solamente una pequeña parte de la arena. En una playa virgen (figura 1a), cuando la arena, por efecto del viento (en nuestro caso de levante) o por un temporal violento, se traslada hacia el interior de la costa, la arena se encuentra allí con cordones de dunas que la retienen para que posteriormente, el viento (en nuestro caso de poniente) la devuelva a la playa, manteniéndose un equilibrio (Sanjaume y Pardo, 1992).

En la mayoría de los casos, la playa precisa de un aporte adicional de arena, el cual es suministrado por los sedimentos de los ríos. En el litoral castellanense, este aporte lo realiza, fundamentalmente, el río Ebro y en menor medida, el río Mijares. Este hecho, se debe a la corriente norte-sur que en nuestro caso es la dominante.

Sin embargo, desde hace decenios, debido a la presión demográfica y al aumento de las zonas de regadío, la mayor parte del aporte de sedimentos que los ríos realizan al mar ha sido interrumpido por la construcción de embalses.

2.2. LAS INFRAESTRUCTURAS COSTERAS

Las obras de ingeniería, sobre todo los puertos y los paseos marítimos han ido alterando poco a poco el paisaje de la costa de nuestra provincia. Resulta imposible encontrar un municipio que no aspire a tener un paseo marítimo urbanizado para uso y disfrute de sus propios vecinos y de los turistas que les visitan. En lo referente a los puertos, cabe decir que hace pocos días, el miércoles 14 de abril del presente año, estuvo el presidente de la Autoridad Portuaria de Portcastelló, Juan José Monsonís, en el congreso *Congrés Obert i Virtual Castelló 2020* (Universitat Jaume I), donde dió cifras elocuentes de la actividad del puerto, así como de la gran proyección de futuro del puerto para la actividad empresarial de Castellón, fundamentalmente para las industrias azulejeras y petroquímicas, y para la exportación de cítricos. Resultaría pueril discutir la

necesidad de la existencia de un puerto moderno y competitivo en Castellón. Sin embargo, estas infraestructuras interrumpen la circulación de sedimentos norte-sur que repone constantemente la arena que se pierde manteniendo así el equilibrio de las playas (Rosselló, 1969).

La arena se acumula al norte de las infraestructuras costeras, formando allí playas cada vez más grandes (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1979) en detrimento de la zona sur de las mismas, donde la línea costera sufre una fuerte erosión. Para darse cuenta de este hecho, sólo es necesario echar un vistazo a las playas del sur próximas a los puertos de Castellón y Burriana. En la figura 1b, puede verse una fotografía del puerto de Burriana.



Figura 1: (a) playa virgen del caribe mexicano, (b) puerto de Burriana.

2.3. LOS TEMPORALES

Desde hace siglos, en la Comunidad Valenciana, la pluviometría es escasa y está concentrada en periodos cortos de tiempo, sobre todo en la temporada de otoño. El informe (Burriel, 2001), en referencia al temporal marítimo del fin de semana del 11 de noviembre de 2001, decía: “paseos marítimos destrozados, playas engullidas por el mar, casas y restaurantes costeros inundados, carreteras litorales dañadas y cortadas, millones de euros en daños materiales”. Por desgracia esta crónica se repite periódicamente, tanto en años posteriores a 2001 como anteriores, en este sentido cabe mencionar el gran temporal marítimo del 28 de diciembre de 1980 (Sanjaume, 1981) o la pantanada provocada por la rotura de la presa de Tous en 1982. En (Olcina, 2008), puede encontrarse una reseña más amplia de temporales violentos ocurridos en España durante

los últimos años. En la figura 2a puede verse una fotografía de M. Bascaran (Google Earth) del temporal de Donosti en 2008.

En nuestro caso, la situación puede agravarse, existen estudios sobre previsiones para las próximas décadas que indican que la temporada de lluvia puede reducirse y agravarse con episodios más violentos.

2.4. REGENERACIÓN DE PLAYAS

El profesor de la Universidad Politécnica de Valencia, José Serra, ha coordinado en las dos últimas décadas varios estudios sobre la evolución de la playa de La Devesa y del Saler, incidiendo en aspectos como el análisis de riesgo de regresión de la misma. En las conclusiones de este informe se asegura que en la playa de La Devesa si bien aparentemente es estable, se observa cierta tendencia a la regresión. Añade que estas playas necesitan al año 90.000 m³ de arena para no desaparecer (publicado en Levante-EMV, 20/05/08). El profesor Serra, en referencia a la dinámica del litoral comprendido entre las desembocaduras de los ríos Júcar y Molinell, concluía que los aportes de arena son la única solución a la regresión de las playas. La única porque, obviamente, nadie puede asumir que se plantee la reordenación urbana de las zonas ya construidas. En este estudio, ha quedado establecido que el puerto de Gandía es la causa de que no lleguen alrededor de 20.000 metros cúbicos de arena a las playas situadas entre Daimús y Piles. La solución apuntada es el trasvase de esa misma cantidad de arena (Ministerio de Medio Ambiente, 2006).

Existen, fundamentalmente, dos procesos para la regeneración artificial de playas: el trasvase desde canteras, zonas colindantes o desiertos y la extracción de los fondos marinos. Ambos procesos son caros y tienen inconvenientes. En el primer caso, pueden destruir barreras de protección en dunas interiores o precisar de un transporte desde largas distancias, y en el segundo, además pueden conllevar la destrucción del ecosistema marino en el lugar donde se realiza la extracción.

3. LA SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente, nos encontramos con infraestructuras en la mayor parte de nuestra costa: puertos, urbanizaciones, paseos marítimos, etc. **Resulta obvio que no podemos derruirlos** (en la figura 2b, puede verse el paseo marítimo de Benicàssim). Sin embargo, estas obras causan, por una parte la desaparición de las dunas interiores que

permitían devolver la arena a la costa, y por otra la interrupción de la circulación de sedimentos norte-sur que reponían constantemente la arena perdida.

Por otro lado, los embalses construidos en los ríos retienen la mayor parte de los sedimentos que éstos aportaban al mar para que se incorporasen a la circulación marina y que regeneraban de forma natural las playas. También es obvio, **que tampoco podemos derruirlos.**

Las tormentas tienden a ser más violentas y concentradas en el tiempo, lo cual requiere también actuaciones que protejan el litoral. No debemos contentarnos con una regeneración cíclica y costosa de nuestro litoral cada vez que sufrimos un episodio tormentoso.

Por otro lado, el aumento de la temperatura puede tener un efecto devastador en la industria turística. No podemos limitarnos a ofertar playas de poca calidad donde el paisaje dominante sea de hormigón. Existe el riesgo que los turistas con poder adquisitivo alto busquen zonas más templadas y vírgenes para sus destinos vacacionales.

Para finalizar, reseñaremos un estudio (Serra y González-Escrivá, 2008) que predice un aumento del nivel mar en la costa mediterránea. Otra razón más para proteger nuestro litoral.



a

b

Figura 2: (a) temporal en Donosti (2008), (b) paseo marítimo de Benicàssim.

4. MODELOS SOBRE LA DINÁMICA LITORAL

En esta sección, comentaremos brevemente los tipos de modelos existentes. No mostraremos ecuaciones y tampoco analizaremos los mismos a nivel de especialista,

con ello pretendemos no perder el sentido divulgativo que tiene el presente trabajo. El lector interesado puede acudir a las referencias que se apuntan al final de la comunicación.

Fundamentalmente, existen dos tipos de modelos: los propuestos por ingenieros de costas (Sánchez-Badorrey y Losada, 2005) y los propuestos por físico-matemáticos (Toro, 2001 y Fernández-Nieto, 2003). Los primeros contienen gran cantidad de parámetros que deben ajustarse para cada caso y presentan dificultades en la predicción de situaciones a largo plazo. Y los segundos, básicamente gobernados por las ecuaciones de aguas someras, predicen con exactitud el movimiento del agua en ríos y en zonas costeras para periodos cortos de tiempo y no incorporan los sedimentos a este movimiento; y por tanto, no sirven para describir de forma eficiente la dinámica litoral a nivel global.

Recientemente se han realizados algunos intentos de considerar los sedimentos como un fluido más de este proceso, incorporan una ecuación más al modelo de aguas someras, pero hasta la fecha se encuentran en un estadio muy primario (Fernández-Nieto *et al*, 2008). Sin embargo, nos pueden orientar sobre el funcionamiento del proceso de movimiento de sedimentos próximos al litoral. En algunos trabajos, en los que hemos intervenido (Fernández-Nieto y Martínez, 2005 y González, Castelló y Martínez, 2005), se pone de manifiesto que el movimiento de fluidos (agua o sedimentos) depende de la geometría de la zona donde se encuentran.

5. CONCLUSIONES

A la vista de las consideraciones expuestas en las secciones precedentes, algunas soluciones a la problemática planteada (Greenpeace, 2009 y Burriel, 2001) son las siguientes:

- Proteger las dunas, que constituyen los depósitos naturales de arena de las playas.
- No extraer arena de yacimientos submarinos ya que se destruyen hábitats fundamentales para la conservación del litoral.
- No construir en primera línea de costa, ya que se destruyen los depósitos naturales de arena de las playas. Evitar toda nueva ocupación del terreno del mar y de las dunas litorales. Incluso en algunas zonas costeras hay que plantearse desclasificar suelos urbanizables aún no construidos, a pesar del alto coste económico y político.

- Ya que parece difícil tener playas estables sin que nuestro mar reciba más aporte de arena y está no le puede llegar directamente de los ríos, habría que proporcionársela en la desembocadura de los ríos, para que el mar la redistribuya con la dinámica litoral.
- Permitir que la arena circule por toda la costa sin interrupciones realizando “*by pass*” o trasvases de arena del norte al sur de las infraestructuras que impidan la circulación de sedimentos.
- Hay que analizar con más detalle cada regeneración de playa que se aborde: el conocimiento de su perfil de equilibrio completo, y no sólo de la parte emergida, el grosor de arena a utilizar, el tipo de defensa. Y no parece que haya que descartar la instalación de elementos sumergidos disipadores de la energía del oleaje (Sanjaume, 1998).
- Allí donde sea posible, se debe regenerar el cordón dunar (Sanjaume y Pardo, 1991) y no permitir la construcción de ninguna nueva obra dura y rígida en primera línea (paseos marítimos o similares) ni nuevos puertos deportivos que interrumpen la circulación de la arena. Los paseos marítimos deben hacerse detrás del cordón dunar y a ser posible con estructuras “blandas”. También considera que pronto empezaremos a darnos cuenta de la necesidad de retirar algunas construcciones de la primera línea de costa para recuperar espacio en el litoral.

En nuestra opinión, aunque algunas de las acciones que se proponen son de difícil implementación, al menos, dentro de lo posible deberían ser consideradas. La conclusión global que cabe extraer es que **la mejor defensa del litoral es una playa estable.**

En estos momentos, parece utópico llegar a tener de forma natural playas estables en muchas zonas del litoral castellonense. La apuesta que cabría hacer, sería la de desarrollar medidas baratas que nos permitan conservar la mayor cantidad de arena posible y en su caso, actuar sin dañar el ecosistema, regenerando aquellas zonas que lo precisen. En este sentido y desde la perspectiva de matemáticos aplicados que han trabajado en simulación numérica, han estudiado modelos de movimiento de fluidos y que han comprobado que los modelos de aguas someras confirman que el movimiento de los fluidos lo determina la geometría del dominio, recomendaríamos estudiar, con estos modelos, qué actuaciones en la costa serían la idóneas para retener la mayor

cantidad de arena; por medio de espigones a nivel del mar o submarinos (arrecifes artificiales) evitando, en lo posible, interferir en el ecosistema. A la vista de las consideraciones realizadas, recomendaríamos no realizar extracciones submarinas para reponer arena, está se debería trasvasar de canteras interiores o de zonas desérticas.

Modelos similares permitirían estudiar los efectos de las tormentas sobre las costas y sus infraestructuras, en este sentido sería muy conveniente revisar los modelos estudiados por el *HR Wallingford Group* (Reino Unido) con gran experiencia en *overtopping* (efecto violento del oleaje sobre la costa y rebasamiento de infraestructuras costeras).

Un proyecto más ambicioso consistiría en formar equipos de matemáticos y físicos especialistas en fluidos con ingenieros de costas, de forma que complementen sus conocimientos y puedan elaborar modelos conjuntos. Se requieren mediciones precisas de la batimetría de las zonas costeras, construir modelos académicos y contrastarlos en laboratorios de oleaje, y realizar gran cantidad de experimentaciones sobre el terreno.

6. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece el soporte recibido de la Fundació Caixa Castelló-Bancaixa (P1·1B2009-55) para la realización de este trabajo.

7. REFERENCIAS

- Eugenio L. Burriel, *Cuando el mar saca sus escrituras. Lecciones del reciente temporal marítimo*, Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales, Ed. Universidad de Barcelona, Vol.VI, n.333, 2001.
- Diario de Mallorca, <http://www.diariodemallorca.es/.../513013.html>, 10/10/09.
- Enrique D. Fernández-Nieto, François Bouchut, Didier Bresch, Manuel J. Castro y Anne Mangeney, *A new Savage-Hutter type model for submarine avalanches and generated tsunami Source*, J. of Computational Physics, Vol. 227 (16), 2008, p.7720.
- Enrique D. Fernández-Nieto, *Aproximación numérica de leyes de conservación hiperbólicas no homogéneas. Aplicación a las ecuaciones de aguas someras*, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 2003.
- Enrique D. Fernández-Nieto y Vicente Martínez, *An Artificial Compression Technique Applied to Shallow Water Equations with Pollutant*, en Benkualdoun, Ouazar y Raghay (Eds), *Finite Volumes for Complex Applications IV*, Ed. ISTE Hermes Science Publishing, 2005, pp.595.

- Greenpeace, *La crisis del clima. Evidencia del cambio climático*, <http://www.greenpeace.org/.../090503.pdf>, 2009.
- María González, Joaquín Castelló y Vicente Martínez, *Resolución numérica de un modelo unidimensional de overtopping*, en Castelló y Martínez (Eds), *Modelización Matemática de la Sedimentación en la Costa*, Medi Ambient n.6, Publicacions de la Universitat Jaume I, 2005, p.105.
- Ministerio de Medio Ambiente, *Estudio de la dinámica litoral del frente costero entre las desembocaduras del Júcar y del río Racons y vertido y calidad de aguas*, Proyecto de la Universidad Politécnica de Valencia, 2006.
- Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, *Estudio de la dinámica litoral en la costa Peninsular mediterránea y onubense. Provincias de Valencia, Castellón y Tarragona*, Madrid, Laboratorio de Puertos Ramón Iribarren, 1979.
- Jorge Olcina, *Prevención de riesgos, cambio climático y sequías*, informe disponible desde 2008 en <http://www.unizar.es/fnca>.
- Vicenç Rosselló, *El litoral valencià*, Valencia, Ed. L'Estel, 1969.
- Elena Sánchez-Badorrey y Miguel A. Losada, *Movimiento de la línea de costa, transporte y sedimentación inducida por flujos oscilatorios de múltiple escala*, en Castelló y Martínez (Eds), *Modelización Matemática de la Sedimentación en la Costa*, Medi Ambient n.6, Publicacions de la Universitat Jaume I, 2005, p.205.
- Eulalia Sanjaume, *Temporal de levante en las costas del país Valenciano (diciembre 1980)*, Cuadernos de Geografía, Universitat de València, Departament de Geografía n.29, 1981, p.224.
- Eulalia Sanjaume y Josep E. Pardo, *The dunes of the valencian coast (Spain): past and present*, en Carter y Sheely-Skeffington (Eds.), *Coastal dunes*, Rotterdam, Ed. Balkema, 1992, p.475.
- José Serra y José A. González-Escrivá, *A comprehensive study of the southern coast of Valencia (Spain) toward shore nourishment*, in Proceedings 31th International Conference on Coastal Engineering, , Hamburg, 2008, p.26.
- Eleuterio F. Toro, *Shock-Capturing Methods for Free-Surface Shallow Flows*, Ed. Wiley, New York, 2001.