

El hemidelta Sur del Llobregat: Un sistema natural controlado por la acción humana

The southern lobe of the Llobregat delta: A natural system controlled by human activity

V. Gracia¹ y A. Calafat²

¹ Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental. Universitat Politècnica de Catalunya C/ Jordi Girona 1-3, Mòdul D1, 08034 Barcelona

² Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franqués s/n 08028 Barcelona

Resumen: La evolución reciente del hemidelta Sur del Llobregat (Barcelona) es un claro ejemplo de sistema natural dominado por la acción del hombre. Las necesidades de ocupación de la llanura y frente deltaico junto con la regulación del caudal del río han generado un fuerte desequilibrio sedimentario. El ascenso del nivel del mar a largo plazo inducido por el calentamiento global no hará más que agravar esta situación. El artículo presenta las disfunciones generadas y la difícil coexistencia entre la geomorfología y la actividad humana en 4 puntos representativos de la costa objeto de la visita de campo organizada en el marco de las "Xª Jornadas de Geomorfología Litoral". En la primera parada, al sur de la unidad se observa el impacto causado por el puerto deportivo de Port Ginesta, responsable del cierre del sistema en términos sedimentarios. La segunda parada, en la zona central, es un ejemplo de evolución costera inducida por la acción del oleaje y la orientación de la costa. En la parada 3 se describen los trabajos de restauración de un sistema dunar. Finalmente, al norte de la unidad se observan los efectos de la divergencia en el transporte longitudinal generados por la ampliación del puerto de Barcelona.

Palabras clave: Delta urbano, antropización, evolución costera, gestión de costas.

Abstract: *The recent evolution of the southern lobe of the Llobregat delta (Barcelona) is a clear example of a natural system dominated by human action. The deltaic plain and coastal fringe land occupation together with the flow regulation of the river have generated a strong sedimentary imbalance. The sea level rise induced by global warming will aggravate this situation. The article presents the coastal dysfunctions and the conflicts generated between the geomorphology and human demands in four locations visited in the field trip organised by the Xn Jornadas de Geomorfología Litoral". The first stop, at the south, shows the effects of the construction of Port Ginesta, responsible of the closure of the system in sedimentary terms. The second stop, in the central zone, is an example of coastal evolution induced by the action of the waves and the orientation of the coast. The third stop, the works associated to a dune system restoration are shown. Finally, at the north of the unit the result of the divergence in the longitudinal transport induced by the expansion of the port of Barcelona is observed.*

Key words: *Urban deltas, human influence, coastal evolution, management*

INTRODUCCION

Los deltas son ambientes deposicionales cuya morfología está gobernada por la acción combinada de las aportaciones fluviales, la acción del oleaje y las mareas (Galloway, 1975). En los últimos 100 años, estas zonas costeras han sido intensamente colonizadas por el hombre, modificando el equilibrio natural entre estos tres componentes. El resultado ha sido un cambio en la tendencia evolutiva y la necesidad de compatibilizar las morfologías litorales con los distintos tipos de uso.

El delta del Llobregat (Barcelona) es un claro ejemplo de delta originalmente gobernado por las aportaciones del río y la acción del oleaje. La construcción de presas en la cabecera de la cuenca, azudes a lo largo de su curso y el dique de encauzamiento en su desembocadura han prácticamente

desconectado el río de la evolución del delta, de forma que en la actualidad éste se encuentra bajo la influencia directa de la acción de las olas. El resultado de esta polarización es la remodelación del frente marítimo a una intensidad proporcional a la del clima de oleaje incidente. Este nuevo comportamiento no siempre es considerado como aceptable desde el punto de vista de los usos del territorio, obligando a una política intervencionista.

El artículo tiene como objetivo mostrar con ejemplos las problemáticas costeras más relevantes del lóbulo Sur del delta del Llobregat y los retos que se plantean para su gestión a la escala episódica y el medio y largo plazo. El trabajo se articula en torno a la descripción de 4 puntos de interés (Fig. 1) y que son objeto de visita en la salida de campo de las X Jornadas de Geomorfología Litoral.

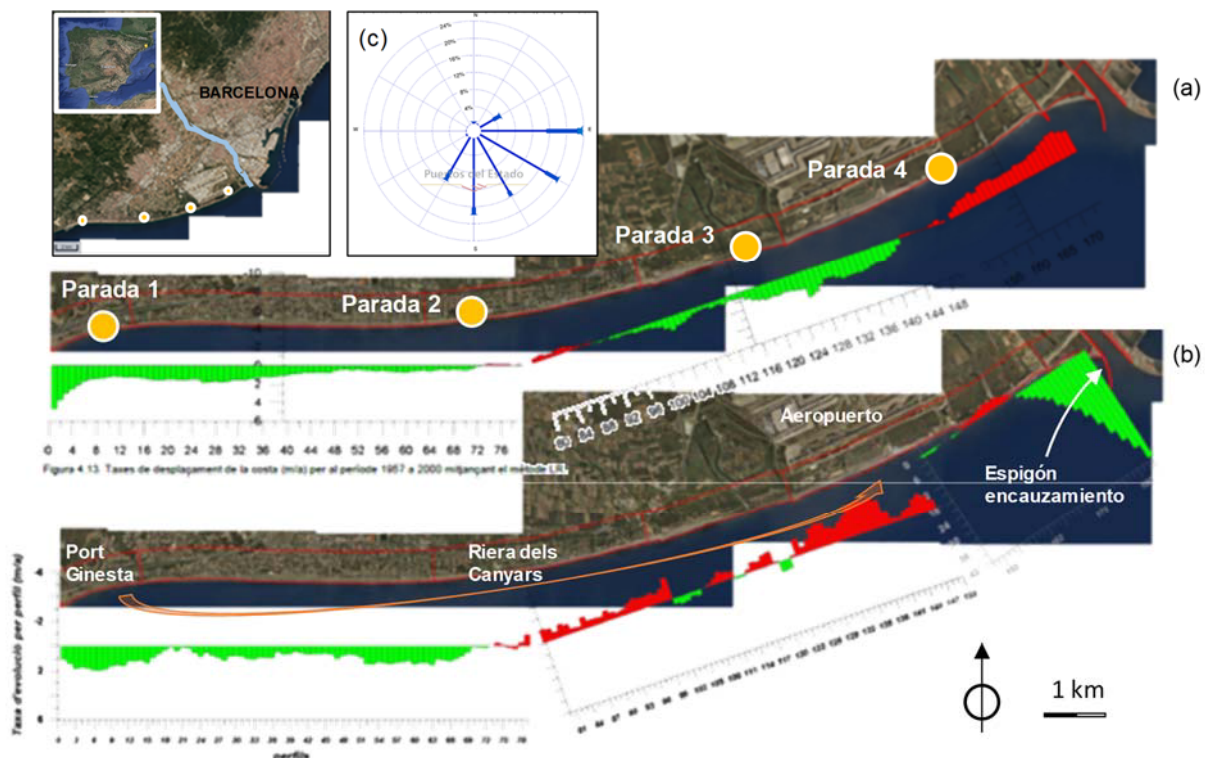


FIGURA 1. El hemidelta Sur del Llobregat. Los círculos indican las paradas a realizar en la visita de campo. La flecha marrón indica la retroalimentación de sedimento anual realizada por la Autoridad Portuaria de Barcelona. Panel (a) Tasas evolutivas de la línea de orilla (en m/a) para el periodo 1957-2000 i (b) 1995-2010. Panel (c) Rosa de oleaje de Hs (m) (CIIRC, 2012).

EL DELTA DEL LLOBREGAT

El delta del Llobregat, el segundo más extenso en Catalunya con unos 98 km², es el resultado de las aportaciones del río Llobregat durante la transgresión holocena. La formación del cuerpo deltaico se asocia a la estabilización del nivel medio del mar hace unos 2,800 años que permitió la sedimentación de capas de gravas y arenas sobre las que se dispone un nivel variable de arcillas que forman la llanura deltaica. El lóbulo Norte, bajo la influencia directa de la ciudad de Barcelona, está totalmente rigidizado por espigones, diques exentos sumergidos y emergidos y revestimientos. La playa emergida del lóbulo Sur, de aproximadamente unos 17 km de longitud y escasas obras de interrupción, está constituida por arenas de unas 300 μm al norte decreciendo hasta las 200 μm en las proximidades del Port Ginesta al Sur.

El inicio de las obras de ampliación del puerto de Barcelona en el año 2005 marca un punto de inflexión en la evolución del hemidelta Sur. La expansión del puerto conlleva el desvío del tramo bajo del río en sus últimos 3 km hacia el Sur y la construcción de un dique de encauzamiento hasta los 8 m de profundidad que lo desconectan casi por completo de la evolución del sistema de forma que se genera una celda litoral desde este punto hasta Port Ginesta, al Sur.

El clima de oleaje en la zona muestra dos componentes principales, el oleaje del sector ENE – E más energético y responsable de una deriva litoral neta hacia el Sur y del sector S con una incidencia casi perpendicular en el tramo meridional de la unidad.

La disminución de los aportes de sedimento por parte del río junto con el clima de oleaje han provocado un aumento en las tasas de erosión en el sector Norte de la costa que son en parte compensadas por una acumulación de arena al Sur (Fig.1).

PORT GINESTA, EL LIMITE SUR DE LA CELDA LITORAL (PARADA 1)

Este punto marca el final de la celda litoral. Observamos una amplia playa emergida de hasta 150 m de ancho y de baja cota (con un valor promedio de +1.7 m) en la que se desarrolla una zona de vegetación típica de ambientes litorales y con dunas móviles embrionarias.

La naturaleza de costa baja, uno de los puntos más significativos en todo el delta, podría asociarse a la antigua existencia de humedales y marismas en la zona y que fueron totalmente desecadas a principios del s. XIX y cedidas para la construcción de viviendas (Consorci el Far, 2005) gracias a la Ley Cambó (1918).

Justo en la parte trasera de la playa se encuentra la Riera de Vallbona, con un gradiente hidráulico de 500 m en apenas 2.7 km y una cuenca de drenaje relativamente grande que hacen que en condiciones de lluvia intensa alcance un caudal suficientemente grande como para inundar la playa. Ésta puede, a su vez, inundarse por la acción de las olas en condiciones de fuerte temporal y nivel del mar alto.

En esta zona, las arenas finas junto con el régimen de vientos, con velocidades medias de hasta 8 m/s y rachas máximas de hasta 40 m/s, propician un transporte

eólico en ocasiones de gran intensidad principalmente del tercer y cuarto cuadrante.

La construcción de Port Ginesta en 1986 constituye el cierre de la celda litoral en términos de transporte longitudinal de sedimento. El resultado ha sido un aumento del ancho de playa a una velocidad de hasta 4 m/a durante el periodo 2004-2010. La orientación de la costa respecto al clima de oleaje induce a un transporte transversal dominante y que la difracción generada por el dique de abrigo del puerto tenga un impacto pequeño sobre la configuración en planta de la playa.

Los anchos de playa excesivos (> 100 m) desde el punto de vista de los usuarios hacen de este tramo una zona menos atractiva. Por otro lado, representan un stock de arena en playa seca de excelente calidad puesto que es muy similar a la existente en otras partes emergidas del delta y por tanto susceptible de ser utilizada para obras de alimentación. Hasta la fecha, se han realizado obras de extracción de sedimento entre las isobatas -11 m y -7 m para su posterior colocación en la playa del Prat (parada 4) en cumplimiento de la declaración de impacto ambiental de las obras de ampliación del puerto de Barcelona.

EL SECTOR CENTRAL (PARADA 2)

Nos encontramos ante un punto de inflexión de la costa con dos alineaciones distintas: N90E al Sur y N70E al Norte. Los anchos de playa emergida son variables si bien significativamente inferiores a los de la parada anterior y con una clara tendencia a disminuir a medio plazo (Fig. 1). La zona recibe además aportaciones artificiales puntuales de arena en caso de mostrar anchos de playa muy pequeños.

Según Gámez (2007) la progradación de la llanura deltaica en este tramo es el resultado de la contribución de múltiples tributarios del río y la existencia de rieras de corto recorrido que conectaban el macizo del Garraf, a unos pocos kilómetros de distancia, con el mar (Fig. 2). Las aportaciones de sedimento de los tributarios podrían ser los responsables de distintas orientaciones de la costa.

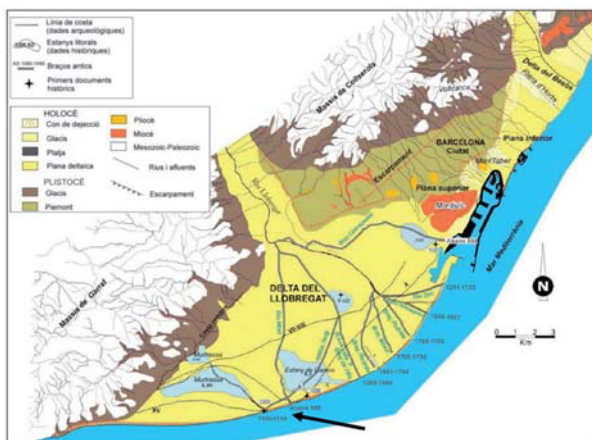


FIGURA 2. Progradación de la llanura deltaica según Gámez (2007)

En condiciones de oleaje de baja energía ya se percibe un grado de exposición mayor en estas playas que en el punto anterior. Teniendo en cuenta el clima de oleaje reinante (Fig. 1) puede verse como las condiciones más energéticas del primer cuadrante, NE-E, generan un transporte longitudinal de gran magnitud al Norte mientras que las playas al Sur quedan más resguardadas. De forma análoga, para condiciones de oleaje del SO-SE el tramo Sur queda expuesto a una deriva litoral hacia la desembocadura mientras que al Norte el grado de exposición es menor. El resultado de la combinación de ambos tipos de oleaje es la generación de anchos de playa variables, según incida el oleaje, con una tendencia a medio plazo a suavizar el ápic existente a falta de aportaciones adicionales que lo mantengan.

Si bien el tamaño del sedimento es muy similar al de la parada anterior, en torno las 230 μm , el mayor grado de exposición al oleaje se traduce en una pendiente del estrán menor. El desarrollo de bermas además suele ser limitado debido a que la playa emergida suele presentar anchos pequeños.

En el año 2015 la Demarcación de Costas de Barcelona a partir de los trabajos realizados por CIIRC (2012, 2014) realizó una prueba piloto consistente en la construcción de un pequeño cordón dunar de unos 4,000 m^3 de arena proveniente de la parte emergida de las playas adyacentes como medida de protección transitoria. Los resultados se discutirán en la parada.

LA RESTAURACION DUNAR DE LA ZONA DEL REMOLAR (PARADA 3)

La playa del Remolar (Viladecans) presenta un sistema duna-playa bien desarrollado. Se localiza a 5,7 km al SW de la actual desembocadura del río Llobregat. Tiene una longitud de 700 m y está limitada por los diques de escollera que protegen las salidas de la laguna del Remolar al NE y la riera de Sant Climent al SW. El sistema playa-duna, está dominado por vientos del SW y NE con una velocidad modal de entre 2-3 m/s y máximos de 23 m/s, la playa presenta una anchura superior a los 110 m, de los que entre 80-90 m están ocupados por el sistema dunar y el resto por la playa.

Desde 1960 hasta el año 2003 el sistema dunar estuvo limitado en su lado terrestre por una valla, todavía existente, que delimitaba un camping. Dicha valla presentaba varios accesos directos a la playa. El resultado fue una degradación del sistema dunar, tanto en la morfología dunar como en su cubierta vegetal. La ampliación del aeropuerto de Barcelona, implicó el cese de la actividad del camping y la entrada como gestor de dicha playa del área de Medioambiente del Ayuntamiento de Viladecans.

Las medidas propuestas para la recuperación y restauración del sistema duna-playa fueron: i) prohibición del paso de transeúntes por las dunas; ii)

delimitación de la zona de dunas con postes y cuerdas; y iii) limpieza manual de restos antrópicos. Para caracterizar el estado del sistema, se realizaron cinco perfiles topográficos y un estudio de la vegetación del sistema dunar de la misma playa (González et al., 2005). La repercusión de dichas medidas se valoró el 2013, repitiendo dichos trabajos y añadiendo un estudio granulométrico y perfiles de GPR (Ground Penetrating Radar).

La comparación de los levantamientos topográficos entre los años 2004 y 2013 (Fig. 3a), muestra una variación evidente con la recuperación de las morfologías dunares en todos los perfiles. La granulometría del sistema dunar muestra una media de entre 300-400 μ m, mientras que la playa presenta un valor medio superior a 400 μ m. El grado de clasificación del sedimento aumenta de tierra a mar encontrándose las arenas más bien clasificadas en la duna primaria.

Todos los perfiles analizados muestran una tendencia agradacional. Este proceso redundará en una ganancia general del sistema dunar en volumen de arena. Si nos centramos en las morfologías, de mar a tierra, se observa la aparición de una duna embrionaria y de una duna primaria. Además, la duna secundaria muestra en todos los perfiles un crecimiento en el lado de barloamar, que da como resultado una progradación del cordón hacia el mar (Fig. 3a). En el perfil de 2013, se observan los tres cordones dunares, la duna secundaria a 66 m, la duna primaria a 82m y la duna embrionaria a 103 m. Tanto la duna primaria como la duna embrionaria se han originado durante estos 10 años de medidas de regeneración (Virsedá, 2014).

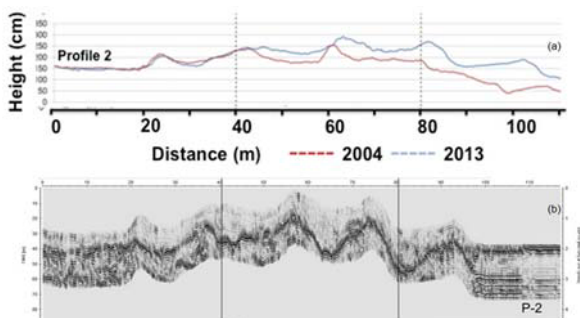


FIGURA 3. (a): Levantamiento topográfico de la playa emergida del Remolar (años 2004 y 2013) (Virsedá, 2014) (b): Registro de GPR para ese mismo perfil.

Los perfiles de GPR, permiten asociar determinadas facies a procesos sedimentarios (Bistrow et al., 2000). Se observan las facies discontinuas de baja amplitud cóncavas (RF2) típicas de procesos de retrabajamiento y/o relleno de surcos; facies discontinuas de clinofomas de bajo ángulo que buzan hacia mar (RF3) interpretada como acreción sedimentaria en el lado de barloamar; facies de baja amplitud discontinuas onduladas (RF5) debida a la acumulación sedimentaria con vegetación; clinofomas continuas de bajo ángulo que buzan a mar (RF6) interpretados como depósitos de playa.

Del estudio fitosociológico se obtuvieron siete comunidades vegetales (Virsedá, 2014), descritas para ecosistemas litorales: 1. Pinar de *Pinus pinea* con cortejo florístico de especies tolerantes; 2. Vegetación de duna primaria, con *Medicago marina*; 3. Vegetación pionera de duna embrionaria, con *Elymus farctus*; 4. Vegetación de duna secundaria o de ambiente fijo-interdunar, con *Panicum repens*; 5. Herbazales oportunistas y ruderales, con *Cyperus capitatus*; 6. Vegetación psamófila, con *Medicago littoralis*; 7. Herbazales poco estables y ruderales, con *Ambrosia coronopifolia*.

Las comunidades vegetales identificadas tienden a mostrar una disposición zonal alargada. Esta disposición se observa claramente en las comunidades de duna primaria, duna embrionaria y de interdunar (comunidades 2, 3 y 4), mientras que el resto de las comunidades, de tipo oportunista, muestran una distribución más irregular.

EL EXTREMO NORTE (PARADA 4)

Nos encontramos en el T. M. de El Prat. Este punto representa el extremo septentrional de la celda litoral. Al Norte alcanzamos a ver el puerto de Barcelona y el dique de encauzamiento del río Llobregat cuyo morro se sitúa a 8 m de profundidad con objeto de evitar el posible cierre de la desembocadura por la dinámica litoral y la consecuente inundación del aeropuerto en caso de avenida. La planta del dique es ligeramente parabólica con objeto de favorecer una mayor difracción de los oleajes incidentes y en consecuencia la formación de una planta en forma de bahía de equilibrio más estable. El proyecto se ejecutó durante los años 2001 a 2003 y posteriormente se realizó una aportación de arenas, al abrigo del dique, de 3.5 Mm³ como medida compensatoria de la ampliación del puerto de Barcelona. La alimentación artificial se realizó en dos fases con objeto de minimizar el impacto negativo de las obras en la fauna existente y en especial proteger la zona de anidamiento del *Chorlito patinegro* (*Charadrius alexandrinus*). La declaración de impacto ambiental obliga además a compensar el déficit generado por la ocupación de la franja costera mediante la aportación periódica en este punto de sedimentos provenientes del dragado de los fondos en el extremo opuesto de la celda (parada 1). En los últimos 10 años la cantidad de sedimentos vertidos en esta zona ha sido de alrededor de 1 Mm³.

El revestimiento de escolleras sobre las que nos encontramos nos indica la existencia de un punto erosivo de gran intensidad resultado de la falta de aportes de sedimento y la generación de una divergencia en la corriente longitudinal (Fig. 4) causada por la difracción del oleaje en el morro del dique de encauzamiento y el codo del dique de abrigo del puerto.



FIGURA 4. Formación de una divergencia en el transporte longitudinal debido a la difracción.

La existencia del aeropuerto ha impedido la urbanización del territorio y por tanto el paisaje, al igual que en la parada anterior, se corresponde con el típico de zonas deltaicas, es decir, marismas de cota baja que pueden ser ocasionalmente inundables tanto por el río como por el oleaje, si bien esto último sólo tiene lugar en los terrenos ganados al mar por la aportación inicial de arena en la desembocadura del río y que hoy en día es parque natural de acceso restringido.

LA GESTIÓN DEL TERRITORIO

La celda Port Ginesta – Port de Barcelona es en la actualidad un sistema prácticamente cerrado en términos de sedimento. El ancho medio de la playa emergida es de 95 m, 2.5 veces superior a la media de Catalunya. Sin embargo, en el tramo central y norte se detectan tramos en los que la anchura de playa es claramente insuficiente para proteger el trasdós de la acción de las olas.

El desarrollo urbanístico de los últimos 20 años se ha concentrado principalmente en el sector central y Sur de la unidad, en parte por la existencia de grandes infraestructuras y en parte por las medidas de protección y conservación del territorio promovidas por la ley de costas. El resultado de todo ello es un paisaje costero urbano no masificado y en el que las políticas de gestión han ido siempre encaminadas a la recuperación del sistema dunar más que a la construcción de obras rígidas. Sin embargo, el análisis de las tendencias de la línea de orilla indica que a medio plazo los anchos de playa tenderán a reducirse en el sector central y norte poniendo en riesgo las infraestructuras existentes y el valor ambientalizado de la zona al perder la capacidad de protección frente a temporales.

Si bien la celda ha dejado de funcionar como un sistema deltaico, aún conserva su naturaleza de costa baja por lo que los problemas se verán acentuados en el futuro debido al ascenso del nivel del mar.

El reto, está servido, ¿será posible realizar políticas de gestión costera capaces de compatibilizar los usos del territorio a la escala episódica y al medio y largo plazo? Una cosa es obvia, las estrategias a seguir no pueden ser las utilizadas hasta ahora. Proyectos como RISES-AM, CEASELESS, iCoast o COBALTO proporcionan un nuevo enfoque donde elementos como la adaptación a los cambios, la transitoriedad o las soluciones basadas en la naturaleza entran en juego.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners (CIIRC) la información facilitada sobre la dinámica litoral. La base cartográfica ha sido proporcionada por el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. El Ente público de Puertos del Estado ha suministrado la información referente al oleaje y el viento. Parte del trabajo de V. G. ha sido realizado en el marco del Proyecto estatal de investigación COBALTO (CTM2017-88036-R) y CEASELES (H2020- 730030). A. C. agradece la colaboración de C. Bladé i J. M. Ninot (UB) y J. R. Lucena (Ayunt. Viladecans).

REFERENCIAS

- Bristow, Ch. Neil Chroston, P. Bailey, S. D. (2000) The Structure and development of foredunes on a locally prograding coast. *Sedimentology*, 47, 923-944.
- CIIRC (2012) Estudi de la dinàmica i problemàtica de les platges de Gavà i Viladecans. Generalitat de Catalunya. 109 pp
- CIIRC (2014) Proposta per al predisseny de Solucions tipus per a estabilitzar les platges del municipi de Gavà. Ajuntament de Gavà. 175 pp
- Consorti el Far (2005) Pla Estratègic per al Litoral de la Regió Metropolitana de Barcelona. Diputació de Barcelona. +100 pp
- Galloway, W.E. (1975) Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. In: *Deltas, Models for Exploration* (Ed. M.L. Broussard), Houston Geological Society, Houston, TX. pp. 87-98.
- Gàmez, D. (2007). Sequence Stratigraphy as a tool for water resources management in alluvial coastal aquifers: application to the Llobregat delta (Barcelona, Spain). Tesis doctoral. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya 177 pp
- González, V. et al. (2005): Estudi de la vegetació de la platja del Remolar (Viladecans). Ayuntamiento de Viladecans. Barcelona. (trabajo inédito)
- Virsedá, S. (2014): Evolución de la morfología la vegetación del sistema dunar de las playas del Remolar y Cal Francès (Viladecans, Barcelona). Tesis de Master, Univ. de Barcelona, 33pp.