

Las playas y su proceso genético

Beaches and their formation

Carlos Garau Sagristá. Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos.

Ex Jefe de Costas de Cataluña y de Baleares.

Ex. Catedrático de Puertos y Costas de la Escuela Técnica Superior de I.C.C.P. de Barcelona. cgarsag@ciccp.es

Resumen: El presente artículo tiene por objeto poner de relieve la importancia de contestar a diversas preguntas sobre el por qué de la existencia de una playa y de cuál fue su proceso genético, antes de plantear cualquier actuación sobre ella. En este sentido, se presentan varios ejemplos de la gran influencia que en la génesis de muchas playas tuvo la última elevación del nivel del mar que conocemos como transgresión Holocena: el caso de las playas del Maresme (Barcelona), constituida por materiales litoclásticos y los casos de playas con sistema dunar y materiales bioclásticos de las Baleares. Se analiza la producción de bioclastos en la plataforma litoral correspondiente a los sistemas playa-duna de Cala Agulla (Capdepera) y Cala Millor (Sant Llorenç des Cardessar) en Mallorca. Finalmente se resalta la necesidad de evitar varios errores, ampliamente difundidos en la información y opinión pública Balear: a) considerar la posidonia oceánica como planta generadora de las playas de estas islas; b) presumir dañina para esta fanerógama cualquier aportación de arena para corregir pérdidas sedimentarias de una playa; c) atribuir a la acción antrópica lo que son problemas erosivos naturales de diversas playas.

Palabras Clave: Transgresión Holocena, Pendiente de la playa sumergida, Pendiente de la zona de reflexión de la ola residual, Límite del transporte significativo, Litoclasto, Bioclasto

Abstract: The article underlines the need to respond to various questions concerning the reasons behind the existence of a beach and how these were formed, before considering any action regarding the same. Along these lines, various examples are presented of the considerable influence of the last raising of the sea level, known as the Holocene transgression, on the formation of many beaches. This being the case of the Maresme beaches (Barcelona), formed by lithoclastic materials and that of Balearic beaches with dune systems and bioclastic materials. A study is made of the production of bioclasts on the shore platform at the beach-dune systems of Cala Agulla (Capdepera) and Cala Millor (Sant Llorenç des Cardessar) in Majorca. The article concludes by highlighting the need to review and correct the misinformation widely circulating in the Balearics and namely: a) the opinion that the posidonia oceanica seagrass serves to generate the beaches on these islands; b) the idea that any supply of sand to correct sedimentary losses of a beach is damaging to this seagrass; c) attributing the natural erosive problems of various beaches to human action.

Keywords: Holocene transgression, Slope of shoreface, Slope in the area of reflection of incident waves, Significant transport limit, Lithoclast, Bioclast

Introducción

Como podrá ver el lector, si examina la bibliografía que figura al final, el tema de las playas ha sido objeto de mi atención y estudios desde el año 1964 en que asumí la responsabilidad de los problemas que aquejaban a las formaciones arenosas de la variada costa catalana, desde Port Bou, lindando con Francia, a Casas de Alcanar, lindando con Castellón. La variedad de sus distintas unidades fisiográficas fue mi estímulo, y el conocimiento y contraste con las playas de Mallorca, mi isla natal, y de las restantes islas

Introduction

On examining the bibliography at the end of this paper, the reader will readily appreciate that the subject of beaches has been the focus of my attention and studies ever since 1964 when I first took on the responsibility for the problems affecting the sandy formations of the varied Catalan coast, running from Port Bou, on the French border, down to Casa de Alcanar, bordering with Castellon. The variety of their different physiographic units has served as a stimulus and the knowledge and contrast with the beaches

del archipiélago Balear (recorridas en barco por placer pero observando y tomando muestras de arena) han constituido mi escuela y mi laboratorio.

Cuando, en los primeros años, busqué literatura sobre el tema, no encontré prácticamente nada más que las enseñanzas del profesor Iribarren, que si bien representaban lo mejor del conocimiento internacional sobre obras portuarias, el tema de las playas apenas figuraba en ellas. No obstante, las nociones básicas sobre oleajes y, muy especialmente, lo que Iribarren llamaba "talud límite de rotura", serían para mí, y siguen siendo fundamentales.

El primer avance que hice en el conocimiento de las playas, en 1973, se refería a las formas en planta, y conduciría a lo que yo llamo "compás de playas" (espiral logarítmica, $\varphi=30^\circ$). Casi al mismo tiempo me di cuenta de la importancia de lo que llamé "altura de la ola residual" (1974), la cual no pude cuantificar hasta el año 1981, al conocer los resultados de R. Gourlay (1980), aunque el mismo investigador no se percatase del significado de sus ensayos en tal sentido. Hasta el año 1990 fui perfeccionando el modelo de perfil de equilibrio. Fue a raíz del Estudio de las playas de levante de Barcelona, en el año 1983, cuando me vi obligado a analizar el proceso genético de las playas del Maresme y comprender la importancia de la transgresión Holocena en tal proceso. Más adelante vería también la trascendencia de dicha transgresión en la génesis de las playas bioclásticas de las Baleares.

Algunos conceptos de la naturaleza de las playas y su génesis

Como **definición general**, podemos decir que una playa es una formación sedimentaria que resiste la acción del mar sobre la costa ofreciendo un perfil sumergido que induce la **rotura de la ola** y un perfil emergido que permite la **reflexión** de la **ola residual** que finalmente incide sobre la orilla.

Su **comportamiento** es **dinámico**, ya que su masa sedimentaria es removida por la acción de los oleajes: en la zona de rotura el sedimento es puesto en suspensión al paso de las crestas de fuertes olas y vuelto a depositar antes de la ola siguiente; algo similar ocurre con la ola residual al reflejarse en la orilla, induciendo el talud de reflexión en función del tamaño del sedimento, el período del oleaje, y la altura de la ola residual, ya que el sedimento es puesto en suspensión con el ascenso de la ola y depositado en su descenso. La pendiente de reflexión es siempre mucho mayor que la de rotura. Si el nivel del mar varía (marea astronómica o meteorológica y entumecimiento de temporal), la pendiente del frente de playa (zona de reflexión) se suaviza (Figura 1). Para apreciar la importancia de la ola residual, nótese que en las playas de arena fina ($D_{50} = 0.25$

of Majorca, my native island, and the other islands in the Balearic archipelago (discovered by boat by way of pleasure, but subject to observation and the taking of sand specimens) has served as my school and laboratory.

In the early years when I first sought texts on the subject, there was little else beside the teachings of Professor Iribarren. While the writings of this author were at the forefront of international knowledge and expertise in port works, the subject of beaches received very little mention. However, the basic notions regarding wave action and, particularly that referred to by Iribarren as "the limit breaking slope" would and continue to be fundamental.

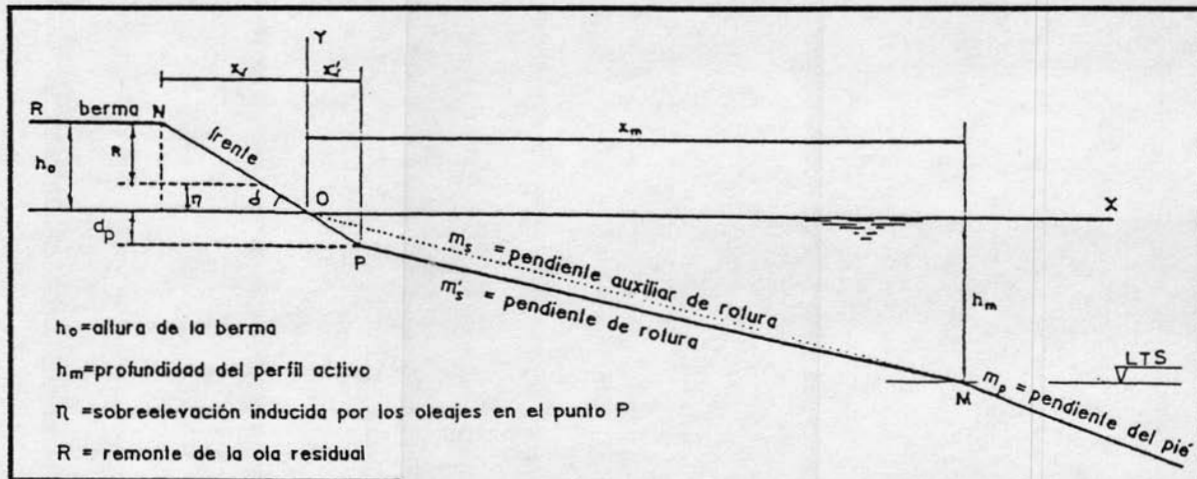
My first progress in the knowledge of beaches was made in 1973 and referred to the plan formations and led to what I would refer to as "beach divider" (logarithmic spiral, $\varphi=30^\circ$). At almost the same time I came to realise the importance of what I referred to as the "height of the residual wave" (1974). However, I was unable to quantify this until 1981 on the publication of the results of R. Gourlay (1980) even though the said researcher was not himself aware of the significance of his tests in this particular area. Up to 1990 I continued to perfect the equilibrium profile model. As a result of the Study on the Levant beaches of Barcelona in 1983, it was necessary to analyse the formation process of the Maresme beaches and it was then that I understood the importance of the Holocene transgression in this process. I would later also appreciate the significance of this transgression in the formation of the bioclastic beaches of the Balearics.

Some notions of the nature of beaches and their formation

As a **general definition** we may say that a beach is a sedimentary formation which resists the action of the sea on the coast and which has a submerged shoreface profile that induces the **breaking of the waves** and a beach face profile **reflecting** the incident wave finally reaching the shore.

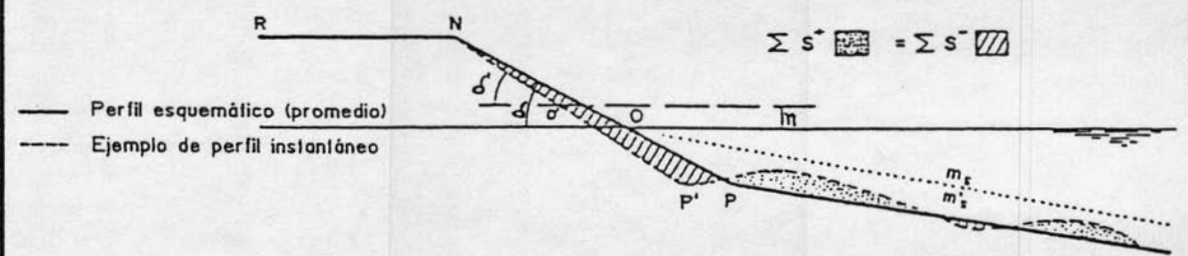
The beach has a **dynamic behaviour** as its sedimentary mass is moved by the action of the waves. In the area of the breakers the sediment rises on the passing of the crests of strong waves and is redeposited before the next wave. A somewhat similar action occurs with the wave reflected by the beach and where a reflecting slope is formed in accordance with the size of the sediment, the wave period and the height of the reflected incident wave. In this area the sediment is raised on the rising of the wave and deposited during its fall. The reflecting slope is always much greater than that in the area of the breakers. If the sea level varies (astronomical or meteorological tides and storm surge), the slope at the beach face (reflection area) is more gentle (figure 1). In order to fully understand the

Fig. 1. Perfil esquemático de equilibrio de una playa (C. Garau, 1990)/ Schematic profile of beach stabilization (C. Garau, 1990).



h_0 = altura de la berma
 h_m = profundidad del perfil activo
 η = sobreelevación inducida por los oleajes en el punto P
 R = remonte de la ola residual

6.a) Perfil esquemático (promedio)



6.b) Distinción entre el talud de reflexión (tan δ' del perfil instantáneo) y la pendiente del frente (tan δ del perfil medio)

[1] $T = 4,456 F_{mol}^{1/2}$
 [2] $H_0 = 0,1276 T^{3/2}$ } Iribarren
 [3] $K_0 = \frac{H'_s}{H_0}$ { H'_s = altura de ola a pie de playa medida o calculada
 $K_0 = K_w K_r K_d$ (siendo $K_w = H_s / H_0$) en altamar

Swail (1974)
 $h_0 = D_{50} (7,644 - 7,706 e^{-0,012 \frac{T^{1,662} K_c^{0,488}}{D_{50}^{0,786}}})$
 $h_m = 0,00984 T^2 e^{3,12 \frac{K_0^{0,473}}{T^{0,985} D_{50}^{0,093}}}$

[7] $H_r = 0,916 V_f T$ [10] $\sqrt{V_f} = 0,428 + 0,172 I_n D_{50}$
 [8] $\tan \delta' = 5,76 \frac{\sqrt{V_f}}{\sqrt{g} T}$ [12] $\tan \delta = 0,68 \tan \delta'$ (para $z=0$)
 [13] $R = 2,4 H_r \approx h_0$ [17] $\eta = h_0 - R$ [17] $d_p = 0,6 H_r$
 [18] $m_s = 0,0188 \frac{\sqrt{g} V_f}{K_a F_p}$ $x_p = \frac{h_0}{\tan \delta'}$; $x'_p = \frac{0,6 H_r}{\tan \delta'}$; $x_m = \frac{h_m}{m'_s}$; $m'_s = \frac{h_m - 0,6 H_r}{x_m - x'_p}$

$F_p = \psi(m_p, m'_s, K_0) \rightarrow \begin{cases} K_0 \approx 0,3 \rightarrow F_p = 1 \\ K_0 \geq 0,6 \rightarrow \begin{cases} F_p = 0,85 + 0,15 \frac{m'_s}{m_p} \\ F_p = 1,2 \end{cases} \end{cases}$ $0,3 < K_0 < 0,6$
 $F_p = 1 - \frac{K_0 - 0,3}{2} (1 - \frac{m'_s}{m_p})$

(ajustándose m'_s y F_p por aproximaciones sucesivas)

6.c)	Ecuaciones perfil esquemático	$(X < -x_p) RN$	$(-x_p < X < x'_p) NP$	$(x'_p < X < x_m) PM$
		$Y = h_0$	$Y = -\tan \delta' X$	$Y = -0,6 H_r - (X - x'_p) \frac{h_m - 0,6 H_r}{x_m - x'_p}$

- F (Km)
- T (s)
- H (m)
- R (m)
- η (m)
- h (m)
- V_f (m/s)
- D_{50} (mm)
- X, Y (m)

Carrera de marea + entumecimiento de temporal = z:
 $1/\tan \delta'' = 1/\tan \delta + (1/m_s - 1/\tan \delta) * 0,2 * z * [h_0 + 0,6 * H_r]^{-1}$
 Factor de transporte frontal: $F_q = m_s^9 / m_s^0 = [1 - q/25]$ (q en m³ por m lineal y año)

mm) la cota de la berma sólo excede de las variaciones de nivel en poco más de un metro, mientras en las de arena gruesa ($D_{50} \approx 2$ mm. como en Lloret de Mar y Tossa, por ejemplo) excede en casi cinco metros. Téngase presente que en estos ejemplos se trata de playas sometidas a un clima marítimo limitado por el fetch, a un periodo de unos 12 segundos en los mayores oleajes.

Tanto la pendiente del perfil sumergido como las características de la playa emergida dependen de la acción de los máximos oleajes y del tamaño mediano del sedimento (D_{50}). Los oleajes menores alteran las formas de la playa, tanto en su planta como en su perfil, pero si hablamos de una playa con volumen sedimentario estable (lo que generalmente se denomina "unidad fisiográfica estable"), se trata de movimientos reversibles que equivalen a variaciones entorno al perfil o a la forma en planta medios.

Los movimientos y procesos que determinan la existencia, el equilibrio y el comportamiento de una playa son excesivamente complejos para resumirlos aquí. Sin embargo, vamos a contemplar diversos aspectos sobre la génesis de una playa que son muy importantes a la hora de actuar sobre ella con objeto de corregir algún problema o alteración.

Las playas deben su **razón de ser** a tres hechos fundamentales:

- a) Existencia de un cuenco receptor, o cuando menos un sustrato que permite el apoyo de la masa sedimentaria con sus posibles oscilaciones.
- b) Aportación de la masa sedimentaria en algún momento o época del pasado histórico.
- c) Existencia de un balance sedimentario. Siendo T_e el caudal de sedimento que entra en la unidad fisiográfica y T_s el caudal que sale por transporte frontal o longitudinal. Así tendremos:

$T_e < T_s$	playa en regresión
$T_e = T_s$	playa en equilibrio
$T_e = T_s = 0$	playa encajada en equilibrio (caso particular)
$T_e > T_s$	playa en acreción

Cuando hablamos de caudal sedimentario no nos referimos exclusivamente al debido al transporte de los oleajes, sino también al eólico. Estos hechos que deben darse o haberse dado para que hoy exista una determinada playa, no se limitan al concepto de historia reciente, como puede creerse erróneamente, sino que incluye expresamente la **transgresión Holocena**. Se trata del fenómeno iniciado hace unos 16.500 años, época en que el nivel del mar estaba a unos 90 m por debajo del actual, y que terminó hace unos 2.500 años, cuando aproximadamente se alcanzó el nivel actual (Figura 2). Como se verá, para la mayoría de

importancia de la residual wave, it should be noted that in fine sand beaches ($D_{50} \approx 0,25$ mm) the berm height only exceeds the level variations by little over a metre, whereas in coarse sand beaches ($D_{50} \approx 2$ mm such as those of Lloret de Mar and Tossa, by way of example) this can be nigh on five metres higher. In these examples the beaches are subject to a maritime climate restricted in terms of fetch to maximum wave periods of around 12 seconds

The slope profile of the shoreface under water and the characteristics of the emergent backshore depend on the action of the maximum waves and the average size of the sediment (D_{50}). Smaller waves affect the form of the beach in both plan formation and profile, but when referring to beaches with a stable sedimentary volume (generally referred to as "stable physiographic unit"), this entails reversible movements which are reflected by changes in the measured profile or arrangement.

The movements and processes determining the existence, equilibrium and behaviour of a beach are far too complex to summarise here. However, we shall consider certain aspects regarding the formation of a beach as these are very important when taking any action to correct problems or changes to a beach,

The formation of a beach is due to three **basic factors**:

- a) The presence of a depression or, at least, a substratum allowing the support of the sedimentary mass with all its possible oscillations.
- b) The provision of sedimentary mass at some moment in time or period.
- c) The presence of sedimentary balance. Where T_e is the flow of sediment entering the physiographic unit and T_s the flow removed by cross shore or longshore transportation. This then gives:

$T_e < T_s$	eroding beach
$T_e = T_s$	stable beach
$T_e = T_s = 0$	permanently stable beach (particular case)
$T_e > T_s$	beach in accretion

When referring to the sedimentary flow, we are not only referring to that transported by the waves, but also to wind-deposited sediments. All of these factors which must or must have arisen in order to give rise to any specific beach, are not solely limited to their recent history, as is often mistakenly believed, but also and more specifically include the **Holocene transgression**. This, the most recent geological epoch, began some 16,500 years ago, at which time the sea level was some 90 m below the current level, and concluded around 2,500 years ago when the sea level was approximately at current levels (Figure 2). As we shall see, this was a transcendental factor for the majority of beaches

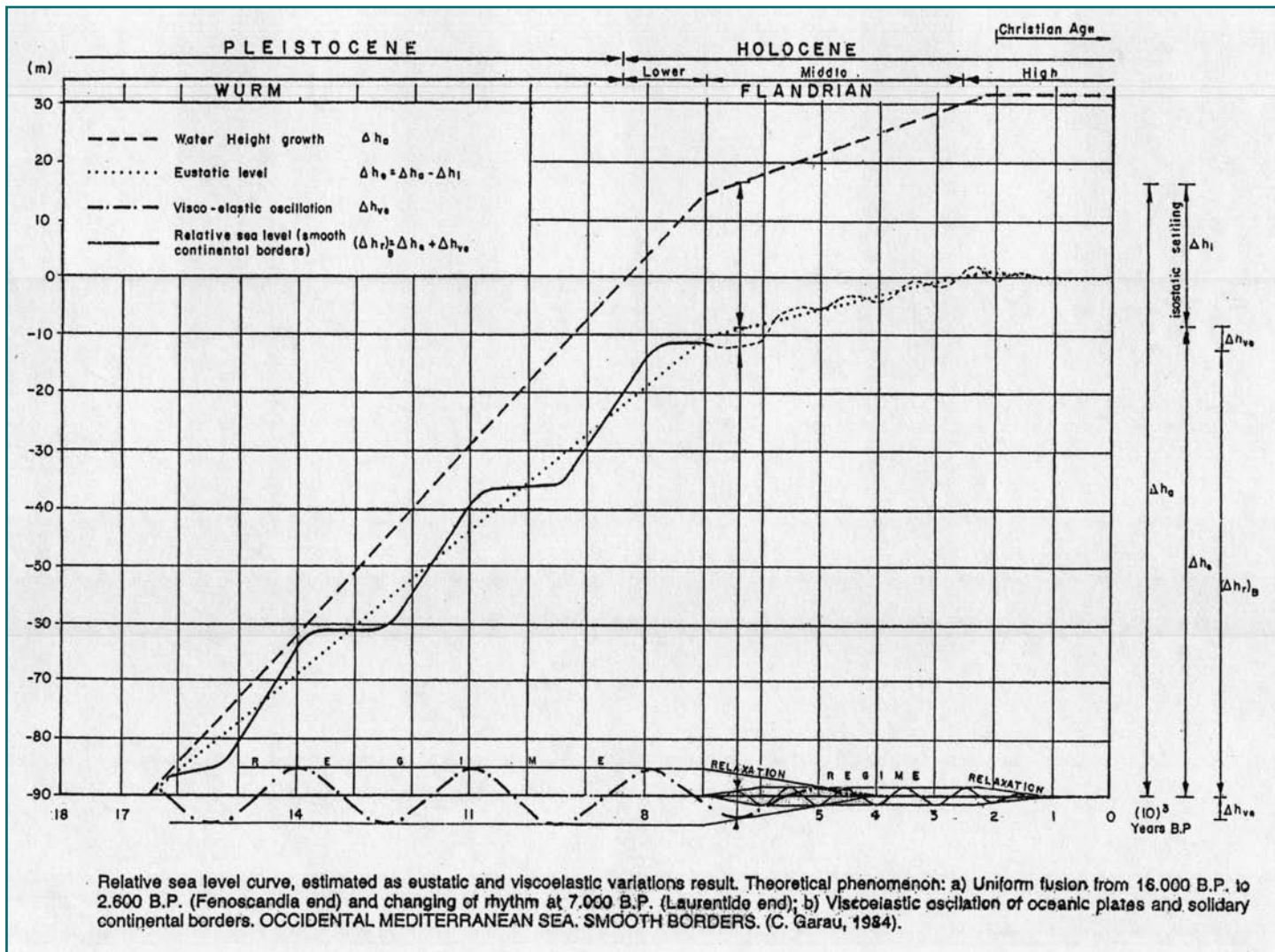


Fig. 2. Curva de evolución del nivel del mar relativo durante la transgresión Holocena (C. Garau, 1984)/Development curve of the relative sea level during the Holocene transgression.

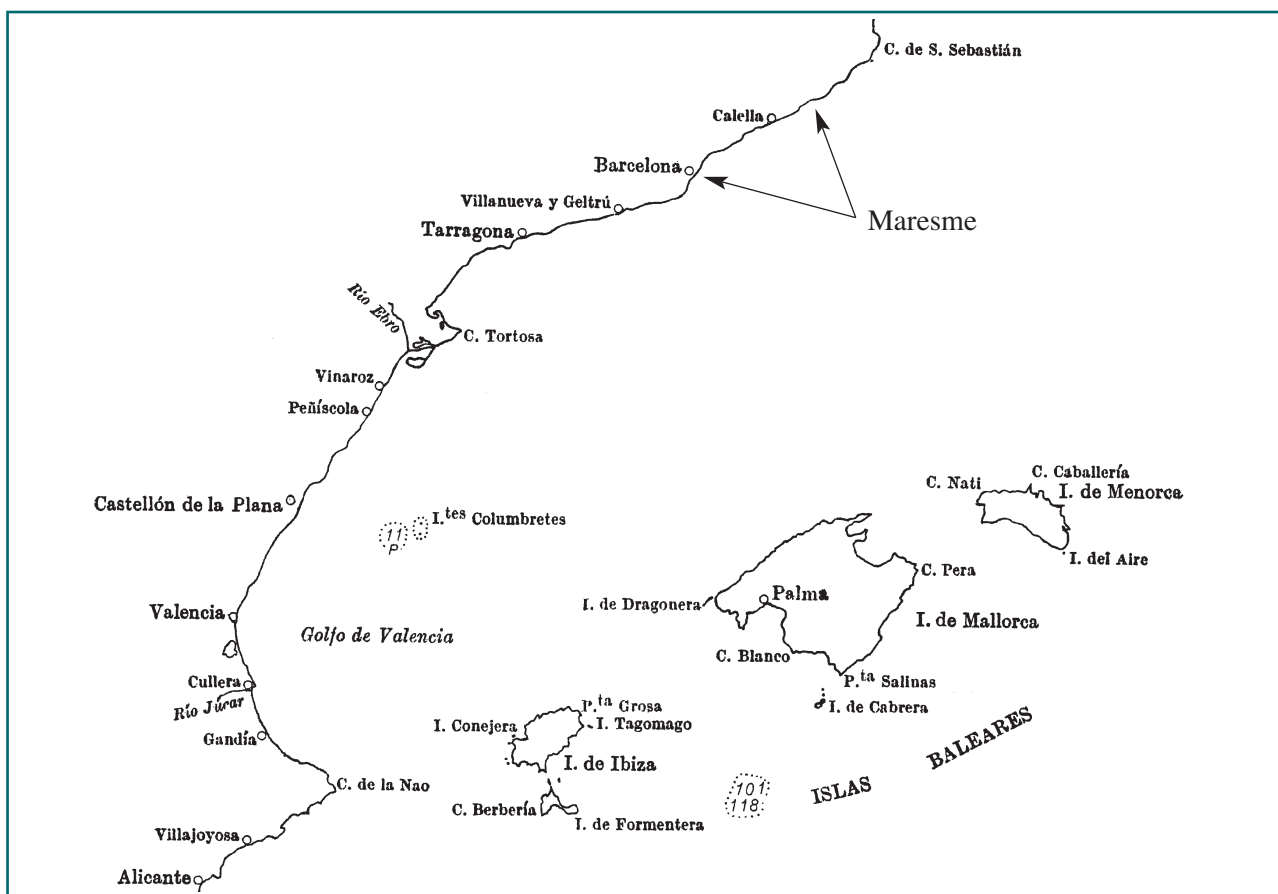
las playas es un hecho trascendental que implicó procesos de formación, transporte y elevación de masas sedimentarias en cantidades enormes, en comparación a los volúmenes sedimentarios que, sujetos a la acción de los oleajes, constituyen las playas actuales.

Es preciso tener presente que, en la mayoría de los casos, y muy especialmente cuando se trata de materiales bioclásticos, las masas arenosas de los sistemas dunares contiguos a playa deben su origen al proceso transgresivo. Si bien los sistemas de playas y dunas del Plioceno que estuvieron emergidas durante decenas de miles de años sufrieron los efectos de calcificación y consolidación que los transformó en areniscas, los sistemas post holocenos no sólo han tenido escaso tiempo para ello, sino que las dunas, en los sistemas ligados a playas vírgenes, están aún sujetas al transporte eólico procedente de la playa. Así pues, en estos casos, las correspondientes playas están generalmente sujetas a un proceso erosivo ($T_e < T_c$) debido al transporte

and implied the formation, transport and raising of vast quantities of sedimentary mass when compared with the sedimentary volumes, subject to wave action, which form beaches today.

It is necessary to bear in mind that in the majority of cases and particularly when dealing with bioclastic materials, that the sand masses forming the dune systems on the backshore arose as a result of the transgressive process. While the beach and dune systems of the Pliocene epoch, emerging over thousands of years, suffered the effects of calcification and consolidation which transformed them into sandstone, the post-Holocene systems have not had sufficient time in which to do so and the dunes in systems associated with virgin beaches are still subject to aeolian deposit from the beach. As such, in these cases, the corresponding beaches are generally subject to an erosive process ($T_e < T_c$) due to cross shore transport as the sand carried by the

Fig. 3. Litoral de Barcelona. El Maresme queda comprendido entre Punta Palomera (Gerona) y el Puerto de Barcelona. El archipiélago balear, el Cabo de La Nao y la orientación de la costa determinan el transporte litoral hacia el SO/Barcelona coastline. The Maresme is set between Punta Palomera (Gerona) and the Port of Barcelona. The Balearics, the Cabo de La Nao and the orientation of the coast determine a littoral drift towards the southwest.



frontal, ya que la arena llevada por el viento a las dunas es sujeta por la vegetación, mientras la que es llevada hacia el mar es devuelta por los oleajes a la playa seca.

La naturaleza del sedimento nos da una primera pista sobre el **proceso genético de una playa**. Si es predominante el material litoclástico, es muy probable que el material proceda del aporte fluvial (actual o del pasado geológico); si por el contrario predomina el bioclástico, es presumible que la masa sedimentaria se generase durante la transgresión Holocena.

El caso singular del Maresme

Puede parecer que cuando se trata de arenas litoclásticas la transgresión Holocena no haya jugado un papel importante en la génesis, evolución y comportamiento de este tipo de playas. Aunque en muchos casos puede ser así, fue precisamente el estudio de las playas del Maresme (Barcelona) lo que me obligó a recurrir al último proceso transgresivo para comprender su existencia, su génesis, su evolución y su comportamiento. Muy resumidamente, el problema que se planteaba era el siguiente:

wind to the dunes is held by the vegetation while that carried out to sea is returned by the waves to the dry beach.

The nature of the sediment gives us a first clue of the **formation process of a beach**. If this is predominantly lithoclast material, it is very probable that the material has been carried by water (current or from the geological past), while if the material is predominantly bioclast, the sedimentary mass was most probably generated during the Holocene transgression.

The particular case of the Maresme

The Holocene transgression would not appear to have a great deal of importance in the formation, development and behaviour of beaches formed by lithoclast sands. However, this is not always the case and throughout the study of the Maresme beaches (Barcelona) it was necessary to resort to the final transgressive process in order to fully understand the existence, formation, development and behaviour of these beaches. The problem raised may be briefly summarised as follows:

1. A partir de los años 40, las playas del Maresme, unos 60 km de formaciones arenosas que van desde el Río Tordera hasta el puerto de Barcelona, incluyendo el Río Besós y diversas rieras, presentaba graves problemas erosivos, principalmente desde el Puerto de Arenys hasta Montgat. Dado que las erosiones se detectaron con posterioridad a la construcción del puerto de Arenys, se atribuyeron los efectos nocivos a la realización de tal obra portuaria (Figura 3).

2. A raíz de la construcción del puerto de Barcelona, en sucesivas fases desde el inicio del primer espigón en el año 1439, la playa situada al norte fue creciendo paulatinamente con cada nueva fase hasta llegar a un avance de unos 900 metros en su punto máximo, y dando lugar a la estructuración del barrio de "La Barceloneta" en los terrenos ganados al mar (Figura 4).

3. El estudio del transporte litoral, tanto desde el punto de vista de las capacidades de transporte de los oleajes como del análisis cuantitativo de los sucesivos procesos de crecimiento de las playas de La Barceloneta hasta el río Besós, indicaba que antes de la construcción del Puerto de Barcelona, el transporte neto hacia el suroeste en aquel punto era de unos 210.000 m³ por año y que la capacidad de transporte neto en dicho sentido crecía desde unos 60.000 m³ por año en el extremo noreste (Río Tordera y Punta Palomera de Blanes, ya en provincia de Gerona) hasta el indicado caudal frente al punto en que se construyó el Puerto de Barcelona.

4. El análisis de los aportes de ríos y rieras del tramo puso de relieve que el caudal de aporte sedimentario del conjunto era del orden de unos 40.000 m³ por año.

5. La diferencia entre el caudal transportado frente a la futura Barceloneta (los 210.000 m³ por año) o retenido en aquella zona a raíz de las sucesivas obras portuarias, y el caudal portado al tramo (los 40.000 m³ por año) explica el proceso erosivo de las playas del Maresme. La retención del dique del puerto de Arenys, junto con otras obras de estabilización (en Canet y en San Pol, principalmente y la nativa barra de Santa Susana), favoreció la estabilización de las playas del tramo NE, pero acusó el proceso erosivo que paulatinamente se fue extendiendo a todo el tramo SO, situado aguas abajo del transporte longitudinal neto de sedimentos inducido por los oleajes.

Pregunta fundamental

Ante esta situación se me planteó la **pregunta fundamental**: si durante siglos el Maresme había estado sometido al mismo clima marítimo, y por tanto sujeto al proceso de pérdida de enormes volúmenes de sedimento ¿Cómo, por qué y cuándo se había podido formar el sistema de playas

1. The Maresme beaches are sandy formations stretching 60 km from the Tordera River to the port of Barcelona and include the Besos River and various streams. Serious erosion problems appeared in these beaches from the 40's onwards, mainly from the Arenys Port to Montgat. As the erosion had been detected after the construction of the Arenys Port, this was always considered to be the cause of the same (Figure 3).

2. Following the construction of the port of Barcelona, dating back over successive phases to the first jetty built in 1439, the beach set to the north had gradually grown with each additional construction until advancing some 900 metres at its maximum point. The "La Barceloneta" suburbs were subsequently erected on the land gained from the sea in this area (Figure 4).

3. A study of littoral transport, both in terms of transport rate and in the quantitative analysis of the successive growth processes of the beaches of La Barceloneta up to the river Besos, reveal that prior to the construction of the Port of Barcelona, the net transport rate towards the southwest at this point was around 210,000 m³ per year and that the net transport rate rose from around 60,000 m³ per year at the north-easterly point (Tordera River and Punta Palomera de Blanes, in the province of Gerona) to the said flow at the site of the port of Barcelona.

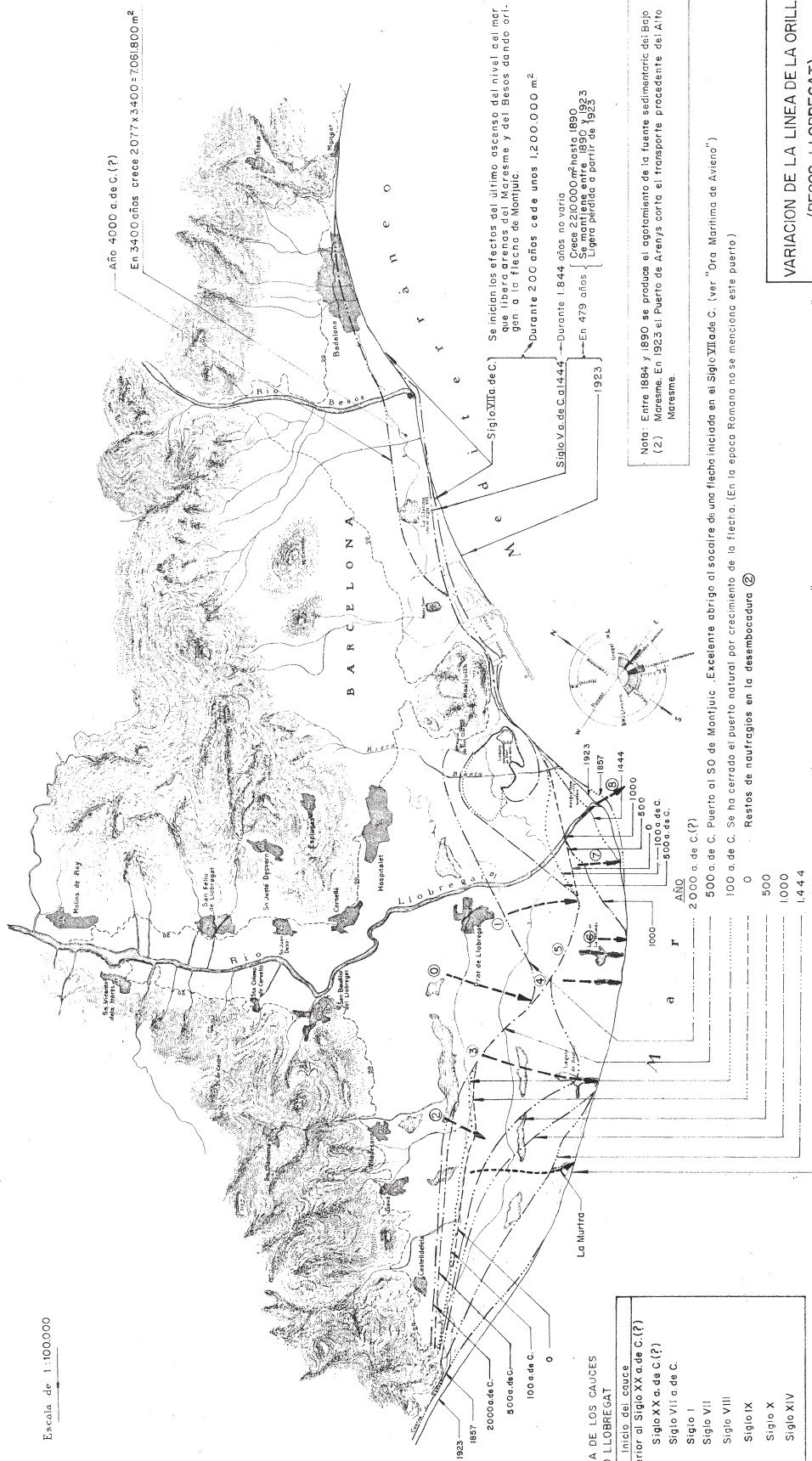
4. A study of deposits from rivers and streams on the coast, show that the total sedimentary load would be around 40,000 m³ per year.

5. The difference between the flow transported off the future Barceloneta (210,000 m³ per year) or retained in the area after the successive port works, and the sedimentary flow provided to the coast (the 40,000 m³ per year) explain the erosion process of the Maresme beaches. The retention by the breakwater at the port of Arenys and other coastal defences (Canet, San Pol and the bar at Santa Susana) helped the stabilization of the beaches on the NE section but heightened the erosive process which was gradually extending over the whole SW section, and set downstream from the net longshore transport of sediments induced by the waves.

Fundamental question

In the light of this situation it was then necessary to ask a **fundamental question**. If the Maresme has been subject to the same maritime climate for centuries and, subsequently, to the loss of enormous volumes of sediment, how, why and when was it originally possible to form a beach system with such a large volume of sediment? After much consideration, I could only find one explanation which, in turn, depended on two factors:

Escala de 1:100.000



Año 4000 a.de C.(?)
En 3400 años crece 2077 x3400 = 7061.800 m²

Se inician los efectos del último ascenso del nivel del mar que libera arenas del Maresme y del Besos dando origen a la flecha de Montjuic.
Durante 200 años cede unos 1.200.000 m²

Durante 1.844 años no varía
Crea 2210.000 m² hasta 1850.
En 479 años
Llega a perder o ganar 1923

Nota: Entre 1884 y 1890 se produce el agotamiento de la fuente sedimentaria del Bajo Maresme. En 1923 el Puerto de Arenys corta el transporte procedente del Alto Maresme.

Nota: Excelente abrigo al socaire de una flecha iniciada en el Siglo VIII de C. (ver "Ora Marítima de Avieno")
(2) Maresme. En 1923 el Puerto de Arenys corta el transporte procedente del Alto Maresme.

VARIACION DE LA LINEA DE LA ORILLA
(BESOS-LLOBREGAT)
4ª ESTIMACION
Y DE LOS CAUCES FUNCIONALES DEL LLOBREGAT
2ª ESTIMACION

FIGURA 27
ESTUDIO 2 E 1:100.000 C. GARAU 1983

Nota: Sumidero de la capacidad de transporte de los oleajes (2) Sumidero de la capacidad de transporte de los oleajes (2) Reducción por oleaje hasta 1947 aproximadamente; Reducción fondea después.
Zona Garraf (1) Sumidero de la capacidad de transporte de los oleajes (2) Reducción fondea después.
Zona desembaradura Depósito hasta 1857; Erosión después.

2ª ESTIMACION DE LA HISTORIA DE LOS CAUCES FUNCIONALES DEL RIO LLOBREGAT

Forma residual	Inicio del cauce
0	No hay vestigios
1	No hay vestigios
2	No hay vestigios
3	"El Remolador"
4	"La Illa"
5	"La Ricarda"
6	"La Margarida"
7	"La Pedrissa"
8	Cauce actual

Fig. 4. Variaciones de la línea de costa desde Mongat al macizo de Garraf, estimada según datos de las Memorias de sucesivos proyectos del Puerto de Barcelona, sondeos del estudio hidrográfico del delta del Llobregat, y análisis del proceso genético y evolutivo de las playas del Maresme. (Tomada de C. Garau, 1983)/Variations in the coastline from Montgat to the Garraf massif, calculated from information contained in the Reports on successive projects at the Port of Barcelona, depth readings taken from the hydrographic study of the Llobregat delta and analysis of the formation and development process of the Maresme beaches (Taken from C. Garau, 1983).

con tal volumen de sedimentos? Tras darle muchas vueltas, sólo encontré una explicación que requería dos hechos:

- a) Que a lo largo de esta costa existiesen diversos bajos rocosos, los cuales, en situación de nivel del mar más bajo que en la actualidad, funcionasen a modo de diques y tómbolos capaces de cortar el transporte longitudinal en varios puntos.
- b) Que hace como mínimo unos 27 o 26 siglos (según los volúmenes y caudales estimados), el nivel del mar estuviese más bajo que en la actualidad y poco después hubiese alcanzado el nivel actual.

Las dos hechos hipotéticos eran verificables, y en el primer momento pensé que difícilmente serían reales. Sin embargo, la presunta existencia de los bajos rocosos adecuados fue rápidamente confirmada al observar sobre la Carta Marina las siguientes formaciones recosadas: la barra de Santa Susana (-3 m de profundidad actual, unos 3000 m de longitud y a una distancia de unos 700 m de la actual orilla); Niñ Armat Gran y Niñ Armat Petit frente a Mataró (-5 m de profundidad actual, unos 1300 m de longitud y a una distancia de 920 m de la orilla actual); Els Colls frente a Masnou (-5 m de profundidad actual, unos 1100 m de longitud, y a unos 1010 m de la orilla actual); y finalmente Las Tascas y la Isla de Mayans frente a Barcelona (citadas en documentos históricos –memorias de los proyectos de las primitivas obras portuarias–, aunque hoy absorbidas por los terrenos ganados al mar; con unos 800 m de longitud y situadas a unos 100/150 m de la orilla antes de ser alterada por las obras portuarias). Puedo asegurar que desconocía la existencia de estas singularidades y la verificación de la primera condición o hecho necesario fue una experiencia emocionante.

En cuanto al supuesto de un final de la transgresión Holocena relativamente reciente (como mínimo unos 6 o 7 siglos a. C.), resultó también real, tras examinar las curvas de Mörner que recogía datos de otros muchos investigadores sobre la evolución del nivel del mar durante los últimos 16500 años. Un análisis más detallado, a la vista del artículo de Clark, Farrel y Peltier (*Global changes in Postglacial Sea Level: A Numerical Calculation*, 1978, *Quaternary Research*, V.9, pp.265-287) permite admitir que, tras una etapa final de lento ascenso (unos 2 mm/año) desde los -10 m hace unos 7000 años, el nivel del mar alcanzó la posición actual aproximadamente hace unos 2500 años, unos 5 siglos a. C. (Figura 2). Así pues, es perfectamente lógico que, hace unos 27 o 26 siglos, empezase el balance negativo entre aportaciones fluviales y transporte litoral.

Durante varios miles de años estuvieron pasando por delante del futuro puerto de Barcelona del orden de 210.000 m³ por año de sedimentos, desde el Maresme hacia lo que sería el delta del Llobregat. Esto significó presumi-

a) That there had been various rocky shallows scattered off the coast which at lower sea levels than present would have acted as breakwaters and bars and cutting off longshore transport at various points.

b) That at least 27 or 26 centuries ago (according to estimated volumes and drifts), the sea level was lower than present and reached its current level shortly afterwards.

Both of these hypothetical events could be verified and, at the outset, I doubted whether they would be true. However, the presumed presence of suitable rocky shallows was soon confirmed when observing the following rocky formations on the Sea Charts: the Santa Susana bar (-3 m the current depth, stretching some 3000 m and set 700 m from the current shore); Niñ Armat Gran and Niñ Armat Petit off Mataró (-5 m the current depth, 1300 m long and set 920 m from the current shore); Els Colls off Manou (-5 m the current depth, about 1100 m long and set 1010 m from the current shore); and finally Las Tascas and the Isla de Mayans off Barcelona (referred to in historic documents and projects for early port works, though now absorbed within the ground regained from the sea. These were 800 m long and set 100/150 m from the shore before being altered by the port works). I was previously unaware of these circumstances and the verification of the first condition or necessary factor was gratifying to say the least.

*With regards to the relatively recent ending of the Holocene transgression (at least 6 or 7 centuries B.C.), this also proved correct on examining the Mörner curves which included data from many other researchers into the evolution of sea level over the last 16,500 years. A more detailed analysis, in the light of the article by Clark, Farrel and Peltier (*Global changes in Postglacial Sea Level: A Numerical Calculation*, 1978, *Quaternary Research*, V.9, pp. 265-287) reveals that, after a final stage of slow increase (some 2 mm/year) following the - 10 m of around 7000 years ago, the sea level reached its current position some 2500 years ago, around 5 centuries BC (Figure 2). It is then perfectly logical that the negative balance between fluvial deposits and littoral transport began around 27 or 26 centuries ago.*

For thousands of years around 210,000 m³ of sediment was passing the future port of Barcelona, from the Mareme to what would eventually be the delta of Llobregat. This presumably led to the formation of a spit to the southwest of the Montjuich promontory which would provide shelter to the early Roman port and later serve as the site of the city of Barcino. Various silos and other port remains to the southwest of Montjuich confirm this fact, as the Roman coastal cities, such as Barcino, Tarraco and Palma, tended to be set around sheltered waters dominated by a promontory (Figure 4). While in Tarraco and Palma this

blemente la formación de una flecha al suroeste del saliente de Montjuich que proporcionaría abrigo al primitivo puerto romano que serviría de base para la fundación de Barcino. Varios silos y otros restos portuarios al suroeste de Montjuich confirman este hecho; era típico de las ciudades romanas costeras, como Barcino, Tarraco y Palma, que se ubicaran en el entorno de una zona de abrigo dominada por un promontorio (Figura 4). Mientras en Tarraco y en Palma el abrigo consistía en sendos estuarios, hoy desaparecidos por el aterramiento y desvío del río Francolí y de la Riera de Palma, respectivamente, en lo que sería Barcino no existía entrante alguno al noreste de Montjuich, y la costa del llano comprendido entre este macizo y el de Garraf tenía su frente muy retrasado. Cuando comenzó el transporte importante por delante de Montjuich, hace unos tres o cuatro milenios, se formó una flecha, según muestra la granulometría gruesa de los sedimentos de aquella zona, típica de los sedimentos del Maresme (sauló), y como se deduce de los sondeos y estudios geológicos allí realizados con fines hidrológicos. Las arenas de las actuales playas del delta del Llobregat, y las de su llanura deltaica, son mucho más finas que las del Maresme.

Lo más relevante del análisis del proceso genético y evolutivo del Maresme, es, de un lado, la constatación de que se produjo la interacción de dos procesos naturales independientes: a) los ligados a las aportaciones fluviales y al transporte litoral de sedimentos; y b) la transgresión Holocena.

De otro lado la constatación de que tal interacción dió lugar a la formación de los grandes sistemas arenosos del Maresme, que alcanzaron los máximos volúmenes hace unos 3 ó 4 mil años, y que, a partir de un momento dado, el proceso natural acumulativo pasó a un proceso natural regresivo a causa de la elevación del nivel del mar. Todo ello por las circunstancias antes descritas.

El reconocimiento de estos hechos es altamente ilustrativo e importante, toda vez que durante mucho tiempo se achacó el proceso erosivo (y probablemente se sigue achacando por muchos expertos en Ingeniería de Costas) a la construcción del puerto de Arenys. Si bien es cierto que la interrupción del transporte litoral por estas obras aceleró el proceso erosivo en las playas de aguas abajo (suroeste), es igualmente cierto que, gracias a esta acción antrópica, se preservaron las playas situadas al noreste: Arenys, Canet, San Pol, Calella, Pineda, Santa Susana, Malgrat y Blanes (Playa del Sabanell).

Lo más importante, desde el punto de vista del mejor conocimiento de los procesos litorales, es partir del diagnóstico correcto. Comparando el tema con otros de la Medicina, podemos decir: las alteraciones producidas por las obras portuarias de Arenys fueron en realidad un "síntoma" de un problema natural; interpretar que los efectos nocivos al suroeste eran una "enfermedad" causada por tal ac-

shelter was provided by a number of estuaries which have since disappeared as a result of infilling and the deviation of the river Francolí and the Palma Estuary respectively, in the case of the future Barcino there was no inlet whatsoever to the northeast of Montjuich and the coastal plain between this massif and that of Garraf has a very receding shoreline. When large littoral drift began to pass off Montjuich, some three or four millenniums ago, a spit was formed as may be seen from the course grained sediment in the area, typical of the Maresme sediment and as shown by the geological studies and soundings carried out in the area for hydrological purposes. The sands of the current beaches in the Llobregat delta and those of the deltaic plain are much finer than those of the Maresme.

The most relevant aspects of the analysis of the formation and development process of the Maresme may be seen by the verification of the interaction of two independent natural processes: a) those associated with the fluvial deposits and the littoral transport of sediments; and c) the Holocene transgression.

This analysis also verifies that this interaction gave rise to the formation of the large sandy systems of the Maresme which reached maximum volumes some 3 or 4 thousand years ago and after which time the natural accretion process changed to a natural regressive process as a result of the rising sea level. All of which being due to the circumstances described above.

The verification of these factors is highly illustrative and very important as for many years the erosion process has been attributed to the construction of the port of Arenys (and will probably continue to be so by many expert coastal engineers). While it is true that the interruption of littoral transport caused by these port works served to accelerate the erosive process of down water beaches (southwest), it is also true that this man-made action served to preserve the beaches to the northeast: Arenys, Canet, San Pol, Calella, Pineda, Santa Susana, Malgrat and Blanes (Sabanell beach).

In order to gain a better knowledge of littoral processes it is essential that these be based on correct diagnosis. When continuing with the medical metaphor, it may be said that the deterioration caused by the Arenys port works were really a "symptom" of a natural problem and the consideration that the detrimental effects to the southwest were the "disease" caused by human action then leads to an incorrect diagnosis and the ensuing corrective measures were not the most suitable. The intention to replenish the beaches at the head (south of the port of Arenys) and transfer from the pleasure harbours, imitating the natural process, is apparently reasonable but is not sustainable and in the long term implies the infilling of the pleasure harbours in

ción antrópica conduce a un diagnóstico equivocado, y por consiguiente las medidas correctoras no han sido las más adecuadas. Pretender alimentar las playas en cabecera (sur del puerto de Arenys), e ir trasvasando en los puertos deportivos, imitando el proceso natural, es aparentemente razonable, pero no es sostenible e implica, a la larga, el aterramiento de los puertos deportivos próximos al dique de levante del puerto de Barcelona. Es mucho más lógico realizar obras de estabilización que se complementen con las obras de los puertos deportivos, y una vez hecho esto aportar los volúmenes de arena adecuados a cada tramo. De no haberse realizado el puerto de Arenys, los diversos espigones para retención de arenas, y los puertos deportivos, la mayor parte de las playas del Maresme habrían desaparecido, quedando la orilla del mar en la escollera de protección del ferrocarril, y la línea de costa de levante de Barcelona estaría adelantada varios centenares de metros frente a la Barceloneta. Creer, como es muy frecuente, que es la acción antrópica la causante de los problemas de las playas, sin una adecuada justificación, no conduce al correcto diagnóstico.

Lo más inesperado y sorprendente de esta experiencia personal sobre la importancia de la transgresión Holocena para la comprensión y explicación de los procesos sedimentarios naturales del Maresme, es que sería crucial para entender la génesis, evolución y comportamiento de las playas de las Baleares, en su mayoría de arenas bioclásticas, de los voluminosos sistemas dunares ligados a ellas, y de los enormes volúmenes de arena que quedaron relictos en sus plataformas litorales.

Las formaciones de arenas bioclásticas de las Baleares

Tasas de producción bioclástica

Para entrar en el tema, es conveniente conocer los interesantes resultados que los investigadores M. Canals y E. Ballesteros exponen en su artículo "Production of carbonate particles by phytobenthic communities on the Mallorca-Menorca shelf, northwestern Mediterranean Sea" (Deep-Sea Research II, Vol. 44, Nº. 3-4, pp. 611-629, 1997). Estos autores (p. 622) afirman que "...a pesar de la triple variación en el contenido de carbonato de las diferentes áreas estudiadas, la producción media es muy similar, mostrando una estrecha franja de valores centrados alrededor de 100 g·m⁻²·año⁻¹". Finalmente (P. 626) llegan a las siguientes

"CONCLUSIONES E IMPLICACIONES:

(1) La producción de carbonatos algales modernos en la plataforma litoral de Mallorca-Menorca depende de

the vicinity of the eastern breakwater of the port of Barcelona. It is far more logical to carry out stabilization works compatible with the works on the pleasure harbours and, once this is completed, to provide the necessary volumes of sand for each section. If the Arenys port, the various groins constructed to retain the sands and the pleasure harbours had not been constructed, the majority of the Maresme beaches would have disappeared and the shoreline would be level with the railway embankment and the eastern coastline of Barcelona would have advanced several hundred metres off Barceloneta. The common and unjustified belief that human interference was the cause of the beach problems does not lead to a correct diagnosis.

The most unexpected and surprising aspect of this enquiry into the importance of the Holocene transgression and one made in order to understand and explain the natural sedimentary processes of the Maresme, is that this is also essential to understand the formation, development and behaviour of the generally bioclast sand beaches of the Balearics, the large dune systems associated with the same and the enormous volumes of sand left on the Balearic littoral shelves.

The bioclast sand formations of the Balearics

Bioclast production rates

By way of introduction it is pertinent to discuss the results provided by the researchers M. Canals and E. Ballesteros in their article "Production of carbonate particles by phytobenthic communities on the Mallorca-Menorca shelf, northwestern Mediterranean Sea" (Deep-Sea Research II, Vol. 44, No. 3-4, pp. 611-629, 1997). These authors (p. 622) state that "...in spite of the triple variation in the carbonate content of the different study areas, the average production is very similar and shows a close band of values centred around 100 g·m⁻²·year⁻¹. On p.626, the authors come to the following

"CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS:

(1) The production of modern algal carbonates on the littoral shelf of Mallorca-Menorca depends on the variable carbonate production rates of the different benthic communities and the total area covered by each community. These communities, in turn, depend on the depth conditions and for and the type of substrate.

(2) The production of algal carbonate on the littoral shelf of Mallorca-Menorca is mainly due to the maerl corallines and crusts belonging to the Peyssonnelia

las variables tasas de producción de carbonatos por las diferentes comunidades bentónicas y del área total cubierta por cada comunidad, siendo estas comunidades expresión de las condiciones de la profundidad, del tipo de sustrato y de la batimetría.

(2) La producción de carbonato algal en la plataforma litoral de Mallorca-Menorca se debe principalmente a encostramientos y coralinas de maërl, especies pertenecientes al género de algas rojas *Peyssonnelia* y, con menor proporción, al alga verde *Hallimeda tuna*.

(3) La producción de carbonatos en áreas rocosas es generalmente más alta que la de los fondos blandos, a excepción de los lechos de maërl, florecientes en aguas de profundidad moderada. La más alta producción de carbonatos se observa en los fondos rocosos coralígenos, fondos rocosos de comunidades algales fotófilas, y lechos de maërl, mientras las tasas más bajas se observan en las praderas de vegetación marina y fondos arenosos. No obstante, la contribución de los lechos de vegetación marina a la producción de carbonatos bentónicos en la plataforma continental de Mallorca-Menorca es preponderante, a causa de las grandes áreas que ocupan estos lechos.

(4) La mayor parte del carbonato algal en la plataforma de Mallorca-Menorca está restringida a las aguas someras o de profundidad moderada, inferior a 85-90 m. la producción de carbonatos en la plataforma litoral inferior es despreciable a causa de los bajos niveles de luz que impiden el desarrollo de lechos densos en algas.

(5) La producción media de carbonatos por encima de los 100 m en la plataforma continental de Mallorca-Menorca es de unos $100 \text{ g CO}_3\text{Ca m}^{-2} \text{ año}^{-1}$, variando entre 90 y $124 \text{ g CO}_3\text{Ca m}^{-2} \text{ año}^{-1}$, dependiendo de las áreas estudiadas.

(6) Las similitudes oceanográficas y fisiográficas entre la plataforma continental de Mallorca-Menorca y la de otras áreas Mediterráneas sugiere que nuestros resultados pueden extrapolarse a la producción de carbonatos en otras comunidades bentónicas.

De este artículo se derivan varias implicaciones importantes, útiles para la interpretación de los antiguos y modernos sedimentos de carbonatos, y para su modelización. Primero, la producción de carbonatos no muestra un decremento lineal con la profundidad del agua. Segundo, las tasas de producción de carbonatos cambia de una zona a otra en la plataforma, dependiendo de la distribución de las comunidades bentónicas controladas por la profundidad. Tercero, los cambios relativos de nivel, en el pasado geológico, pueden influir enormemente en la producción total a lo largo y ancho de la plataforma, no sólo a causa del crecimiento o decrecimiento asociado a su área total, sino principalmente a causa de la migración arriba y

group of red algae and, to a lesser extent, the green seaweed *Hallimeda tuna*.

(3) The carbonate production in rocky areas is generally higher than that from soft sea bottoms with the exception of the maerl beds, florescent in waters of moderate depth. The highest carbonate production is observed in coralline rocky beds, rocky beds of photophile algae populations and maerl beds, while the lower rates are seen in sea grass meadows and sandy bottoms. However, the contribution of the sea grass bottoms to the production of benthic carbonates on the Majorca-Minorca continental shelf is notable as a result of the large areas occupied by these meadows.

(4) The majority of the algal carbonate on the Majorca-Minorca shelf is restricted to shallow waters or those of moderate depth, and less than 85-90 m. The production of carbonates on the lower littoral shelf are negligible as a result of the low light levels which prevent the development of thick seaweed beds.

(5) The average carbonate production above the 100 m level on the Majorca-Minorca continental shelf is around $100 \text{ g CO}_3\text{Ca m}^{-2} \text{ year}^{-1}$, and varies between 90 and $124 \text{ g CO}_3\text{Ca m}^{-2} \text{ year}^{-1}$, in accordance with the study areas.

(6) The oceanographic and physiographic similarities between the Majorca-Minorca continental shelf and other areas of the Mediterranean suggest that our results may be extrapolated to the carbonate production of other benthic communities.

Various implications may be drawn from this article which help interpret both old and modern carbonate sediments and to model the same. Firstly, the carbonate production does not show a lineal decrease according to water depth. Secondly, the carbonate production rates changes from one area to another on the shelf, according to the depth controlled distribution of benthic communities. Thirdly, the relative changes in level over the geological past may have an enormous influence on the total production throughout the length and breadth of the shelf, not only as a result of the growth or decrease associated with their total area, but mainly as a result of upward and downward migration of benthic communities and the increase/decrease of the surface which is successively covered when adapting to the variations in water depth. Fourthly, the production of benthic carbonates may be significant up to depths of around 90 m. Fifthly, in order to explain the large accumulation of sediment in the study areas, it is necessary to resort to the redistribution of

debajo de las comunidades bentónicas y el aumento/disminución de la superficie que sucesivamente cubren para adaptarse a las variaciones de la profundidad del agua. Cuarto, la producción de carbonatos bentónicos puede ser significativa hasta una profundidad de unos 90 m. Quinto, para explicar la gruesa acumulación de sedimento encontrada en las zonas estudiadas, es necesario recurrir a una redistribución de los carbonatos, producidos 'en exceso' en las profundidades someras, hacia el extremo de la plataforma y el talud."

Con ser todas estas afirmaciones muy interesantes y adecuadas al tema que nos ocupa, conviene destacar algunos puntos y hacer algunas puntualizaciones. En primer lugar, la gran diferencia entre la regular producción de bioclastos (de 90,60 a 123,89 g·m⁻²·año⁻¹) y la "triple variación en el contenido" (de 314,20 a 953,56 g·m⁻²) entre unas áreas y otras se debe, más que a las razones expuestas por los autores, a los procesos de transporte litoral que experimentaron las formaciones arenosas que acompañaron el ascenso del nivel del mar durante el Holoceno; muy especialmente las formas de la topografía (hoy batimetría) y su orientación respecto a los oleajes dominantes, que puede llevar arenas desde una a otra área de las estudiadas. En cuanto a las conclusiones e implicaciones, destaca lo siguiente:

a) Las conclusiones (2) y (3), ponen de relieve que las praderas de Posidonia no son las áreas del fondo marino más productoras de bioclastos, como se ha difundido ampliamente ante la opinión pública de las Baleares, irresponsablemente y sin base científica alguna. Lo que sí se destaca en la conclusión (3) es que la abundancia de tales praderas, en estos litorales, implica que su contribución a la génesis de las masas sedimentarias, a lo largo del proceso transgresivo del Holoceno, haya sido importante. Esto no basta para atribuir los problemas de las playas al posible deterioro de algunos fondos colonizados por esta fanerógama, pues su repercusión en proporción a las grandes extensiones de tales praderas es prácticamente despreciable. Por otra parte, en profundidades relativamente someras (menos de 15 m en estas aguas mediterráneas) las llamadas praderas de Posidonia generalmente se asientan en sustratos rocosos muy rugosos, en cuyos huecos es retenida cierta cantidad de arena que permite el crecimiento de la planta, la cual puede extenderse y colonizar casi todo dicho fondo rocoso y rugoso, pues las raíces de la propia planta retienen el sedimento. Ello no obsta para que la Posidonia merezca la debida protección, reconocida universalmente, por su contribución a la clarificación y transparencia de las aguas y a la proliferación

"excess" carbonates produced in shallow waters, towards the outer edge of the shelf and the slope".

All these affirmations are extremely interesting and pertinent to the question in hand, and it is, subsequently, necessary to underline certain points and make a number of clarifications. Firstly, the large difference between the regular production of bioclasts (from 90.60 to 123.89124 g·m⁻² year⁻¹) and the "triple variation in the carbonate content" (from 314.20 to 953.56 g·m⁻²) between some areas and others is due, over and above that indicated by the authors, to the littoral transport processes undergone by the sand formations as a result of the rising sea level throughout the Holocene period and particularly the topographic forms (nowadays the bathymetric form) and orientation with regards to the dominant waves, which could carry sands from one study area to another. In terms of the conclusions and implications it is necessary to state:

a) Conclusions (2) and (3) indicate that the Posidonia meadows are not the most productive areas of bioclasts in the sea bottom. This opinion has been widely divulged among the population of the Balearics in an irresponsible manner and one entirely lacking in scientific grounding. What is of note in conclusion (3) is that the abundance of these seagrass meadows on these shores implies that their contribution to the formation of the sedimentary masses throughout the Holocene transgression has been important. This, in itself, is insufficient to attribute all problems of the beaches to the possible deterioration of certain seabed populated by this seagrass, as their repercussion in proportion to the large extension of these meadows is almost negligible. Furthermore, in relatively shallow waters (less than 15 m in these Mediterranean waters) the Posidonia meadows are generally set on very coarse rocky substrate, and the cavities in these rocks retain a certain amount of sand to allow the plant to grow and extend over almost the entire rocky bottom as the roots of the plant itself serve to retain the sediment. This does not mean to say that the Posidonia is not worthy of protection as this seagrass is universally renowned for its contribution to the clarification and transparency of waters and the proliferation of marine fauna, which enhance the beauty of the shore and fishing. However, the conclusions of Canals and Ballesteros underline that if the sea bottoms colonized by Posidonia had been populated by photophile algae or by maerl, the sand on the beaches, dune systems and relict formations of the Balearics would have been far more abundant, and to say, as certain

de la fauna marina, favoreciendo a la belleza del litoral y a la pesca. Sin embargo, las conclusiones de Canals y Ballesteros ponen de relieve que si los fondos colonizados por la posidonia lo hubiesen sido por comunidades algales fotófilas o por maèrl, la arena de las playas, sistemas dunares, y formaciones relictas de las Baleares sería mucho más abundante; decir, como afirman ciertos biólogos, que "las playas de Baleares existen gracias a la posidonia" es un grave error que hasta puede parafrasearse, con base científica, diciendo que "existen a pesar de la posidonia".

b) La implicación tercera corrobora el presente análisis de la influencia de la transgresión Holocena en la génesis de las playas. El hecho de que no se tenga en cuenta al sacar la implicación quinta se debe, presumiblemente, a la falta de experiencia de los autores sobre los procesos de transporte sedimentario litoral (por el viento y por los oleajes) que estudia la Ingeniería de Costas.

c) En la implicación quinta se recurre a un transporte de sedimentos desde las actuales zonas someras hacia el extremo de la plataforma para explicar el grosor de las formaciones sedimentarias relictas (transporte hacia el mar). Ello merece varios comentarios, pues a mi juicio es el único fallo de los autores. En primer lugar, como veremos más adelante, el balance de la producción global durante la última transgresión justifica tales espesores de las masas sedimentarias relictas y por tanto no se necesita tal supuesto mecanismo. Precisamente el mecanismo de transporte es predominantemente el contrario (hacia tierra y no hacia el mar), pues durante el ascenso del nivel del mar por las suaves pendientes de las áreas estudiadas (inferior al 1% en grandes tramos), el transporte frontal (eólico y marino) en el perfil activo de las playas arrastró hacia la ascendente orilla de cada época (y hacia su trasdós) notables cantidades de sedimentos, quedando no obstante relictas en determinadas zonas enormes volúmenes que superaban la capacidad de elevación de la masa al ritmo de la transgresión y al encontrar pendientes más fuertes que las del perfil de equilibrio de la playa sumergida. Las áreas de mayor profundidad estuvieron alimentadas por la producción de bioclastos durante varios miles de años más que las más próximas al nivel actual. En segundo lugar, en Ingeniería de Costas, basada en una amplia investigación sobre el movimiento sedimentario en general, se admite que, por debajo del límite del transporte significativo (LTS), el transporte frontal de sedimentos es generalmente despreciable, y son excepciones los casos de pendiente muy suave de la plataforma de asiento (caso de transporte hacia tierra) o de pendiente muy fuerte (caso de

biologists maintain that "the Balearic beaches only exist as a result of the Posidonia" is a serious error which may even be paraphrased with scientific grounding, by saying that "these exist in spite of the Posidonia".

b) The third implication corroborates the present analysis in terms of the influence of the Holocene transgression in the formation of beaches. The fact that this is not taken into account when establishing the fifth implication is presumably due to the lack of experience of the authors regarding littoral sediment transport processes (by wind or wave action) and which is studied in Coastal Engineering.

c) In the fifth implication the thickness of relict sedimentary formation (transported offshore) are explained by the transport of sediment from current shallow areas to the edge of the shelf. This requires various comments as, in my opinion, it is the only mistake by the authors. First of all, and as we shall see later on, the balance of global production during the last transgression justifies the thicknesses of the relict sedimentary masses and this does not subsequently require any such transport. Furthermore, the form of transport is predominantly the opposite (towards land and not out to sea), as during the rising of the sea level by the gentle slopes in the study areas (less than 1% over large sections), the cross-shore transport (wind and sea) at the active profile of the beaches brought sizeable quantities of sediments to the rising foreshore (and backshore) over each epoch. However, in certain areas enormous volumes remained relict and exceeded the elevating capacity of the mass during the transgression on encountering far steeper slopes than that of the balanced profile of the beach face. Deeper areas were nourished by the production of bioclasts for several thousand years more than those closer to current levels. Secondly, coastal engineering, based on wide-ranging research into sedimentary movement, accepts that, below the significant transport limit (STL), the cross-shore transport is generally negligible and the exceptions to the rule are those cases with very gentle sloping settlement platforms (in the case of transport towards the shore) or very steep slopes (in the case of offshore transport), but none of these circumstances are generally observed in the areas studied by the authors.

d) It is important to understand the reason behind the mistake in the fifth implication and the surprise at the variable content of bioclasts in the four areas in the excellent work of Canals and Ballesteros. On the one hand it would appear that, to this effect, the authors did not realize the importance of their third implication, perhaps on account of an underlying presumption and,

transporte hacia el mar); pero ninguna de estas circunstancias se da con carácter general en las zonas estudiadas por los autores.

d) Es importante comprender la causa del error de la implicación quinta y la extrañeza ante el variable contenido de bioclastos de las cuatro áreas, en el excelente trabajo de Canals y Ballesteros. De un lado parece que, a estos efectos, no se dieron cuenta de la importancia su propia implicación tercera, quizás por un inconsciente prejuicio: la presunción de que la mayor parte de la masa sedimentaria de bioclastos, de toda la plataforma litoral estudiada por ellos, se generó con el nivel actual, cuando éste sólo se alcanzó hace unos 2500 años. Hace unos 16500 años se encontraba a unos 90 m más abajo, como ya se ha dicho, precisamente la cota que estos autores asumen como límite de la producción efectiva de bioclastos. De otro lado, es presumible que los autores careciesen de los conocimientos adecuados sobre el transporte litoral de sedimentos. Este segundo aspecto es tan complejo que no se puede resumir aquí, si bien conviene señalar unos rasgos: i) Las playas se deben a la acción de los oleajes, especialmente a su capacidad de transporte hacia tierra si el talud de la plataforma litoral es suave, de manera que el perfil arenoso adopta una cierta pendiente para mantener el equilibrio de los movimientos reversibles de las partículas, según los diferentes momentos de la acción de la ola y de los diferentes oleajes; de no existir este efecto constructor de los oleajes, no existirían las playas. ii) El pie del perfil activo de la playa viene determinado por diversos factores y se define como el LTS antes mencionado (Figura 1); no quiere decir que por debajo de la correspondiente profundidad no exista movimiento de las partículas, sino que no se produce transporte neto hacia tierra ni hacia el mar, en el supuesto de que no se alteren las circunstancias que determinan el perfil de equilibrio de la formación arenosa. iii) Las propias pendientes de dicho perfil de equilibrio y la de la plataforma sobre la que asciende y avanza hacia tierra el nivel del mar, determinan el tamaño medio de la masa arenosa ascendente y el de las partículas que deben escaparse hacia el mar; con carácter general hay que distinguir entre el tamaño de las partículas que se mueven en saltación, constitutivas de las playas, de las que se mueven predominantemente en suspensión y son llevadas hacia alta mar; el tamaño que las separa es del orden de unas 7 micras (0,007 mm). iv) Lo más fundamental para explicare la variabilidad del contenido de carbonatos estriba en que las formas de las líneas de costa en cada momento de la transgresión (hoy isóbatas) posibilitaron el trasvase de arenas de unas zonas a otras por transporte longitudinal de los oleajes.

namely, that the majority of the bioclast sedimentary mass throughout the littoral shelf studied was generated by the current level though this was only reached some 2500 years ago. Around 16,500 years ago the sea level, as already indicated, was some 90 m lower and precisely at the level that these authors consider to be the limit of the effective production of bioclasts. On the other hand, it is possible that these authors lack suitable knowledge of littoral transport. This second aspect is so complex that it cannot be summarised in just a few words, though certain essential elements may be referred to: i) Beaches are formed by the action of the waves and particularly their capacity to transport sediment towards the shore when there is a gentle slope to the littoral shelf. In this way the sand profile adopts a certain slope to maintain the equilibrium of the reversible movements of the particles, according to the different moments of wave action and differing waves. If this wave construction effect did not exist there would be no beaches. ii) The base of the active profile of the beach is determined by various factors and is defined as the STL as indicated above (Figure 1). This does not mean to say that there is no particle movement below the corresponding depth, but that no net transport occurs either to shore or offshore, where there be no changes in the circumstances establishing the equilibrium profile of the sandy formation. iii) The slopes of this equilibrium profile and that of the shelf over which the level of the sea rises and advances towards land, determines the mean size of the rising sandy mass and that of the particles which escape out to sea. It is generally necessary to distinguish between the size of particles moving by saltation, and forming the beaches, and those that predominantly move in suspension and are carried out to sea. The size separating these being around 7 micras (0.007 mm). iv) The reason behind the variability of carbonate content essentially lies in the fact that the forms of the coastline during each stage of the transgression (isobaths) allow the transfer of sands from one area to another by longshore transport.

e) When returning to the matter of the budget of bioclastic production of marine sediment in these areas, it is necessary to underline the statement made by the authors indicating that production rates hardly vary with depth (first implication) down to the -90 m benchmark (fourth implication). As such, in the lower areas invaded by the sea over 16,500 years ago, bioclast have been produced throughout the entire ensuing period and which represents an average depth of around 0.95 metres ($(16,500(100/1,000,000)/1.75)$, where 1.75 is the corresponding density of these calcareous sands). While this figure may seem low, it is necessary to consider that

e) Volviendo sobre el tema del balance de la producción bioclástica del sedimento marino en estas áreas, hay que remarcar la propia afirmación de los autores, en el sentido de que las tasas de producción varían escasamente con la profundidad (implicación primera) hasta la cota -90 m (implicación cuarta). Por consiguiente, en las zonas inferiores que el mar invadió hace más de 16500 años, se han estado produciendo bioclastos durante todo el período, lo cual representan un espesor medio de unos 0,95 metros ($16500 \cdot (100/1000000)/1,75$), siendo 1,75 la densidad correspondiente a estas arenas calcáreas). Aunque esta cifra pueda parecer baja, debe tenerse en cuenta que los sedimentos se acumulan en las hondonadas, y que éstas representan proporciones reducidas de los irregulares sustratos rocosos de los fondos marinos, por lo que los espesores de las formaciones sedimentarias relictas pueden alcanzar valores varias veces superiores a este valor medio.

Producción de bioclastos y su incorporación a las playas actuales. Casos de Cala Agulla y Cala Millor en Mallorca

Las dos playas y sus problemas

Las playas de Cala Agulla y Cala Millor son formaciones muy similares en su origen, aunque de muy diferente comportamiento en la actualidad. Ambas están ligadas a sendos sistemas dunares de arenas bioclásticas casi en su totalidad, de génesis simultánea al final de la transgresión Holocena y posterior a ella. La de Cala Agulla, a pesar de la fuerte presión turística, es casi virgen en el sentido de que la urbanización próxima apenas ha alterado el sistema dunar (Figuras 5.A y 5.B). La de Cala Millor se ha convertido en una playa urbanizada en su trasdós; parte del área ahora urbana era antiguamente (hasta hace pocos años según muestra la ortofoto de 1956) una porción del sistema dunar, del cual aún quedan hoy importantes áreas vírgenes (Figuras 6.A y 6.B). Ambas playas presentan problemas de afloramientos rocosos.

La playa de Cala Agulla, de unos 500 m de longitud, es del tipo bien encajado, por los salientes del entorno. En su trasdós presenta una fuerte pendiente en gran parte rocosa y, a pesar de ello, la playa seca pierde arena hacia el sistema dunar. Para paliar este problema, desde hace años se instalan series de cañizos al finalizar la temporada de verano y se retiran antes del comienzo de la siguiente, devolviendo la arena retenida a la playa seca. A pesar de ello, lentamente la playa ha retrocedido, de manera que hoy se considera necesario proceder a su alimentación artificial.

sediments accumulate in basins and that these represent reduced proportions of the irregular rocky substrates of the sea bottom and, subsequently, the thicknesses of relict sedimentary formations may reach values several times over this average value.

Bioclast production and incorporation within current beaches. The cases of Cala Agulla and Cala Millor in Majorca.

The two beaches and their problems

The beaches of Cala Agulla and Cala Millor are formations which are very similar in terms of origin, but very different in terms of current behaviour. Both beaches are associated with large dune systems, almost entirely formed of bioclastic sands and simultaneously formed at the end of the Holocene transgression and after. The Cala Agulla beach, in spite of heavy tourist presence, is almost virgin as the buildings backing onto the beach barely encroach on the dune system (Figures 5A and 5B). The backshore of the Cala Millor beach has become an urban beach with part of this urban area previously being a part of the dune system (as may be seen from the relatively recent orthophotograph of 1956), though sizeable areas of virgin beach still remain today (Figures 6A and 6B). Both beaches have problems with rocky outcrops.

The 500 m long Cala Agulla beach is well confined by the surrounding points. The backshore of the beach slopes steeply and is largely rocky though, in spite of this, the drying beach loses sand towards the dune system. In order to offset this problem, sand fences have been installed for a number of years now at the end of the summer and are removed at the beginning of the following summer and the retained sand is returned to the dry beach. In spite of this, the beach has slowly receded and it is now considered necessary to artificially replenish the beach.

Though the Cala Millor is sufficiently confined to prevent the loss of sand through oscillations, the points of Cap Pinar and Punta de N'Amer do not clearly define the shore of this 1900 metre long beach. As a result, the drying beach shifts in accordance with the dominant wave climate for each year and rocky outcrops subsequently appear at various points on the beach though mainly on the southern section known as Sa Mániga. Part of the sand to the dune area subject to beachfront development, was provided prior to 1968. It is presumed that this replenishment, estimated at around 75,000 m³, was carried out in order to extend the shore and cover the rocky outcrops existing at the time. The construction of the promenade, with a seawall rising 2 m above the level of the berm and a small cantilever at the crest, prevented the loss of sand towards the dune system



Fig. 5.A. Vista aérea de Cala Agulla, playa, sistema dunar y su entorno/Aerial view of the Cala Agulla beach, dune system and surroundings..



Fig. 5.B. Playa de Cala Agulla/ Cala Agulla beach.

En la playa de Cala Millor, aunque encajada suficientemente para no perder arena en sus oscilaciones, los salientes de el Cap Pinar y de la Punta de N' Amer no determinan una forma definida de su orilla, de unos 1900 metros de longitud. En consecuencia, la playa seca sufre desplazamientos en función de los oleajes dominantes de cada año y, debido a ello, frecuentemente se producen afloramientos rocosos en diversos puntos, si bien el problema afecta principalmente en el tramo sur conocido como Sa Mániga. Se da la circunstancia singular de que parte de la arena de la zona dunar que iba a ser urbanizada, se aportó a la playa antes de 1968. Es presumible que esta aportación, estimada en unos 75.000 m³, se realizase con el fin de hacer avanzar la orilla y cubrir los afloramientos rocosos que ya entonces existían. A consecuencia de la construcción del paseo marítimo, con un muro coronado a unos 2

which naturally occurs on all beaches of this type. This barrier effect is shown by the fact that it is not necessary to clear up sand deposits on the promenade and that there are no disturbances to the tourist developments on the beach front. However, in spite of the sand replenishment indicated above, the shoreline oscillations and the ensuing rocky outcrops are very detrimental to the local tourist trade. This began to be of some concern in 1989 and a total 58,000 m³ of sand has subsequently been replenished at various stages, with the last being provided in 2002. However, the problem still has a serious affect on the tourist trade.

It is necessary to underline that the problem of the Cala Agulla beach arises from the natural process affecting the beach and, namely, the loss of sand towards the dune system. The problem of the Cala Millor is also the result of



Fig. 6.A. Vista aérea de Cala Millor, playa, sistema dunar, y urbanización. (Extremo sur)/Aerial view of the Cala Millor beach, dune system and developed areas. (South end).

Fig. 6.B. Vistas de la playa de Cala Millor/ Views of the Cala Millor beach).



m por encima de la cota de la berma y con un pequeño voladizo en su coronación, se cortó la pérdida de arenas hacia el sistema dunar que experimentan de forma natural todas las playas de este tipo. Prueba de ello es que no es preciso retirar acumulaciones de arena en el paseo, ni se producen molestias en los establecimientos turísticos de primera fila. Sin embargo, a pesar de la aportación de arena antes mencionada, las oscilaciones de la orilla y los consiguientes afloramientos rocosos resultan muy perjudiciales para la industria turística. Ello comenzó a preocupar a partir de 1989, y en sucesivos momentos se aportaron en total unos 58.000 m³ de arena, la última en el año 2002. Sin embargo el problema sigue afectando gravemente a la industria turística.

Es preciso insistir en que al problema de Cala Agulla se deriva del proceso natural a que está sometida la playa, consistente en la pérdida de arena hacia el sistema dunar. El problema de Cala Millor es también consecuencia del retroceso de la playa debido a la antigua formación y crecimiento del sistema dunar, y si bien es evidente que la urbanización hizo desaparecer parte de dicho sistema, con respecto a la playa ha detenido tal proceso eólico erosivo; sin embargo, las variaciones de la playa que no preocupaban en 1968, y que probablemente se estimaron evitadas con la aportación de la arena extraída de las dunas, dejan eventualmente sin arena ciertos tramos, con el consiguiente desencanto para los clientes que hoy acuden al correspondiente hotel.

No es posible verter aquí la justificación completa de la descripción expuesta sobre el carácter natural del problema. En ambos casos de Cala Agulla y Cala Millor se han realizado análisis del proceso genético, y en esta última se ha comprobado que las variaciones en la superficie de la playa, tras cada aportación y tras su reajuste del perfil, se corresponden con los volúmenes de arena vertidos, y no se han producido pérdidas de arena hacia el exterior de la unidad fisiográfica.

La producción de bioclastos

Al analizar el proceso genético de cada una de estas dos playas, se evaluó la producción de bioclastos en el correspondiente tramo de la plataforma litoral. Para ello se dividió en franjas de 15 m de altura, y a cada área se le aplicó la tasa determinada por Canals y Ballesteros de 100 gr·m⁻²·año⁻¹, durante el tiempo transcurrido desde que el nivel del mar alcanzó el punto medio de cada franja. De esta forma se obtuvieron los resultados de la Tabla 1, para cuya mejor comprensión y significado se aclara lo siguiente:

1. En la primera fila se indica el resultado de la producción total a lo largo de los últimos 16.500 años. No se tienen en cuenta las posibles fugas hacia otras cuencas o

the receding of the beach due to its former formation and the growth of the dune system. While it is evident, in this latter case, that beach front development has eliminated part of this dune system and that the erosive wind process has been detained with regards to the beach, the variations of the beach were not considered a problem in 1968 and these were probably considered to be prevented by the provision of sand taken from the dunes. This subsequently left a number of areas without sand to the dismay of those tourists staying at the beachfront hotel.

It is not possible to provide a complete justification on the basis of the foregoing description of the natural aspect of the problem. An analysis of the formation process has been carried out for both the Cala Agulla and the Cala Millor beach, and with regards to this latter it has been verified that the variation of the beach surface after each successive replenishment and the realignment of the beach profile correspond to the volumes of sand provided and that there have been no losses of sand outside the physiographic unit.

Bioclast production

On analyzing the formation process of each of these two beaches, an evaluation was made of the bioclast production over the corresponding section of the littoral shelf. This was carried out by dividing the area into 15 m high bands and applying the rate established by Canals and Ballesteros of 100 gr·m⁻²·year⁻¹ to each area over the time from which the sea level had reached the average point of each band. This then gave the results indicated in Table 1, which requires the following clarifications:

- 1. The first row of the table indicates the result of total production throughout the last 16,500 years. No account is taken of possible transfer to other basins or sections of the littoral shelf, though the lateral borders of each basin do imply a certain difference on account of the possible raising of material by cross-shore transport. Further details shall be provided later on to explain the large differences in production between both basins.*
- 2. The second row provides an estimate of all the sandy formation (beaches and dunes) on the coast section. In the case of Cala Agulla this also includes the dunes of Cala Mesquida and other small coves. In the case of Cala Millor this includes the Son Moll beach and other small coves.*
- 3. The third row indicates the total of relict masses, when taking there to be no escape of materials by longshore transport throughout the transgressive process.*
- 4. The fourth row gives an estimate for each section of the total volumes of active beach, when taking this to*

Tabla 1. Producción de bioclastos en las cuencas litorales de Cala Agulla y Cala Millor, barridas por la transgresión Holocena. Estimación de las masas arenosas emergidas actualmente en todo el tramo definido por el Morro de Aubarca y el Cap de Pera (unos 9,2 km), y por éste y la punta de N'Amer (unos 16,5 km), respectivamente. Tasa de producción: 100 gr·m⁻²·año⁻¹/ Table 1. Bioclast production in the littoral basins of Cala Agulla and Cala Millor, swept by the Holocene transgression. Estimate of currently emerged sandy masses throughout the section defined by the Morro de Aubarca and the Cap de Pera (some 9.2 km), and between this and the point of N'Amer (some 16.5 km), respectively. Production rate: 100 gr·m⁻²·year⁻¹

Definición de la masa sedimentaria/Definition of sedimentary mass	Masa total/Total mass	Masa total/Total mass
	(m ³) Cala Agulla	(m ³) Cala Millor
1) Total generado posterior a -16.500 años/Total generated after -16,500 years	350.000.000	191.000.000
2) Masas emergidas en el tramo (estimación)/Emergent mass in the section (estimate)	5.000.000	2.050.000
3) Masas relictas/Relict mass	345.000.000	188.950.000
4) Masas de playa activa (estimación)/Mass of active beach (estimate)	400.000	600.000

tramos de la plataforma litoral, aunque los límites laterales de cada cuenca supone cierta separación en la posibilidad de elevación de materiales por transporte frontal. Más adelante se darán más datos para explicar unas grandes diferencias entre la producción de ambas cuencas.

2. En la segunda fila se da una estimación de todas las formaciones arenosas (playas y dunas) del tramo de costa. En el caso de Cala Agulla incluye también las dunas de Cala Mesquida y otras pequeñas calas. En el caso de Cala Millor incluye la playa de Son Moll y otras pequeñas calas.

3. En la tercera fila se indica la totalidad de las masas relictas, en el supuesto de que no se hubiesen escapado materiales por transporte lateral de los oleajes, a lo largo del proceso transgresivo.

4. En la fila cuarta se da una estimación en cada tramo de los volúmenes totales de playa activa, entendida como el volumen de arena que puede ser removida por los oleajes en la actualidad, ya sea por acción frontal o longitudinal, en el entendido de que en ambos casos se trata de movimientos reversibles.

Hechas estas aclaraciones procede señalar las siguientes observaciones:

a) Si dividimos la producción total en cada cuenca por la longitud del tramo, observamos que para la cuenca de Cala Agulla da 38.043 m³ por metro lineal de costa, mientras para Cala Millor sólo da 11.576 m³ por metro lineal. Esta diferencia no guarda relación directa con la variación de contenido de carbonatos de que hablan Canals y Ballesteros. Se trata de las diferentes características topográficas de la plataforma litoral de una u otra cuenca. La distancia de la orilla actual a la isóbata -90 m es de unos 16 km para el tramo de Cala Millor, mientras que para el de Cala Agulla llega a superar los

be the volume of sand that may be currently moved by the waves, whether by longshore or cross-shore action, and on the basis that this concerns reversible movements in both these cases.

After providing these clarifications, the following observations may be made:

a) If we divide the total production of each basin by the length of the section, we may then see that the Cala Agulla basin provides 38,043 m³ per lineal metre of coast, while the Cala Millor only gives 11,576 m³ per lineal metre. This difference does not bear a direct relation with the variation in carbonate content referred to by Canals and Ballesteros. This depends on the different topographical characteristics of the littoral shelf of each basin. The distance from the current shoreline to the -90m isobath is around 16 km for the Cala Millor section and over 22 km for that of Cala Agulla (in reality this depth is not reached as this is a now submerged isthmus between Majorca and Minorca, and where a dividing line was taken between the basins of both islands, with maximum depths of around 75 m). The length of the inner contour (isobath -90m) of the Cala Millor basin is some 17 km long while the equivalent contour of the Cala Agulla is around 46 km. It is necessary to recall that this is an island with other islands in the vicinity and that the slopes of the littoral shelf and, particularly, the forms of the isobaths (in parallel to the coast) imply these variations in the production rate per lineal metre of the coast, while the variations in content per cubic metre (Canals and Ballesteros) are essentially due to the transfers between one basin and another on account of longshore transport.

22 km (en realidad no se llega a tal profundidad, ya que se trata del istmo, hoy submarino, entre Mallorca y Menorca, en el cual se toma una línea divisoria de cuencas entre ambas islas, con profundidades máximas de unos 75 m). La longitud del contorno inferior (isóbata -90 m) de la cuenca de Cala Millor es de unos 17 km de longitud, mientras el contorno equivalente de Cala Agulla es de unos 46 km. No olvidemos que se trata de una isla, con otras islas próximas; las pendientes de la plataforma litoral y, sobre todo, las formas de las isóbatas (al igual que la costa) implican estas variaciones en la tasa de producción por metro lineal de costa, mientras las variaciones de contenido por metro cuadrado (Canals y Ballesteros) se deben, esencialmente a los trasvases de una a otra cuenca por transporte longitudinal de los oleajes.

b) A pesar de estas diferencias, a título de orden de magnitud se puede estimar que en las costas de las Baleares, desde el inicio de la transgresión Holocena, se han producido arenas de carbonato a razón de unos 25.000 m³ por cada metro lineal de costa. De esta producción ha quedado en formaciones relictas el 98,65 %. Tan sólo el 1,35 % de la producción ha alcanzado la costa y formado las playas y sistemas dunares. Y tan sólo el 0,19 % de la producción constituye las masas activas de las playas actuales.

c) Si aplicamos a los 300 km de costa de Mallorca la tasa media de producción de carbonatos habida desde el inicio de la transgresión Holocena, resulta una producción total de unos 7,5·10⁹ m³. Se trata tan sólo de una evaluación grosera, naturalmente, pero pone en evidencia la ínfima importancia de la extracción de arena para resolver los problemas de las actuales playas, que precisen necesariamente una alimentación artificial. Baste pensar que un millón de m³ serían suficientes para todas las necesidades, y que esta cantidad ni tan siquiera altera cifra alguna de la evaluación efectuada. Ello no quiere decir que todos los problemas de las playas requieran aportación artificial. Por ejemplo, el caso de la bahía de Alcudia, que afecta a la playa de Can Picafort (T.M. de Santa Margarita), se debe resolver trasvasando las arenas que el proceso de transporte longitudinal lleva de sureste a noroeste, y ello también se deduce del análisis del proceso genético de las playas de dicha bahía y se ha contrastado con otros estudios de dinámica litoral. Naturalmente, las extracciones de arena deben hacerse en las condiciones necesarias para minimizar las alteraciones en los ecosistemas marinos. En cuanto a su vertido, lo más importante es tener la garantía de que no se producirán pérdidas fuera de la unidad fisiográfica cuyo problema se pretende resolver, pues cumplida esta condición, las aportaciones artificiales tardan en ajustar el perfil si se

b) In spite of these differences, in terms of magnitude it may be estimated that from the start of the Holocene transgression, roughly 25,000 m³ of carbonate sands have been produced per lineal metre of the Balearic coastline. 98.65% of this production has remained as relict formations and only 1.35% of the production has reached the shore and formed the beaches and dune systems, and only 0.19% of the production forms the active masses of today's beaches.

c) If the average carbonate production rate is applied to the 300 km Majorcan coastline, this would then give a total production from the start of the Holocene transgression of some 7.5·10⁹ m³. This is naturally only a very rough estimate but it reveals the negligible importance of the extraction of sand to resolve the problems of modern-day beaches that necessarily require artificial replenishment. One could consider that a million cubic metres would be sufficient for all the needs and that this quantity would in no way affect the estimate made. This does not mean to say that all problems of beaches may be resolved by artificial nourishment. By way of example, in the case of the bay of Alcudia which affects the beach of Can Picafort (Santa Margarita), the problem should be resolved by transferring the sands carried by longshore drift from the southeast to the northwest, and this may also be deduced from the analysis of the formation process of the beaches of this bay which have been verified by other studies of littoral dynamics. The extraction of sand should naturally be made under the necessary conditions to minimize adverse affects to the marine ecosystems. With regards to the depositing of the same, the most important factor is to ensure that there be no losses outside the physiographic unit requiring remedial action, as on complying with this condition, the artificial replenishment will take time to adjust to the profile if deposited on the drying beach and this will allow the Posidonia and other benthonic communities to readily adjust to the rise of a few centimetres.

d) There is a very important concept concerning the behaviour of bioclast sand beaches when the level is invariant. This being the surface of the littoral shelf and its capacity to incorporate bioclasts generated from the active beach. This surface corresponds to the depth of the significant transport limit (datum h_m of point M in Figure 1), with a certain margin in accordance with the slope of the substrate (m_p of Figure 1). When the said surface is smoother than the breaker profile (m_s in Figure 1) one may take, in the absence of more precise studies, the depth of

vierte en la playa seca, de manera que la posidonia y otras comunidades bentónicas soportan perfectamente el recrecido en pocos centímetros al año.

d) Hay un concepto muy importante para el comportamiento de las playas de arenas bioclásticas, cuando el nivel es invariante. Se trata de la superficie de la plataforma litoral cuyas características permiten la incorporación de los bioclastos generados a la playa activa. Esta superficie corresponde a la profundidad del límite del transporte significativo (cota h_m del punto M en la Figura 1), con cierto margen en función de la pendiente del sustrato (m_p de la Figura 1); cuando tal superficie es más suave que la del perfil de rotura (m_s en la Figura 1) se puede tomar, a falta de estudios más precisos, la profundidad de producción de bioclastos capaces de ser incorporados a la playa con un incremento del 20 %, es decir, $1.2h_m$. De ser $m_p > m_s$, tal profundidad se limita a la del LTS, es decir a h_m .

e) Debe tenerse en cuenta que, durante el proceso transgresivo, todo el transporte eólico y la formación de sistema dunar asociado a la playa es positivo para el crecimiento de la masa de las formaciones sedimentarias; los volúmenes dunares de arena son removidos por los oleajes al elevarse el nivel del mar, y todo el sistema tiende a elevarse y a crecer, si las pendientes de la plataforma que se va invadiendo lo permiten. Por el contrario, cuando el nivel deviene invariante, como ocurrió desde hace unos 2.500 años, el sistema dunar siguió creciendo a costa de los volúmenes de la playa, y la orilla de ésta retrocediendo. Una muestra de ello la tenemos en la Punta de La Alfabia, que se ve en la fotografía de la Figura 7; esta punta separa las playas de Es Carbó y Ses Roquetes, (T.M. de Ses Salines, Mallorca) y consiste en una duna cortada en un frente de unos 15 m de altura; la formación típica del sistema dunar consta, en primer término de una pequeña línea dunar de escasa cota (foredune), seguida de una zona llana antes de iniciarse el campo de altas dunas. Por lo tanto, la duna cortada por la erosión marina tuvo que generarse a más de un centenar de metros de la orilla. Un análisis del proceso y de los volúmenes de aquel sistema dunar, indica que al final de la transgresión Holocena, las playas mencionadas estaban avanzadas unos 200 m hacia el mar, respecto a la situación actual, y la mencionada punta correspondía a un clásico tómbolo al amparo de la isla de Na Moltona.

f) Todo lo anterior pone de relieve que a nivel constante, el transporte eólico neto hacia tierra es bastante más cuantioso que el de aportación de bioclastos. Para tener una idea aproximada de la producción de carbonatos capaces de ser incorporados a la playa, asumimos una pendiente $m_p = 0.01$, algo inferior a la m_s de una playa de arena fina típica de Baleares; si la

bioclast production capable of being incorporated in the beach with a 20% increase, that is $1.2h_m$. Where $m_p > m_s$, this depth should be restricted to the STL of h_m .

e) During the transgressive process, all wind transport and the formation of the dune system associated with the beach is positive for the growth in mass of sedimentary formations. The sand dune volumes are moved by the waves on the raising of the sea level and the entire system tends to rise and grow if the slopes of the encroached shelf so allow. However, when the level is invariant as has been the case for the last 2,500 years, the dune system continues to grow at the expense of the beach and this leads to the erosion of the shore. An example of this may be seen at the Alfabia Point shown in the photograph in figure 7. This point separates the beaches of Es Carbo and Ses Roquetes (Ses Salines, Majorca) and consists of a dune scarped on one face and some 15 m high. The typical formation of the dune system consists of a small line of foredunes of little height which back on to a flat area followed by an area of high dunes. The dune scarped by marine erosion must then have been formed over a hundred metres from the shore. An analysis of the process and the volumes of this dune system show that at the end of the Holocene transgression, the said beaches were set a further 200 metres out to sea with regards to their current position and that the said point corresponds to a classical tombolo in the lee of the Island of Na Moltona.

f) The above underlines that at a constant level, the net aeolian deposit towards land is far more abundant than the provision of bioclasts. In order to gain an approximate idea of the carbonate production capable of being incorporated within a beach, we shall take a slope of $m_p = 0.01$, somewhat lower than the m_s of a typical fine sand beach in the Balearics. If the beach is one of complete profile (the base of the sandy mass reaching the datum of h_m), accepting the 20% indicated in (d) and for typical h_m values of the fine sand Balearic beaches of 12.5 m, this would then give a 250 m wide production strip which could be incorporated on the beach by wave action and representing some 13.9 litres of sand ($250 \cdot 100 / 1000 \cdot 1.8$, where 1.8 is the density of sand) per lineal metre of shore per year. It is sufficient to observe the quantities of sand accumulating in the sand fences at the Cala Agulla beach after just one wind storm, to appreciate how small this production is when compared with aeolian deposits. Even when

Fig. 7. Vista de la Punta de la Alfabia que, al abrigo de la isla Na Moltana, separa las playas de Es Carbó y Ses Roquetes/View of the Alfabia Point separating the beaches of Es Carbo and Ses Roquetes, in the lee of the Na Moltana island.



playa es de perfil completo (el pie de la masa arenosa alcanza la cota de h_m), aceptando el 20 % indicado en (d) y para valores $h_m = 12,5$ m, típicos de las playas de arena fina en el clima marítimo balear, tendríamos 250 m de anchura de la franja productora capaz de ser incorporada a la playa por los oleajes, lo cual representa unos 13,9 litros de arena ($250 \cdot 100 / 1000 \cdot 1,8$, siendo 1,8 la densidad de la arena) por metro lineal de orilla y año. Baste ver la arena que se acumula en los cañizos de Cala Agulla en un solo temporal de viento, para comprender la escasez de tal aportación, despreciable frente al transporte eólico. Aún asumiendo que el pie de la formación esté a la cota -5 m, como ocurre en Cala Millor y en otras muchas playas con sistema dunar anejo (Es Trenc, Es Carbó, Ses Roquetes, Playa de Palma, Palma Nova, Magaluf, Santa Ponsa, -estas cuatro últimas antes de ser urbanizadas en su trasdós-, etc...), la aportación sería de unos 41,7 litros por metro lineal y año, igualmente despreciable a estos efectos. Con mayor razón si recordamos que aquí hemos utilizado la tasa de producción de $100 \text{ gr} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$, no aplicable a los fondos colonizados por la posidonia, los cuales tienen una tasa mucho menor y son precisamente las más abundantes en las áreas de pie de playa que contemplamos.

g) No se puede olvidar que las comunidades bentónicas que dan origen a los bioclastos extraen sus carbonatos del entorno. Por ello, y por lo anteriormente expuesto, si no existen pérdidas hacia tierra (generalmente alimentando un sistema dunar o rellenando humedales) se admite que la producción de bioclastos es prácticamente mantenedora del volumen de la masa sedimentaria de la playa.

assuming that the base of the formation is set at a datum of -5 m, as is the case of Cala Millor and many other beaches with associated dune systems (Es Trenc, Es Carbó, Ses Roquetes, Palma beach, Palma Nova, Magaluf, Santa Ponsa, - these four latter prior to beachfront development), the contribution would be some 41.7 litres per lineal metre per year, which is equally negligible for these effects. This is even further emphasized when considering that we have employed a production rate of $100 \text{ gr} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$, which is not applicable to sea bottoms populated by Posidonia which have a much lower production rate. These seagrass populations being precisely the most abundant type of sea bottom at the foot of the beaches subject to study.

g) The benthonic populations producing bioclasts extract their carbonates from the surroundings. As such, and in accordance with that indicated above, if there are no losses towards shore (generally feeding a dune system or filling wetlands) it can be taken that the bioclast production practically maintains the volume of the sedimentary mass of the beach.

The need to prevent incorrect diagnosis and public misinformation.

I hope that this article serves of some assistance to those technicians responsible for the study and treatment of beaches, but above all I would like biologists, geologists, geographers and physicists to reflect on the fact that

Necesidad de evitar diagnósticos equivocados, y su difusión a la opinión pública

Espero que este artículo sirva de ayuda a los técnicos responsables del estudio y tratamiento de las playas, pero sobre todo quisiera hacer reflexionar a los biólogos, geólogos, geógrafos y físicos que, en las Baleares, han difundido ideas equivocadas sobre efectos nocivos de las aportaciones de arena, sobre su presunta falta de sostenibilidad, y sobre los graves peligros de las extracciones.

Vaya por delante que lo primero que es preciso garantizar es que en cada actuación el diagnóstico sea correcto y la actuación diseñada la adecuada. Es cierto que en el pasado se han cometido muchos errores por falta de conocimiento de los procesos litorales. También es verdad que en ciertos casos, por presiones económicas transformadas en políticas, se ha pretendido alimentar algunas playas cuyo cuenco receptor carecía de capacidad retentiva. Pero hoy en día no tiene por qué ser así. Puedo asegurar que los grupos ecologistas me tendrán de su lado cuando se plantee una actuación inadecuada, pero quisiera que se diesen cuenta de que su oposición injustificada (por si acaso) ante actuaciones adecuadas y necesarias, aunque difíciles de comprender para los no expertos, no es en absoluto positiva. Dicho esto creo conveniente resaltar varios puntos ya expuestos anteriormente:

La posidonia y la producción de carbonatos

El hecho de que la *posidonia oceánica* merezca la protección, reconocida universalmente, por su contribución a la purificación y transparencia de las aguas y a la proliferación de la fauna marina, no justifica la afirmación de que "las playas de Baleares existen gracias a la *posidonia*". Según los estudios de Canals y Ballesteros los fondos vegetados son los menos productores de bioclastos, por lo que más bien puede decirse que "existen a pesar de la *posidonia*".

La posidonia y la alimentación de playas erosionadas

Las aportaciones de arena a una playa se deben hacer siempre, y así se hacen, en la playa seca. El ajuste del perfil, que significa un avance final en paralelogramo, tarda años en producirse. El estudio de la evolución de la playa tras la aportación de arena a Cala Millor con anterioridad a 1968, revela que el proceso tardó más de 20 años. El consiguiente aumento de cota en menos de tres centímetros al año, en las zonas colonizadas al pie de la playa, no pudo perjudicar a la *Posidonia*, en el supuesto de que tal fanerógama es tuviese justo al pie de tal formación. En cualquier caso es perfectamente controlable el supuesto peligro.

mistaken assumptions have been spread in the Balearics regarding the negative effect of sand provisions, their presumed lack of sustainability and the serious dangers of the extractions.

It goes without saying that the essential aspect to be guaranteed in each action concerning a beach is that a correct diagnosis be made and that all ensuing action duly correspond to this diagnosis. In the past many errors were made due to a lack of knowledge of littoral processes, though it also true that in certain cases economic pressure, and ensuing policy, has pretended to feed certain beaches even though their receiving basins lacked the necessary retaining capacity. This does not have to be the case today. I can assure ecologist pressure groups that I will be on their side when any unsuitable action is raised, but I would like them to realize that their unjustified opposition (if so be) of suitable and necessary actions is entirely negative, even though these actions are difficult to comprehend by anyone who is not an expert in the matter. On saying this I consider it necessary to underline various points indicated earlier on:

Posidonia seagrass and carbonate production

The fact that Posidonia Oceanica requires protection is universally acknowledged on account of its contribution to the purification and transparency of waters and the proliferation of marine fauna. However this does not justify the statement that "Balearic beaches exist on account of the Posidonia". According to the studies of Canals and Ballesteros the seagrass bottoms are the smallest producers of bioclasts and it may then be said that the beaches "exist in spite of the Posidonia".

Posidonia and the nourishment of eroded beaches

Sand contributions to a beach should always be made and this is provided to the dry beach. Any change in profile, indicating a final parallel advance, will take years to occur. The study of the development of the Cala Millor beach after the replenishment of sand prior to 1968, reveals that the process took over 20 years. The ensuing increase in level of less than three centimetres per year in the colonized areas at the shoreface could not harm the Posidonia in the case that this seagrass were set right at the shoreface. In any case this supposed hazard may be perfectly controlled.

Removal areas and operations

The problem of recuperating a beach in the Balearics, when this requires sand replenishment, may

Las zonas y las operaciones de extracción

El problema de recuperación de una playa de Baleares, cuando lo que precisa es aportación de arena, se puede resolver con un volumen de sedimento que puede variar entre varias decenas de miles de metros cúbicos y unas pocas centenas. Globalmente no cabe pensar en una cantidad que exceda del millón, cubriendo las necesidades para decenas de años, si no siglos. El volumen de arenas relictas es del orden de varios miles de millones de metros cúbicos. Por lo tanto no existe razón para plantear sin más una oposición a una operación de este tipo, desde el punto de vista de los volúmenes necesarios. Lo que si es preciso es un estudio de la zona de extracción, y un control adecuado de la operación, para evitar daños a las comunidades bentónicas próximas, si existen. Según los estudios realizados con posterioridad a varias extracciones realizadas en Mallorca, la biodiversidad se recupera rápidamente, e incluso aumenta gracias a los sedimentos finos que se escapan generalmente del material dragado. Los temores planteados respecto a la pesca (caso del chanquete, por ejemplo), han resultado injustificados.

Sostenibilidad de las aportaciones de arena

Crear que la arena aportada a las playas se pierde porque el aumento inicial de superficie de playa seca disminuye posteriormente, es un claro error de inexperto. Si una vez producido el ajuste del perfil de equilibrio, el aumento de superficie es el correspondiente a las características del perfil de equilibrio, no hay por que temer pérdida alguna de sedimento. Es muy frecuente la afirmación de que las alimentaciones de las playas son insostenibles, y lo extraño es que se hagan en Mallorca, donde son prueba palpable de lo contrario tantas playas: Playa de Palma, Can Pera Antoni, Cala Mayor, Es Carregador, Palma Nova, Son Matias, Magaluf, Santa Ponsa, Els Morts, Paguera, Palmira, cuyo comportamiento, sin pérdidas hacia el mar, es excelente. Tan sólo Santa Ponsa presenta problemas en sentido contrario, ya que, por su gran anchura y la inexistencia de muro alto de paseo marítimo, induce transporte eólico hacia tierra que requiere medidas paliativas. El caso de la Bahía de Alcudia es muy diferente, como se ha dicho, y la solución de sus problemas no está en una aportación externa de sedimento.

Diagnóstico correcto: ¿Acción antrópica o proceso natural?

Como ya se ha repetido, es un grave error confundir el proceso natural erosivo que aqueja a muchas playas, con los presuntos efectos de las actuaciones del hombre. La construcción en primera línea del trasdós de la playa, y

be solved by a volume of sediment which may vary between tens of thousands or just a few hundred cubic metres. It is impossible to consider quantities over a million to cover the needs of decades, if not centuries. The volume of relict sands is in the region of thousands of millions of cubic metres. While there is no reason to oppose an operation of this type in itself, it is necessary to make a study of the removal area and to suitably control the operation to prevent damage to the flora and fauna in the area, where these exist. According to studies made after several removal operations of this nature carried out in Majorca, the biodiversity recovered rapidly and even increased on account of the fine sediment that generally escapes from the dredged material. The concerns raised about fishing (this being the case of whitebait) have turned out to be unjustified.

Sustainability of sand provisions

The belief that the sand used to nourish a beach is lost because of the subsequent reduction following the initial increase of the drying beach, is a common error among non-experts. If the increased surface corresponds to the characteristics of the equilibrium profile, following the adjustment to the same, there is no reason to fear any loss of sediment. It is frequently said that beach nourishment is unsustainable and it is surprising to hear this in Majorca where there is so much proof to the contrary at the beaches of Palma, Can Pera Antoni, Cala Mayor, Es Carregador, Palma Nova, Son Matias, Magaluf, Santa Ponsa, Els Morts, Paguera and Palmira which have performed excellently without losses to the sea. Only Santa Ponsa poses problems in the opposite sense as on account of its breadth and the lack of a sea wall to the promenade, this induces aeolian deposits on shore which require remedial measures. The case of the Alcudia bay is very different, as indicated above, and the solution to its problems does not lie in the external provision of sediment.

Correct diagnostic: Human intervention or natural process?

As indicated above, it is a serious error to confuse the natural erosive process affecting many beaches with the presumed effects of human intervention. Beach front development, and often excessive development, has been an obvious error but in terms of the stability of beaches this development is harmless or even favourable as it helps prevent losses caused by wind transport towards land.

además en exceso, ha sido un error evidente, pero respecto a la estabilidad de las playas es más bien inocua o favorable, al haber contribuido a cortar las pérdidas del transporte eólico hacia tierra.

Colofón

Cuando ya había terminado el presente artículo, e incluso interesada su publicación en esta *Revista de Obras Públicas*, llegó a mis manos el suplemento "Brisas" del periódico local "Última Hora" (sábado, 17-06-06), en cuya portada se destaca el mal augurio para el turismo balear con el título "La arena está en peligro" y la aclaración "Nuestras playas de blanca y fina arena, comparable a las del Caribe, serán un recuerdo si el hombre no aprende a convivir con ellas sin someterlas". Se trata de una muestra de lo que he querido rebatir: el temor divulgado en base a ideas totalmente erróneas. Por ello me veo obligado a rebatir las tesis que se sustentan en las nueve primeras páginas de tal revista. La dura crítica que debo hacer no va contra el periódico ni contra su suplemento "Brisas", ya que es de alabar la preocupación por los problemas de las playas. Por el contrario, las críticas se refieren a las opiniones vertidas por el geógrafo J.S., con quien ya he tenido fuertes discusiones, y contra quienes apoyan la idea de que a su titulación académica une la de "especialista en geomorfología litoral", si como tal se entiende el conocimiento de lo que es una playa, su génesis y la de los sistemas dunares finis o post Holocenos ligados a ella. A continuación reproduciré en cursiva algunos párrafos y, tras la cita, el comentario.

"El punto de partida para entender qué es una playa se aleja, y mucho, del concepto que la generalidad tenemos de ella."

Esta afirmación es muy cierta. Sin embargo es este geógrafo quien más lejos está del concepto ajustado a la realidad. El texto continúa poniendo en su boca lo siguiente:

"Son espacios muy frágiles y dinámicos y su preservación depende de la posibilidad que tengan de adaptarse a los cambios que provoca el oleaje y de conservar la reserva de arena que forman las dunas en su parte posterior"

En primer lugar, las playas naturales no son frágiles bajo la acción de los oleajes. De ser así, no existirían. Sin embargo, el transporte eólico, cuando el terreno posterior es llano o suave, da una resultante neta hacia tierra y genera un sistema dunar: evidentemente, si existe sistema dunar asociado, ello ha producido en el pasado y produce actualmente el retroceso de la playa, pues los volúmenes de arena de las dunas, decenas de veces superiores a la masa actual de tal playa, proceden de ella. Así, la tendencia natural de este tipo de playa es a desaparecer lentamente, si

Closing note

*When the present article had been completed and was ready for publication in this *Revista de Obras Públicas*, I received a copy of the supplement "Brisas" from the local newspaper "Última Hora" (Saturday, 17.06.06). The front cover of the magazine carried a headline predicting a poor future for tourism in the Balearics: "Sand in danger" and the sub-title "Our fine white sandy beaches, comparable to those in the Caribbean, will be just a memory if we do not learn to coexist alongside these beaches without subjecting them to our will". This is yet another example of what I have attempted to dissuade and, namely, the publication of fears based on totally erroneous ideas. I therefore feel obliged to refute the theory behind the article extending over the first nine pages of the magazine. The strong criticism which has to be made does not go against the newspaper or the "Brisas" supplement, as their concern for the problems affecting beaches can only be praised. However, the criticism is directed against the opinions given by the geographer J.S., with whom I have already had heated debate, and against those who maintain that their academic qualification automatically ensures that they are "specialists in littoral geomorphology" and that they, subsequently, have knowledge of what a beach is, its formation and the associated dune systems formed at the end of the Holocene period or after. A number of paragraphs from this supplement are quoted below and followed by the pertinent comments.*

"The starting point to comprehend what forms a beach is very far removed from the general concept we have of the same".

This statement is very true. However, it is the geographer who is more further removed from the concept of reality. The text then continues by saying:

"These are very fragile and dynamic spaces and their conservation depends on their capacity to adapt to the changes caused by wave action and to conserve the sand reserves forming the dunes on the backshore"

First of all, natural beaches are not fragile under wave action and they would not exist if this were otherwise. However, when the backshore is flat or gently sloping, the aeolian transport provides a net resultant towards land and generates a dune system. Where an associated dune system exists, this has been produced in the past and it currently leads to receding of the beach, as the sand volumes of the dunes, tens of times greater than the actual mass of the beach, proceed from the same. As such, the

no es alimentada artificialmente o se toman otras medidas. El problema se acusa con varios síntomas:

- a) La reducción de la profundidad del pie de la formación arenosa, muy por debajo del LTS (la h_m correspondiente al clima marítimo local y al tamaño del sedimento, Figura 1), de la cual ya se han dado numerosos ejemplos.
- b) El afloramiento del sustrato rocoso en algunos tramos o proximidad de la orilla (casi todas las playas baleares de este tipo).
- c) El retroceso de la orilla si hay referencias fijas (caso de Es Trenc de que hablaremos más adelante).
- d) El frente erosivo de alguna duna alta (caso de la Punta de la Alfabia).
- e) La clara constatación del transporte de arena hacia el sistema dunar (caso de Cala Agulla, que excepcionalmente no acusa el síntoma "a") o hacia la zona urbana actual (caso de Santa Ponsa).
- f) El aterramiento por la arena del tronco de algunos pinos existentes en lo alto de las dunas, en varios metros (caso de la playa de Ses Salines, en Ibiza).

Conviene señalar que estamos hablando de sistemas dunares cuya arena tiene una naturaleza y un tamaño prácticamente idéntico al de la playa seca actual. El sistema dunar se podría considerar la gran reserva de las playas, si estamos dispuestos a devolver la arena a la playa (seca y sumergida). Si no es así, el transporte eólico seguirá superando con creces (decenas de veces) la producción de bioclastos bentónicos. El problema es que los sistemas dunares, que no han sido destruidos, constituyen evidentes bienes de interés ecológico y paisajístico. Su preservación aconseja prescindir de sus arenas para la conservación de las playas, pero inevitablemente será preciso recurrir a los yacimientos relictos en el fondo del mar, cuya enorme abundancia se ha puesto de relieve anteriormente. De lo contrario, el proceso natural dará la razón a una visión pesimista de las playas vírgenes con sistema dunar. También puede ser aconsejable adoptar medidas que limiten tal proceso, pero la evaluación del impacto paisajístico y del coste económico debe preceder a la elección de alternativas en cada caso concreto.

Más adelante se dice: "Una playa natural tiene una parte sumergida, en cuyas praderas de posidonia se genera la arena, y una parte emergida, aquellas dunas posteriores que permiten, en caso de temporal, que la playa se pueda volver a equilibrar con su arena."

Respecto a la función de la posidonia, baste recordar lo ya expuesto: los fondos vegetados son los menos productores de bioclastos, tal como muestran los estudios de Canals y Ballesteros (1997), y por tanto, si la posidonia no

natural tendency of this type of beach is to slowly disappear if it is not artificially nourished or if other measures are not taken. The problem is reflected by other symptoms:

- a) A reduction of the depth of the base of the sandy formation, well below the STL (the h_m corresponding to the local maritime climate and the sediment size, Figure 1), for which we have already given numerous examples.*
- b) The surface expose of bare rock in certain sections or close to the shore (almost all beaches in the Balearics have these types of outcrops).*
- c) The receding of the shore where there are fixed references (the case of Es Trenc which shall be referred to later on).*
- d) The erosive face of a high dune (the case of the Punta de la Alfabia).*
- e) Clear evidence of the transport of sand towards the dune system (the case of Cala Agulla, which occasionally is not reflected by symptom "a") or towards the current built-up area (the case of Santa Ponsa).*
- f) The trunks of pine trees buried in several metres of sand at the tops of the dunes (case of the Ses Salines beach in Ibiza).*

It should be noted that we are referring to dune systems formed in sand practically identical in nature and particle size to that of the current dry beach. The dune system may be considered as a large reserve of the beaches, if we wish to return the sand to the beach (dry and submerged). Where this is not the case, wind transport will continue to exceed (by tens of times) the production of benthonic bioclasts. The problem is that those dune systems which have not been destroyed, constitute evident items of interest to the ecology and landscape. The conservation of these dunes advises against the use of their sands for the replenishment of the beach, and it will inevitably be necessary to resort to the enormous abundance of the relict beds at the bottom of the sea as indicated earlier. If this is not the case, natural processes will add weight to the pessimistic view of virgin beaches with dune systems. It may also be advisable to adopt measures which restrict this process, but an evaluation of the impact to the landscape and the cost entailed should prevail when selecting any potential alternative.

The article goes on to say: "A natural beach has a submerged area with Posidonia meadows which generate sand and an uncovered area with dunes at the backshore which, in the case of storms, allow the beach to rebalance its sand".

fuese invasora frente a los corales, las comunidades algales fotófilas y el maërl, la producción de bioclastos sería mucho mayor. Respecto al supuesto efecto de reserva de las dunas, es cierto que en las playas vírgenes, como Es Carbó, parte de la arena del sistema dunar se ha reintegrado a la playa, pero desgraciadamente ésta sigue retrocediendo por ser mayor la cantidad de arena que se incorpora al sistema dunar por transporte eólico, neto hacia tierra, en otros puntos de aquel conjunto de playas. Dicho con otras palabras: esta reintegración, aunque producida por los oleajes (síntoma), no es consecuencia de un proceso erosivo atribuible a la acción marina (error de diagnóstico), sino a la eólica en el conjunto de la playa seca (enfermedad). Y el texto continúa:

"Si estos excedentes de arena no existen porque tienen un paseo de cemento, una construcción... con el tiempo el sedimento se agota y la erosión del oleaje se agudiza."

No hace falta repetir que no entramos en la cuestión del indebido consumo del dominio público para paseos o edificaciones, que por otra parte va contra la vigente Ley de Costas. La construcción a costa de sistemas dunares, como ha ocurrido en tantos lugares (Playa de Palma, grandes tramos de la Bahía de Alcudia, Palma Nova, Magaluf, Santa Ponsa, Paguera, Camp de Mar, etc.) ha sido en grave detrimento del paisaje. Sin embargo, las barreras que con el "cemento de los paseos marítimos" y las edificaciones se han formado contra el viento, han cortado las pérdidas por transporte eólico hacia el sistema dunar y, de esta forma, las playas alimentadas artificialmente (exceptuando las de la Bahía de Alcudia, por las razones ya expuestas) se mantienen perfectamente. Con la última frase volvemos a lo de siempre: *"la erosión del oleaje se agudiza"*, es decir: el oleaje, el gran destructor de las playas, ya no tiene la oposición del sistema dunar. Nada más lejos de la realidad.

Hablando del uso de la playa se dice: *"de acuerdo con los estudios realizados por el laboratorio de Ciencias de la Tierra de la Universidad, por término medio cada persona que va a la playa se lleva en los zapatos, bolsas, toallas... unos treinta gramos de arena. (...)En Es Trenc, la playa natural más simbólica de Mallorca con una extensión de 93.000 metros cuadrados recibe de término medio 5.700 visitantes al día. Esto significa que cada día pierde unos 170 kilogramos de arena de término medio. Servera explicó que uno de los ejemplos más evidentes de la pérdida de sedimentos de Es Trenc lo encontramos en las construcciones de vigilancia y defensa que se construyeron en la década de 1940 en la arena. Por aquel entonces, hace apenas 65 años, estaban prácticamente enterradas en la arena, hoy, en*

With regards to the function of the Posidonia seagrass, it suffices to refer to that indicated earlier and, namely, that the seagrass bottoms are the smallest producer of bioclasts, as demonstrated by the studies of Canals and Ballesteros (1997) and that, subsequently, in those cases where the seagrass has not populated the corals, the photophile algal communities and the maërl, the bioclast production will be much greater. With regards to the supposed dune reserve effect, it is true that in virgin beaches, such as El Carbo, part of the sand from the dune system has been reincorporated within the beach, though unfortunately the beach continues to recede as the quantity of sand incorporated in the dune system by aeolian deposit is greater at other points of this group of beaches. In other words, this reincorporation while produced by wave action (symptom) is not a result of the erosive process attributed to marine action (incorrect diagnosis) but, instead, down to wind action throughout the drying beach (condition). The text continues:

"If these sand surpluses do not exist due to the construction of concrete promenades... the sediment will eventually run out and the erosion by wave action will be more severe".

We shall not enter the question of undue public access or development which would go against the current Coast Act. Construction at the expense of dune systems, which has occurred in so many places (Palma beach, large sections of the bay of Alcudia, Palma Nova, Magaluf, Santa Ponsa, Paguera, Camp de Mar, etc.) has been very detrimental to the landscape. However the wind barriers, posed by the "concrete promenades" and buildings, have prevented losses by wind transport towards the dune system and, in this way, the artificially fed beaches (with the exception of those in the bay of Alcudia, and for the reasons indicated above) have been perfectly maintained. With the final statement to the effect that "erosion by wave action will be more severe" we go back to where we started and, namely, that wave action, the great destroyer of beaches, no longer has the opposition of the dune system. This could not be further from the truth.

When referring to the use of the beach, the article states: "in accordance with studies carried out by the university laboratory of Earth Sciences, on average each person going to the beach carries away in their shoes, bags and towels ... some thirty grams of sand. (...)The Es Trenc beach, the most symbolic natural beach in Majorca, with an extension of 93,000 square metres, receives an average 5,700 visitors per day. This then implies that the beach loses around 170 kilos of sand each day. Servera explained that one of the clearest examples of the loss of sediment on the Es Trenc beach may be seen in the coastguard constructions built on the

cambio, sobresalen al descubierto y casi lindando con el agua”.

Aquí tenemos una muestra de cómo la falta de cuantificación de las propias afirmaciones de J.S. le conduce a una interpretación de los hechos errónea y a un diagnóstico equivocado. Si asumimos 30 años de utilización masiva de Es Trenc (en realidad esta playa hace unos 30 años era prácticamente desconocida por el turismo) y 90 días al año de uso (lo cual es probablemente exagerado), tendríamos un total de 255 metros cúbicos de arena, los cuales, repartidos en una playa de unos 2000 metros de longitud, equivale a unos 0,125 metros cúbicos por metro lineal. Si contamos con una altura de 7 metros para el paralelogramo de avance o retroceso, se está hablando de un retroceso total (medio a lo largo de la playa) de 1,5 centímetros. Es evidente que la causa del retroceso de la playa de Es Trenc, en unos 20 metros en 65 años, no se debe a la acción antrópica. Sólo el transporte eólico hacia el sistema dunar explica tal retroceso. Si el geógrafo “especialista en geomorfología litoral” se hubiese molestado en cuantificar la acción antrópica evaluada por el laboratorio de Ciencias de la Tierra, se habría dado cuenta de que es absolutamente ridícula frente al proceso natural detectado por él mismo en Es Trenc. Frente a una extracción involuntaria de los usuarios de unos 255 metros cúbicos en toda la historia reciente, el retroceso de la playa habido en los últimos 65 años representa del orden de unos $2000 \cdot 20 \cdot 7 = 280000$ metros cúbicos.

Junto al texto que comentamos, aparece una fotografía que muestra el efecto de retención de un cañizo, cuyo pie dice así: “Sistema de regeneración ‘natural’. En Cala Agulla se lleva a cabo una experiencia de bajo impacto consistente en la instalación de unas barreras de cañizo, para evitar el desplazamiento de la arena. Fue un éxito.” Es extraño que esta experiencia no le abriese los ojos a J.S., al ver la enorme capacidad del transporte eólico hacia el sistema dunar. Por otra parte, llamar *experiencia de bajo impacto* y *sistema de regeneración natural* a lo que no es más que una vieja manera de minimizar el transporte eólico no deseado, es un eufemismo, aunque al geógrafo “especialista en geomorfología litoral” le pareciese el invento del siglo.

No quiero extenderme más. Pido excusas al lector por el tono ácido de los comentarios, pero el tema es muy grave, ya que ha conducido a la divulgación de ideas, contrapuestas a la realidad, que ponen a los grupos ecologistas y a gran parte de la opinión pública en contra de las necesarias actuaciones para el cuidado de nuestras playas Baleares. Y ello por ignorancia sobre los complejos procesos litorales. ♦

beach in the 40’s. Just 65 years ago these installations were almost buried in the sand and now they are completely exposed and almost at the beach face”.

Here we have an example of how the lack of quantification in the statements made by J.S leads to a misinterpretation of the facts and an incorrect diagnosis. If we assumed that the Es Trenc beach had attracted mass tourism over the last 30 years (even though the beach was practically unknown by tourists 30 years ago), we would then obtain a total of 225 cubic metres of sand which distributed over a 2000 metre long beach, would then be equivalent to 0.125 cubic metres per lineal metre. If we consider a height of 7 metres for the advancing or receding parallelogram, we are then talking about a total erosion (measured along the beach) of 1.5 centimetres. It is evident that the reason for the receding shoreline of the Es Trenc beach, of some 20 metres in 65 years, is not down to human activity and only wind transport towards the dune system would explain any such erosion. If the geographer and “specialist in littoral geomorphology” had taken the time to quantify the human action evaluated by the Earth Science laboratory, he would have realized how totally ridiculous this was when compared to the natural process detected by himself in Es Trenc. In comparison with the involuntary removal of sand by beachgoers of some 255 cubic metres throughout its entire recent history, the receding shoreline over the last 65 years represents around $2000 \cdot 20 \cdot 7 = 280,000$ cubic metres.

In the article there is a photograph which shows the retaining effect of a fence and which bears the caption “‘Natural’ regenerating system. A low impact system installed in Cala Agulla using fences to prevent the displacement of sand. The programme was a success”. It is strange that this programme did not make J.S more aware of the enormous capacity of aeolian transport towards the dune system. Furthermore, this traditional form of restricting undesirable drift is referred to as “a low impact and natural regenerating system” which is nothing more than a euphemism, though as far as euphemisms go the term geographer “specialist in littoral geomorphology” is difficult to surpass.

I do not wish to go on. I apologise to the reader for the harsh tone of these comments, but the matter is very serious as it is one that has given rise to misleading ideas voiced by ecologist groups and others opposing the necessary action required by the beaches in the Balearics. This all on account of a lack of knowledge of the complex littoral processes. ♦

Referencias/References

-AHRENS, J.P. AND TITUS, M.F., 1985. "Wave runup formulae form smooth slopes". Journal of Watrway, port, Coastal and Ocean Engineering. Vol III n.1, jean: pp. 128-133.

-ANTIA, E.E., 1996. "Rates and Patterns of migration of shoreface-connected sandy Ridges Along the southern North Sea coast". JOURNAL OF COASTAL RESEARCH, 12(1).

-BATTJES, J.A., 1974. "Surf similarity". Proceedings 14 th Coastal Engineering Conference: pp. 466-480.

-CANALS, M., Y BALLESTEROS, E., 1997. "Production of carbonate particles by phytobenthic communities on the Mallorca-Menorca shelf, northwestern Mediterranean Sea". Deep-Sea Research II, Vol.44, Nº. 3-4, pp. 611-629.

-CESNUT, CH.B. and GALVIN, C.J. Jr., 1974. "Lab. Profile and reflection Changes for H/L=0.02". Proceedings 14 th Coastal Engineering: pp. 958-977.

-CLARK, J. A., FARREL, W. E., & PELTIER, W. R., 1978. "Global changes in Postglacial Sea Level: A Numerical Calculation". Quaternary Research, V. 9. pp. 265.-287.

-CUERDA-BARCELÓ, J., 1975. "Los tiempos Cuaternarios en las Baleares". Gráficas Miramar. Palma de Mallorca. 350 pp.

-DILLENBURG, S.R.; ROY, P.S.; COWELL, P.J.; and TOMARELLI, L.J., 2000. "Influence of antecedent topografy on coastal evolution as tested by the shoreface traslation-barrier model (STM)". JOURNAL OF COASTAL RESEARCH, 12(1).

-EITNER, V., 1996. "Morphological and sedimentological development of a tidal inlet and its catchement area (Otzumer balje, southern North Sea)". JOURNAL OF COASTAL RESEARCH, 12(1).

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1973a. "Aplicación de los principios del método de los Planos de Oleaje al estudio de los movimientos de arenas". Revista de Obras Públicas, julio: pp. 643-664.

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1973b. "El rozamiento y la estabilidad de las playas". R.O.P., agosto: pp. 777-788.

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1974. "Reflexión del oleaje sobre la playa". R.O.P., diciembre: pp. 869-882.

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1981. "Condiciones de la estabilidad de las playas. Análisis de la función polar de los salientes". R.O.P., enero: pp. 29-48.

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1982a. "Algunas consecuencias y aplicaciones del conocimiento de la función polar de los salientes". R.O.P., julio: pp. 463-478.

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1982b. "Afecciones por y sobre los procesos litorales". I Curso sobre Puertos e Instalaciones Deportivas. Palma de Mallorca, octubre. (Servicio de Publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos).

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1983. "Evolución histórica de las formaciones arenosas del Maresme y deltas del Besos y del Llobregat". Estudio previo para el diseño de las playas de levante de Barcelona, INYPSA. (MOP y Ayuntamiento de Barcelona. No publicado).

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1984a. La forma de una playa cuando existe una dirección claramente predominante de los oleajes". R.O.P., enero: pp.15-24.

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1984b. "Laspendientes de la playa y el tamaño de la arena". R.O.P., diciembre: pp. 943-960.

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1985a. "Discusión sobre el artículo anterior". R.O.P., marzo: pp. 195-198.

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1985b. "Littoral Processes on the Maresme Coast: Man's Impact or Natural effects?". Thalassas, Revista de Ciencias del Mar, Vol. 4, Nº 1, 1986, (Proceedings/Symposium on: Man's Impact on Coastal Environment, Barcelona, 1985).

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1986a. "Las pendientes de la playa y el tamaño de la arena (2)". R.O.P., agosto: pp. 601-612.

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1986b. "Un model de perfil de platja". Espais nº2 (Generalitat de Catalunya): pp. 71-78.

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1989a. "Perfil de la playa y tamaño de la arena (3)". R.O.P., marzo: pp. 161-175

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1989b. "Ingeniería de Costas: soluciones duras o blandas versus condiciones genéticas". R.O.P., mayo: pp. 341-357.

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1990. "El perfil de la playa y sus factores de equilibrio". R.O.P., mayo: pp. 35-42.

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1992. "Investigación sobre la zona de reflexión. Confirmación de una teoría". R.O.P., diciembre: pp. 21-32.

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 1993. "Análisis tridimensional de una playa". JORNADAS ESPAÑOLAS DE INGENIERÍA DE COSTAS Y PUERTOS (III).

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 2001. "Efectos de la transgresión Holocena en la génesis de las actuales masas sedimentarias litorales". JORNADAS ESPAÑOLAS DE INGENIERÍA DE COSTAS Y PUERTOS (VI).

-GARAU-SAGRISTÁ, C., 2005. Estudio de la playa de Cala Agulla. su génesis y sus actuales problemas". Demarcación de Costas en lles Balears. (No publicado).

-GOURLAY, M.R., 1980. "Beaches: Profiles, processes and permeability". Proceedings 17 th Coastal Engineering, febr.: pp. 1320-1339.

-GRAAFF, J. VAN DE, 1986. "Probabilistic design of dunes; an example from the Netherlands". Coastal Engineering, febr., pp. 479-500.

-GRANJA, H.M. and DE GROOT, T.A.M., 1996. "Sea-level rise and neotectonism in a Holocene coastal environment at Cortegaça Beach (NW Portugal): A case of study". JOURNAL OF COASTAL RESEARCH, 12(1).

-INMAN, K., 1983. "Application of coastal Dynamics to the Reconstruction of Paleocoastlines in the vicinity of La Jolla, California". Quaternary Coastlines and Marine Archaeology. Academic Press, pp. 1-49

-IRIBARREN, R., 1954. "Obras marítimas. Oleajes y diques". Dossat, S.A.

-JONSON, D.L., 1983. "The California Continental Borderland: Landbridges, watergaps and biotic dispersals". Quaternary Coastlines and Marine Archaeology. Academic Press: pp. 481-527.

-KHUN, T. S., 1962. "The Structure of Scientific Revolutions". (Trad. de A. Cotín, México, FCE-Breviarios, 1992).

-KRIEBEL D.L. and DEAN, R.G., 1984. "Beach and dune response to severe storms" Proceedings 19 th Coastal Engineering, Houston

-KRIEBEL, D.L. and DEAN, R.G., 1985. "Numerical simulation of time-dependent beach and dune erosion". Coastal Engineering, sep.: pp. 221-245.

-MÖRNER, N., 1971. "Eustatic changes during the last 20000 years and a metod of separating the isostatic and eustatic factors in an uplifted area". Palaeogeografy. Palaeoclimatology. Palaeoecology, pp. 153-481.

-PSUTY, N.P. and MOREIRA, M.E.S.A., 2000. "Holocene sedimentation and sea level rise in the Sado Estuary, Portugal". JOURNAL OF COASTAL RESEARCH, 16(1).

-RASCH, M., 2000. Holocene sea level changes in Disko Bugt, West Greenland". JOURNAL OF COASTAL RESEARCH, 16(2)

-ROY, P. S. & STEEPLE'S, A. W., 1980. "Geological controls on processes-response, S. E. Australia". Proceedings 19th. Coastal Engineering Conference, pp. 913-933.

-SCHWAB, W.C.; THIELER, E.R.; ALLEN, J.R.; FOSTER, D.S., SWIFT, B.A.; and DENNY, J.F., 2000. "Influence of inner-continental shelf geologic framework in tehe evolution and behavior of the barrier-island system between Fire Island Inlet and Shinnecock Inlet, Lon Island, New York". JOURNAL OF COASTAL RESEARCH, 16(1).

-SCHWAB, W.C.; RODRIGUEZ, R.W.; DANFORTH, W.W.; and GWEN, M.H., 1996. "Sediment distribution on a storm-dominated insular shelf: Luguillo, Puerto Rico, U.S.A." JOURNAL OF COASTAL RESEARCH, 12(1).

-SCRUTTON, C. T., 1978. "Periodic Growth Features in Fossil Organisms and the Length of Day and Month". Tidal Friction and the Earth's Rotation I. Ed. by Brosche/Sündermann. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1978, p. 154-196.

-SIMPSON, G. G., 1983. "Fósiles e historia de la vida". Editorial Labor, 240 pp.

-SULIVANOV, A.O., 1996. "Morphological changes on Russian Coasts under Rapid sea-level changes: Examples from Holocene History and implications for the future". JOURNAL OF COASTAL RESEARCH, 12(1).

-SUNAMURA, T. and OKAZAKI, S., 1996. "Breaker types and wave reflection coefficient: laboratory relationships". JOURNAL OF COASTAL RESEARCH, 12(1).

-SWART, D.H., 1974. "A schematisation of onshore-offshore transport". Proceedings 14 th Coastal Engineering: pp. 884-900.

-THIELER, E.R.; PILKEY, O.H. JR; YOUNG, R.S.; BUSCH, D.M.; and CHAI, F., 2000. "The use of mathematical models to predict beach behavior for U.S. Coastal Engineering: A critical review". JOURNAL OF COASTAL RESEARCH, 16(1).

-TOOLEY, M. J., 1978. "Sea-Level changes in north-west England during the FLANDRIAN STAGE". Oxford Research Studies in Geog. Clarendon Press, Oxford, 232 pp.

-U.S. Army, C.E.R.C. 1973-1977-1984. "SHORE PROTECTION MANUAL".

-VELLINGA, P., 1984. "A tentative description of universal erosion profile for sandy beaches and rock beaches. Coastal Engineering, 8: pp. 177-188.