

Comment on Avila-Serrano *et al.* “Sediment variations and littoral transport at La Victoria Beach, Cádiz, Spain”

Comentario sobre Avila-Serrano *et al.* “Variaciones sedimentarias y transporte litoral en Playa de la Victoria, Cádiz, España”

JJ Muñoz-Pérez^{1*}, G Gómez-Pina

¹Demarcación de costas, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino
Marianista Cubillo número 7, 11071 Cádiz, España.

* E-mail: juanjose.munoz@uca.es

The article published by Avila-Serrano *et al.* (2009) presents an interesting analysis of the sediment dynamics at Victoria Beach based on a series of samples taken together with fortnightly topographic profiles between February and October 2004. The authors of this comment, directors of this beach’s regeneration and monitoring programs over the past 20 years, believe some observations are relevant. We aim to provide a series of constructive comments that complement Avila-Serrano *et al.*’s commendable study.

We will begin, for anecdotal purposes only, with the beach’s name. It should not be referred to as “La Victoria Beach” since it does not commemorate a victory of any kind. Originally called Sur Beach, its current name is attributed to a beach resort inaugurated in 1907 and called Reina Victoria (see fig. 1) in honor of Princess Victoria Eugenie of Battenberg, the queen consort of King Alfonso XIII of Spain.

In the Introduction (p. 260), the statement “During the 1990s, these projects yielded annual investments of €63,158.00 (Muñoz-Pérez *et al.* 2001)” is erroneous. The

El artículo de Avila-Serrano *et al.* (2009) presenta un interesante estudio sobre la dinámica sedimentaria en la Playa Victoria, basado en una serie de muestras tomadas junto con unos perfiles topográficos quincenales en el periodo de febrero a octubre de 2004. Los autores de esta nota, ingenieros directores de los proyectos y obras de regeneración y monitorización de esta playa durante los últimos 20 años, creemos necesaria una serie de puntualizaciones. Nuestra intención es proporcionar una serie de comentarios constructivos que complementen el meritorio trabajo de Avila-Serrano *et al.*

En primer lugar, y como anécdota simplemente, comenzaremos con el nombre de la playa. No debería denominarse “Playa de la Victoria”, pues no rememora el triunfo en ninguna batalla. Antes denominada playa del Sur, su nombre actual parece provenir del de un balneario inaugurado en 1907 y al que se le bautizó como “Reina Victoria” (ver fig. 1) en homenaje a Victoria Eugenia de Battenberg, esposa de Alfonso XIII.

Se ha deslizado una errata en la Introducción, cuando se comenta que “En la década de 1990 se realizaron inversiones de €63,158.00 anuales para frenar o revertir estos procesos (Muñoz-Pérez *et al.* 2001)”. El dato real es de unos 3.6 M€/año, aumentado hasta los 6M€/año en el periodo 2005–2009 debido al incremento en los costes de construcción.

Más interesante desde un punto de vista técnico resulta la revisión de las afirmaciones que se hacen sobre las playas con laja rocosa (p. 260). Por ello, nos permitimos incluir algunos puntos que contribuyan a aclarar el funcionamiento morfosedimentológico de este tipo de playas apoyadas en un estrato rocoso de acuerdo con Muñoz-Pérez *et al.* (1999a). Empezaremos enfatizando la importancia de la geología subyacente. Muchos autores han estudiado diferentes fenómenos relacionados con la presencia de una laja rocosa en la playa: fluctuaciones en el nivel freático (Karunarathana y Tanimoto 1995), *surf beat* (Nakaza y Hino 1990), flujo de sedimento (Roberts 1980), *set-up* (Symonds *et al.* 1995). Sin embargo, debemos destacar la investigación referente a la rotura del oleaje y la consiguiente atenuación de su energía sobre una



Figure 1. Postcard (*circa* 1907) taken shortly after the inauguration of the Reina Victoria beach resort.

Figura 1. Postal (*circa* 1907) poco después de la inauguración del Balneario Reina Victoria.

correct fact is that €3.6M/year, increasing to €6M/year during the period 2005–2009, have been invested in regeneration projects due to the increase in construction costs.

More interesting from a technical point of view are the statements concerning beaches with rocky platforms (p. 260). We would like to present a few observations that contribute to the understanding of the morpho-sedimentological function of reef-protected beaches according to Muñoz-Pérez *et al.* (1999a). We will start by stressing the importance of the underlying geology. Several authors have studied different phenomena related to the presence of a rocky platform: fluctuations in phreatic level (Karunarathana and Tanimoto 1995), surf beat (Nakaza and Hino 1990), sediment flux (Roberts 1980), set-up (Symonds *et al.* 1995). Also important is the research associated with breaking waves and the consequent effect of their energy on submerged horizontal platforms (Gerritsen 1980, Nelson 1994, Gourlay 1994, Hardy and Young 1996, González *et al.* 1999, Eversole and Fletcher 2003). According to Horikawa and Kuo (1966), the relation between local wave height and mean depth decreases from a value of 0.8 at the initial break point to an almost constant value (around 0.5) closer to shore. Fredsoe and Deigaard (1992) presented a mathematical expression for this phenomenon:

$$\frac{H}{h_r} = 0.5 + 0.3 \cdot \exp\left(-0.11 \frac{l}{h_r}\right)$$

where H is wave height, h_r is the depth over the rocky platform, and l is the distance covered by the platform starting from its external edge (see fig. 2). Thus, the energy (E) attained by the base of a reef-protected beach profile is much less than that attained if that platform did not exist (remember that E is proportional to H^2). A good approximation to the profile shape can be obtained using Dean's (1977) formula corrected for rocky platforms by Muñoz-Pérez *et al.* (1999a):

$$h = A_{rp} x^{2/3}$$

where A_{rp} is the Dean parameter for reef-protected beaches; $A_{rp} \approx 1.48 A$ and $A = 0.51 \omega^{0.44}$, where ω is the sand grain fall velocity, which for a mean diameter of D_{50} is:

$$\omega = 273 D_{50}^{1.1}$$

The rocky platform at Cádiz is indeed composed of calcareous sandstones and conglomerates of Pliocene age (Gutiérrez-Mas *et al.* 2003), known locally as “oyster rock” because of the amount of shells it contains; however, the upper limit of this almost horizontal rocky platform does not oscillate around mean sea level, but rather around low spring tide. Avila-Serrano *et al.* correctly indicate that rocky

plataforma horizontal sumergida (Gerritsen 1980, Nelson 1994, Gourlay 1994, Hardy y Young 1996, González *et al.* 1999, Eversole y Fletcher 2003). De acuerdo con Horikawa y Kuo (1966), la relación entre la altura de ola local y la profundidad media decrece desde una cifra de 0.8 al inicio de la rotura hasta un valor casi constante (alrededor de 0.5) más cerca de la orilla. Fredsoe y Deigaard (1992) presentaron una expresión matemática para este fenómeno:

$$\frac{H}{h_r} = 0.5 + 0.3 \cdot \exp\left(-0.11 \frac{l}{h_r}\right)$$

donde H es la altura de ola, h_r es la profundidad sobre la laja rocosa y l es la distancia sobre la laja a contar desde su borde exterior (ver fig. 2). En suma, la energía E que alcanza el pie de un perfil de playa apoyado en laja rocosa es muy inferior al que llegaría si no existiera esa plataforma (recordemos que E es proporcional a H^2). Una buena aproximación a la forma del perfil puede obtenerse mediante la formulación general de Dean (1977) corregida para lajas rocosas por Muñoz-Pérez *et al.* (1999a):

$$h = A_{rp} x^{2/3}$$

donde A_{rp} es el parámetro de Dean para playas apoyadas en laja (*reef protected*); $A_{rp} \approx 1.48 A$, y $A = 0.51 \omega^{0.44}$, siendo ω la velocidad de caída del grano de arena, que para un diámetro medio D_{50} resulta:

$$\omega = 273 D_{50}^{1.1}$$

Es cierto, asimismo, que la laja rocosa de Cádiz está compuesta por areniscas y conglomerados calcáreos del Plioceno (Gutiérrez-Mas *et al.* 2003), conocidos localmente como “roca ostionera” por la cantidad de conchas que contiene (el ostión es una variedad de la ostra). Sin embargo la cota superior de esta plataforma rocosa casi horizontal no oscila alrededor del nivel medio del mar, sino de la bajamar viva. Avila-Serrano *et al.* indican muy acertadamente que la existencia de laja rocosa limita la altura de ola así como su energía, pero la afirmación de que “... produciendo una disminución en el volumen de sedimento depositado (Muñoz-Pérez 1996)” pudiera dar lugar a confusión dada la síntesis obligada de los autores en la Introducción. Nosotros entendemos, basándonos en todo lo expresado en los puntos anteriores que lo que experimenta el perfil apoyado en laja es una erosión lenta pero irreversible.

Introducimos para ello el concepto de distancia mínima de laja (de 10 a 30 veces su calado máximo h_r) o lo que es lo mismo, la imposibilidad de existencia de playa en ese espacio (ver fig. 2). Este valor se calcula de manera teórica en base al

platforms limit wave height and energy, but their affirmation that "...which in turn reduces the volume of sediment deposited (Muñoz-Pérez 1996)" could be confusing given the synthesis used in the Introduction. We understand, based on the points expressed above, that reef-exposed profiles experience slow but irreversible erosion.

We thus introduce the concept of minimum reef distance (from 10 to 30 times the h_r), which is the same as the impossibility of beach occurrence in that space (see fig. 2). This value is calculated theoretically based on the nonlinear F_{c0} parameter (Gourlay 1994) and proved by empirical data:

$$F_{c0} = \frac{g^{1.25} H_0^{0.5} T^{2.5}}{h_r^{1.75}}$$

See Muñoz-Pérez *et al.* (1999a) for details.

The beach sections selected by Avila-Serrano *et al.* for their study were very appropriate. The northern or Final Victoria (FV) section has a rocky platform, while the Hotel Victoria (HV) section does not. Among the different characteristics of both sections is the steeper slope at FV than at HV (fig. 2). A more detailed account of short-, medium-, and long-term differences and causes is given by Muñoz-Pérez and Medina (2005, 2009).

The granulometric variation observed by Avila-Serrano *et al.* had already been detected by Muñoz-Pérez (1996) but the explanations are not exactly the same; complementary studies would thus be expedient to determine the reason for this discrepancy.

Littoral transport was determined by Horikawa's (1988) method, staining 10 kg of sediment and determining the center of gravity of the samples found after a tidal cycle. Avila-Serrano *et al.* obtained very interesting values: a displacement of 130 m in slightly more than 12 h at a mean current speed of 0.29 m s⁻¹. We used these data to determine a very useful parameter, already evaluated by other authors: the relation between current speed and sediment transport speed. Avila-Serrano *et al.* calculated a quotient of 0.010, within the range of values reported by several authors (see table 1), but it is slightly lower than that found by Muñoz-Pérez *et al.* (1999b), which ranges from 0.015 to 0.017. There are differences in the amount of tracer used (10 and 450 kg, respectively), and in the amount of time elapsed between sediment discharge and recovery (12 h vs 2 days); however, we do not know if these differences are the reason for the divergence of the v_a/V coefficient or whether it is due to undefined changes in the methodology (e.g., determining mean current speed or the point where it is calculated).

Regarding the calculation of sediment volumes, we should mention that the separation between profiles can greatly affect the committed error. The *Coastal Engineering Manual* (USACE 2002) recommends that study and monitoring plans for beach regeneration projects should include

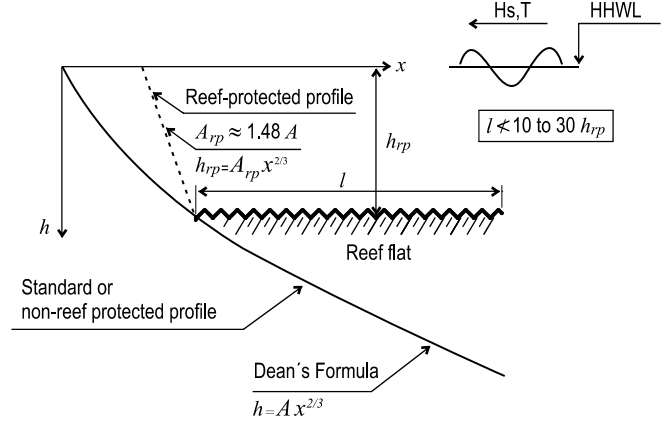


Figure 2. Comparative diagram of the morphology of reef-protected and standard or non-reef-protected profiles including Dean's (1977) formula and its adaptation to a reef-protected profile (Muñoz-Pérez *et al.* 1999a).

Figura 2. Esquema comparativo de la morfología de los perfiles con laja (*reef protected*) y sin ella (estándar) incluyendo la fórmula de Dean (1977) y su adaptación al perfil con laja (Muñoz-Pérez *et al.* 1999a).

parámetro no lineal F_{c0} (Gourlay 1994) y comprobado en datos empíricos.

$$F_{c0} = \frac{g^{1.25} H_0^{0.5} T^{2.5}}{h_r^{1.75}}$$

Los detalles pueden verse en Muñoz-Pérez *et al.* (1999a).

En cuanto a las secciones estudiadas, no cabe más que señalar que la elección ha sido sumamente acertada. El perfil Norte o Final Victoria (FV) se encuentra sobre una laja rocosa, mientras que el ubicado frente al Hotel Victoria (HV) carece de ella. Entre las diferentes características de ambos perfiles debe destacarse la mayor pendiente del perfil apoyado en laja frente al que no lo está (fig. 2). Una exposición más detallada de dichas diferencias a corto, medio y largo plazo, acompañada de una explicación de sus causas, puede consultarse en Muñoz-Pérez y Medina (2005, 2009).

La variación granulométrica encontrada por Avila-Serrano *et al.* ya fue detectada por Muñoz-Pérez (1996) pero la explicación no fue exactamente la misma y convendría quizás realizar estudios complementarios para determinar la razón de esta discrepancia.

En cuanto al transporte litoral, éste se determinó de acuerdo con la metodología de Horikawa (1988), tiñendo 10 kg de sedimento y determinando el centro de gravedad de las muestras encontradas tras un ciclo de marea. Avila-Serrano *et al.* encuentran unos valores muy interesantes: un desplazamiento de 130 m en algo más de 12 h y una velocidad media de la corriente de 0.29 m s⁻¹. Aprovechamos estos datos para encontrar un parámetro muy útil, ya evaluado por otros autores; la relación entre la velocidad del sedimento y la de la

profiles that are not separated by more than 150 m, but that for the measurement of volumes in order to estimate sand replenishing costs, the separation should be 60 m or less. Muñoz-Pérez *et al.* (2010) have studied the effect of such separation on the committed error for different beaches along the Spanish and North American coastlines. The errors calculated for the actual case of Victoria Beach range from 10% to 20% for separations of up to 100 m, but they can increase up to 150% if only one profile is measured and considered.

Another point that should be considered is that profiles are measured only slightly beyond the low spring tide level. This obviously hinders the validation of certain interesting hypotheses related to the submerged part of the profile. We will not, however, address this subject here as it has already been discussed in other articles (e.g., Anfuso *et al.* 2008, Muñoz-Pérez *et al.* 2009).

The sediment volume results were given in cubic meters. It would have been more useful if they would have been given in cubic meters per meter of beach since this would have allowed a better comparison with the values reported by other authors.

The results obtained by Avila-Serrano *et al.* show that from March to October 2004 significant erosion occurred in the protected section (FV), whereas sediment accretion occurred in the exposed section (HV). Contrarily, in a similar study conducted throughout one year prior to 2004, Muñoz-Pérez and Medina (2009) observed discrepancies only in the erosion and recovery rates, not in the actual behaviour of both profiles: erosion rates of 29 and 121 m³ m⁻¹ yr⁻¹ for protected and exposed profiles, respectively. Moreover, sediment accretion and recovery rates during favorable conditions were 0.33 and 1.01 m³ m⁻¹ day⁻¹, respectively. Perhaps an explanation should be sought for this discrepancy in the artificial restoration between both studies and the consequent higher rate of supply that occurred in the summer of 2004 (Gómez-Pina *et al.* 2006). Though nothing was said in the methodology, we assume that the profiles were taken on days with similar tide coefficients, since Muñoz-Pérez and Medina (2002) have shown that profile variations due solely to the

corriente. El cociente calculado para el experimento de Avila-Serrano *et al.* es 0.010 y se halla dentro del rango de valores de diversos autores (ver tabla 1) pero es ligeramente inferior al encontrado por Muñoz-Pérez *et al.* (1999b), que varía entre 0.015 y 0.017. Existen ciertas diferencias tanto en la cantidad de trazador utilizado (10 kg y 450 kg respectivamente) como en el tiempo transcurrido desde el vertido hasta la recogida del sedimento (12 horas frente a 2 días). Sin embargo, desconocemos si estas diferencias son la causa de la divergencia del coeficiente v_d/V o bien puede deberse a cambios no definidos en la metodología (v.g. la determinación de la velocidad media de la corriente o el punto en que se calcula). En lo referente al cálculo de volúmenes de sedimento, debemos comentar que la separación entre perfiles puede afectar muchísimo al error cometido. El *Coastal Engineering Manual* (USACE 2002) recomienda que los planos para estudio y seguimiento de proyectos de regeneración de playas incluyan perfiles cuya separación no sea superior a 150 m. Sin embargo, para la medición de los volúmenes con vista al pago de la obra de realimentación, se indica que la separación debe ser de 60 m o menos. Muñoz-Pérez *et al.* (2010) han estudiado la influencia de dicha separación en el error cometido para distintas playas del litoral español y norteamericano. Los errores calculados para el caso real de la Playa Victoria se mantienen entre el 10 y el 20 % para separaciones de hasta 100 m, pero a partir de ahí se incrementan, pudiendo llegar hasta un error del 150% en el caso de que se tome un único perfil.

Otro punto a considerar es que los perfiles sólo se toman hasta poco más allá de la bajamar viva. Obviamente ello impide que ciertas interesantes hipótesis relacionadas con la parte sumergida del perfil puedan ser refrendadas como conclusiones. Sin embargo, no abordaremos aquí este tema por haber sido ya objeto de discusión en otros artículos (e.g. Anfuso *et al.* 2008, Muñoz-Pérez *et al.* 2009).

Los interesantes resultados de los volúmenes de sedimento se presentan en metros cúbicos. Serían de mayor utilidad calculados en metros cúbicos por metro lineal, lo que hubiera permitido una más fácil comparación con los valores obtenidos por otros autores.

Table 1. Ratio between tracer speed (v_d) and sediment transport speed (V). Values found by different authors.

Tabla 1. Razón entre la velocidad del trazador (v_d) y la velocidad de transporte del sedimento (V). Valores encontrados por distintos autores.

	Avila-Serrano <i>et al.</i> (2009)	Muñoz-Pérez <i>et al.</i> (1999b)*	Muñoz-Pérez <i>et al.</i> (1999b)**	Komar (1978)	Kraus <i>et al.</i> (1982)	Kato <i>et al.</i> (1985)
Tracer speed (v_d , m day ⁻¹)	260	415	363	–	–	–
Average current speed (V , m s ⁻¹)	0.29	0.25	0.32	–	–	–
Ratio v_d/V	0.010	0.017	0.015	0.008	0.014	0.010
Surveying time (hours)	12	48	48	–	–	–

* Experiment carried out on 21/22 May with an observed southward direction.

** Experiment carried out on 23/24 May with an observed northward direction.

alternation of spring and neap tides can be very important (difference of up to 67 cm in z in summer).

Avila-Serrano *et al.* presented very interesting values regarding the percentage of bioclasts in different parts of the beach profile and then start their discussion explaining that the section with a rocky platform (FV) has a steeper slope than the section that does not (HV). As already mentioned, Muñoz-Pérez *et al.* (1999a) presented a model in which the Dean parameter increased by up to 50%. According to Avila-Serrano *et al.*, however, “This is because of the sudden increase in friction between the wave and bottom, causing the wave to increase in height and break with greater force, thus removing the sediment”. It is necessary to point out that this is only true in certain circumstances. The energy of waves reaching the shore is usually lower after having crossed a rocky platform (Gourlay 1994). Wave height can increase up to 1.2 times only when $100 < F_{c0} < 150$. Nevertheless, and as already mentioned, the consequence of this phenomenon is the impossibility of a beach occurring over a rocky platform with a distance of 10 to 30 times the maximum depth (40–120 m in our case). Thus, the greater slope of the rocky platform section is due to the lower incident energy. Horikawa and Kuo (1966) and Wang and Kraus (2005) present comparisons of wave decay at beaches with and without rocky platforms.

Finally, on p. 265, Avila-Serrano *et al.* comment that after the regeneration in 1991 (Gómez-Pina 1999), “...the part of the beach with a rocky platform (section FV) was found to have a higher rate of sediment loss than section HV”. This is true, but it is necessary to indicate that such amounts of sand were deposited over the rocky platform so that a pumping tube could be installed and sand could be deposited on the adjacent beach to the north (Santa María del Mar).

English translation by Christine Harris.

REFERENCES

- Anfuso G, Benavente J, Del Río L, Gracia FJ. 2008. An approximation to short-term evolution and sediment transport pathways along the littoral of Cadiz Bay (SW Spain). *Environ. Geol.* 56: 69–79.
- Avila-Serrano GE, Santa Rosa del Río MA, Anfuso-Melfi G, Benavente-González J, Guardado-France R, González-Yajimovich O, Velázquez-González EK. 2009. Sediment variations and littoral transport at La Victoria Beach, Cádiz, Spain. *Cienc. Mar.* 35: 259–269.
- Dean RG. 1977. Equilibrium beach profiles: US Atlantic and Gulf coasts. *Ocean Engineering Rep. No. 12*, Univ. of Delaware, Newark.
- Eversole D, Fletcher CH. 2003. Longshore sediment transport rates on a reef-fronted beach: Field data and empirical models. *Kaanapali Beach, Hawaii. J. Coast. Res.* 19: 649–663.
- Fredsoe J, Deigaard R. 1992. *Mechanics of Coastal Sediment Transport*. World Scientific Publishing Co., Singapore.
- Gerritsen F. 1980. Wave attenuation and setup on a coastal Reef. *Proc. 17th ICCE, ASCE, Vol. 1*: 444–461.

En los resultados de Avila-Serrano *et al.* se observa que en el período de marzo a octubre de 2004 hay una erosión importante en el perfil con laja (FV), mientras que en el perfil que no se apoya en laja (HV) se documenta una acreción de sedimento. Por el contrario, Muñoz-Pérez y Medina (2009) en un estudio similar a lo largo de todo un año, anterior a 2004, sólo aprecian una discrepancia en las tasas de erosión y de recuperación, pero no en el comportamiento en sí de ambos perfiles; e.g., las tasas de erosión obtenidas para los perfiles con laja y sin ella son de 29 y 121 m³ m⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Además, las velocidades de acreción o de recuperación del sedimento durante la época de bonanza fueron de 0.33 y 1.01 m³ m⁻¹ día⁻¹, respectivamente. Quizás habría que buscar la explicación a esta discrepancia entre ambos estudios en la realimentación artificial, y la consiguiente mayor tasa de relleno, que tuvo lugar en el verano de ese mismo año (2004) (Gómez-Pina *et al.* 2006). Aunque no se diga nada en la metodología, supondremos que los perfiles fueron tomados en días con coeficientes de marea similares, puesto que Muñoz-Pérez y Medina (2002) ya demostraron que las variaciones del perfil debidas únicamente a la alternancia marea viva-marea muerta pueden ser muy importantes (hasta 67 cm de diferencia en z en verano).

Tras la presentación de unos valores muy interesantes sobre el porcentaje de bioclastos en distintas partes del perfil de la playa, Avila-Serrano *et al.* comienzan la discusión de los datos abordando la explicación de la mayor pendiente del perfil con laja (FV) frente al standard o no apoyado (HV). Como ya hemos mencionado anteriormente, Muñoz-Pérez *et al.* (1999a) ya presentaron un modelo donde el parámetro de Dean (1977) aumentaba hasta un 50%. Sin embargo, Avila-Serrano *et al.* aportan una explicación basada en “... porque el roce de la ola con el fondo se puede incrementar repentinamente haciendo que ésta aumente su altura y colapse con mayor energía sobre la cara de la playa removiendo el sedimento”. Es preciso aclarar que el párrafo anterior es únicamente cierto en determinadas circunstancias. De acuerdo con Gourlay (1994), la energía de un oleaje que alcanza la orilla es habitualmente inferior tras haber cruzado una laja rocosa. Sólo cuando $100 < F_{c0} < 150$, la altura de la ola puede incrementarse hasta 1.2 veces. Sin embargo y tal y como comentamos antes, la consecuencia de este fenómeno es que no puede existir playa sobre la laja en una distancia entre 10 a 30 veces la profundidad máxima (entre 40 y 120 metros en nuestro caso). A nuestro entender, la mayor pendiente del perfil apoyado en laja se debe precisamente a la menor energía incidente. En los trabajos de Horikawa y Kuo (1966) y Wang y Kraus (2005), por ejemplos, puede verse una comparación del diferente decaimiento del oleaje en playas con y sin laja.

Finalmente, en la página 265, Avila-Serrano *et al.* comentan que tras la regeneración de 1991 (Gómez-Pina 1999) “se comprobó que en la parte sobre laja rocosa (sección FV) la tasa de pérdida de sedimento es mayor que en la sección HV.” Esto es cierto, sin embargo, convendría aclarar que el vertido

- Gómez-Pina G. 1999. Beach nourishment: Fundamental, the Spanish experience. Proc. of the Short Course on Coastal and Port Engineering, 5th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries (COPEDEC), Cape Town, pp. 6.1–6.48.
- Gómez-Pina G, Fages L, Ramírez JL, Muñoz-Pérez JJ, Enríquez J. 2006. A critical review of beach restoration projects on the northern coast of Cadiz (Spain) after thirteen years. Proc. 30th International Conference on Coastal Engineering, San Diego (ASCE), pp. 4167–4178.
- González M, Medina R, Losada MA. 1999. Equilibrium beach profile model for perched beaches. *Coast. Eng.* 36: 343–357.
- Gourlay MR. 1994. Wave transformation on a coral reef. *Coast. Eng.* 23: 17–42.
- Gutiérrez-Mas JM, Moral JP, Sánchez A, Domínguez S, Muñoz-Pérez JJ. 2003. Multicycle sediments on the continental shelf of Cadiz (SW Spain). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 57: 667–677.
- Hardy T, Young I. 1996. Field study of wave attenuation of an offshore coral reef. *J. Geophys. Res.* 101(C6): 14311–14326.
- Horikawa K. 1988. *Nearshore Dynamics and Coastal Processes: Theory, Measurement and Predictive Models*. Univ. Tokyo Press, 522 pp.
- Horikawa KA, Kuo CT. 1966. A study of wave transformation inside surf zone. Proc. 10th ICCE, ASCE, Vol. I: 217–233.
- Karunarathna H, Tanimoto K. 1995. Numerical experiments on low frequency fluctuations on a submerged coastal reef. *Coast. Eng.* 26: 271–289.
- Kato K, Tanaka N, Kondo T, Akaishi M, Terasaki K. 1985. Field observation of local sand movement in the surf zone using fluorescent sand tracer (2nd report). *Rep. Port Harb. Res. Inst.* 24: 3–63.
- Komar PD. 1978. Relative quantities of suspension versus bed-load transport on beaches. *J. Sediment. Petrol.* 48: 921–932.
- Kraus NC, Isobe M, Igarashi H, Sasaki T, Horikawa K. 1982. Field experiments on longshore sand transport in the surf zone. Proc. 18th ICCE, ASCE, pp. 969–988.
- Muñoz-Pérez JJ. 1996. Análisis de la morfología y variabilidad de playas apoyadas en lajas rocosas. Ph.D. thesis, Cadiz Univ., Spain, 150 pp.
- Muñoz-Pérez JJ, Medina R. 2002. Profile changes due to a fortnightly tidal cycle. Proc. 28th ICCE, ASCE, Sydney, pp. 3063–3075.
- Muñoz-Pérez JJ, Medina R. 2005. Short-term variability on reef protected beach profiles: An analysis using EOF. Proc. 5th Int. Conf. Coastal Dynamics, Barcelona.
- de tal cantidad de arena sobre la laja tenía como objetivo el permitir el paso de la tubería de bombeo por encima y poder vertir arena en la playa adyacente más al norte: Santa María del Mar.
-
- Muñoz-Pérez JJ, Medina R. 2009. Comparison of long-, medium- and short-term variations of beach profiles with and without submerged geological control. *Coast. Eng.* doi: 10.1016/j.coastaleng.2009.09.011.
- Muñoz-Pérez JJ, Tejedor L, Medina R. 1999a. Equilibrium beach profile model for reefprotected beaches. *J. Coast. Res.* 15: 950–957.
- Muñoz-Pérez JJ, Gutiérrez-Mas JM, Parrado JM, Moreno L. 1999b. Sediment transport velocity by a tracer experiment at Regla Beach (Spain). *J. Waterway Port Coast. Ocean Eng.* 125: 332–335.
- Muñoz-Pérez JJ, López B, Gutiérrez JM, Moreno L, Cuenca G. 2001. Cost of beach maintenance in the Gulf of Cadiz (SW Spain). *Coast. Eng.* 42: 143–153.
- Muñoz-Pérez, JJ, Gómez-Pina G, Enríquez J. 2009. Comments on “An approximation to short-term evolution and sediment transport pathways along the littoral of Cadiz Bay (SW Spain)” by Anfuso *et al.* (*Environ. Geol.* 56: 69–79). *Environ. Earth Sci.* 59: 477–479.
- Muñoz-Pérez JJ, Payo A, Román-Sierra J, Navarro M, Moreno L. 2010. Optimization of beach profile spacing given an admissible error. *Coast. Eng.* (in press).
- Nakaza E, Hino M. 1990. Reef zone disaster caused by bore-like surf beat. In: *Flows and Waves*. Tokyo Institute of Technology, Rep. No. 5, pp. 85–97.
- Nelson RC. 1994. Depth limited design wave heights in very flat regions. *Coast. Eng.* 23: 43–59.
- Roberts MH, 1980. Physical processes and sediment flux through reef-lagoon systems. Proc. 17th ICCE, ASCE, Vol. 1, pp. 946–962.
- Symonds G, Black KP, Young IR. 1995. Wave driven flow over shallow reefs. *J. Geophys. Res.* 100(C2): 2639–2648.
- USACE (US Army Corps of Engineers). 2002. *Coastal Engineering Manual*. EM 1110–2–1100. <http://chl.erdc.usace.army.mil/cem>.
- Wang P, Kraus C. 2005. Beach profile equilibrium and patterns of wave decay and energy dissipation across the surf zone elucidated in a large-scale laboratory experiment. *J. Coast. Res.* 21: 522–534.

*Recibido en enero de 2010;
aceptado en enero de 2010.*