



Réplica a “Comentarios al trabajo titulado: “Distribution of bedrock channel erosion: micro and mesoforms in fluviokarstic canyons”, de Sanchis, C.; Segura, F. y Rosselló, V.M., en Cuaternario y Geomorfología (2011), 25 (3-4), 59-69”, publicado en Cuaternario y Geomorfología (2014), 28 (1-2), 7-26.

Reply to: “Comments on “Distribution of bedrock channel erosion: micro and mesoforms in fluviokarstic canyons”, de Sanchis, C.; Segura, F. y Rosselló, V.M., in Cuaternario y Geomorfología (2011), 25 (3-4), 59-69”, published in Cuaternario y Geomorfología (2014), 28 (1-2), 7-26.

Carles Sanchis Ibor¹; Francisca Segura Beltrán²; Vicenç M. Rosselló i Verger²

¹Centro Valenciano de Estudios del Riego, Universitat Politècnica de València, csanchis@hma.upv.es
²Departament de Geografia, Universitat de València, Francisca.Segura@uv.es, Vicent.Rossello@uv.es

Resumen

El presente trabajo analiza las formas de erosión del lecho de un meandro de la Rambla del Tambuc, encajado en las calizas subtabulares de la plataforma del Caroig (Valencia) con la finalidad de clarificar los comentarios efectuados por Santisteban (2014). El texto resuelve la posible confusión o controversia sobre la naturaleza de tres formas identificadas en el lecho de esta rambla, *flutes*, *strath terraces* y *pseudo-ripples (hummocky forms)*, y efectúa diversas observaciones sobre la actual dinámica hidrogeomorfológica de esta rambla mediterránea.

Palabras clave: Lechos rocosos, *flutes*, *strath terraces*, *pseudo-ripples*, cañones fluvio-kársticos.

Abstract

This paper examines the erosional forms in a calcareous bedrock channel, in a meander of the Tambuc Rambla (Caroig platform, Valencia). The paper has been written in order to clarify some comments made by Santisteban (2014). Our work aims to solve any possible confusion or controversy on the nature of three forms identified in this bedrock channel, *flutes*, *strath terraces* and *pseudo-ripples (hummocky forms)*, and presents some observations on the current hydrogeomorphological dynamic of this Mediterranean ephemeral river.

Keywords: Bedrock channels, *flutes*, *strath terraces*, *pseudo-ripples*, fluviokarstic canyons.



1. Introducción

En el número 28 de *Cuaternario y Geomorfología* se publicó un artículo de Santisteban (2014) que se refería en su título a un trabajo publicado hace tres años por los autores del presente texto (Sanchis *et al.*, 2011) y mencionaba otro texto anterior de los mismos autores (Segura *et al.*, 2009).

El artículo de Santisteban (2014) plantea dos objetivos: 1) aportar un nuevo análisis sobre la naturaleza de la Rambla del Tambuc —erradamente escrita Tambúc en todo el texto— y 2) discutir algunas de las estructuras descritas en detalle en nuestro trabajo de 2011. Santisteban (2014) aborda esencialmente tres cuestiones. En la primera sección —tras la introducción— y en otra posterior denominada “Consideraciones” analiza la morfogénesis de la Rambla del Tambuc. En segundo lugar, en la sección más extensa —entre las páginas 12 y 17—, hace una descripción de la estratigrafía de los materiales calcáreos de la citada rambla, para finalmente, en el apartado 7, manifestar su discrepancia sobre la génesis y clasificación de dos formas identificadas en el lecho rocoso de esta rambla, *flutes* y *pseudo-ripples*.

Respecto a las observaciones de Santisteban sobre la estratigrafía de los materiales calcáreos de la rambla, no cabe hacer ningún comentario, pues son de notable interés. No sólo no disentimos de lo expuesto, sino que consideramos que resultan además, como veremos más adelante, complementarios a lo expuesto en nuestros anteriores trabajos. Por lo tanto, nuestra réplica se centra en los dos aspectos que motivan una cita reiterada de nuestros artículos, hasta el punto de merecer una mención directa en el título. Estos son los relativos a la morfogénesis de la Rambla del Tambuc y la controversia en torno a determinadas microformas del lecho fluvial. Antes de abordar estas cuestiones, debemos hacer una aclaración. La comprensión de parte de nuestro trabajo de 2011 se vio dificultada por un error en la maquetación final de la revista, que privó a los lectores de la figura 8 del original, que ahora reproducimos (Figura 1).

2. Sobre la naturaleza de la Rambla del Tambuc

Tras la introducción y después de una breve referencia a la localización de la Rambla del Tambuc, Santisteban (2014) inicia su trabajo con una descripción de este curso fluvial. En este punto, el mencionado autor cree detectar una confusión en un trabajo anterior (Segura *et al.*, 2009), porque a su entender:

“hay dos entidades distintas entre un río en roca con carga de fondo de tamaño grueso, que es lo que es actualmente la Rambla de Tambúc y el lugar que esta ocupa, que es un cauce encajado con un modelo en planta meandriforme. Para Segura *et al.* (2009) no hay duda de que ambos son el mismo sistema, pues “los barrancos del Caroig transportan fundamentalmente carga de fondo: bloques, cantos, gravas y arenas. La abundancia de esta fracción se asocia al predominio de la erosión lateral y a la formación de meandros asimétricos (*ingrown meanders*)” (Santisteban, 2014, p. 11).

Este trabajo (Segura *et al.*, 2009) también es citado impropiaemente al inicio del artículo (Santisteban, 2014, p. 8), en este caso con el fin de atribuirnos la idea de que los procesos que generan las formas actuales son los mismos que se aducen para la generación del cañón y que “en las dos escalas de trabajo se describen las formas como originadas en tiempo presente”.

Santisteban extrae de nuestro trabajo de 2009 frases que, fuera de contexto, carecen de sentido, atribuyéndonos una afirmación que ni hemos expuesto ni suscribimos. La cita de 2009 se refiere a un trabajo que comparaba la red meandrizante del macizo del Caroig con la del sur de la isla de Menorca (Segura *et al.*, 2009), mientras que en la publicación de 2011 únicamente se analizaban las formas erosivas del lecho, sin entrar en consideraciones sobre la génesis y la tipología de los cañones del Caroig.

En el trabajo de 2009, mediante un análisis comparado, se estudiaba la diferente mor-

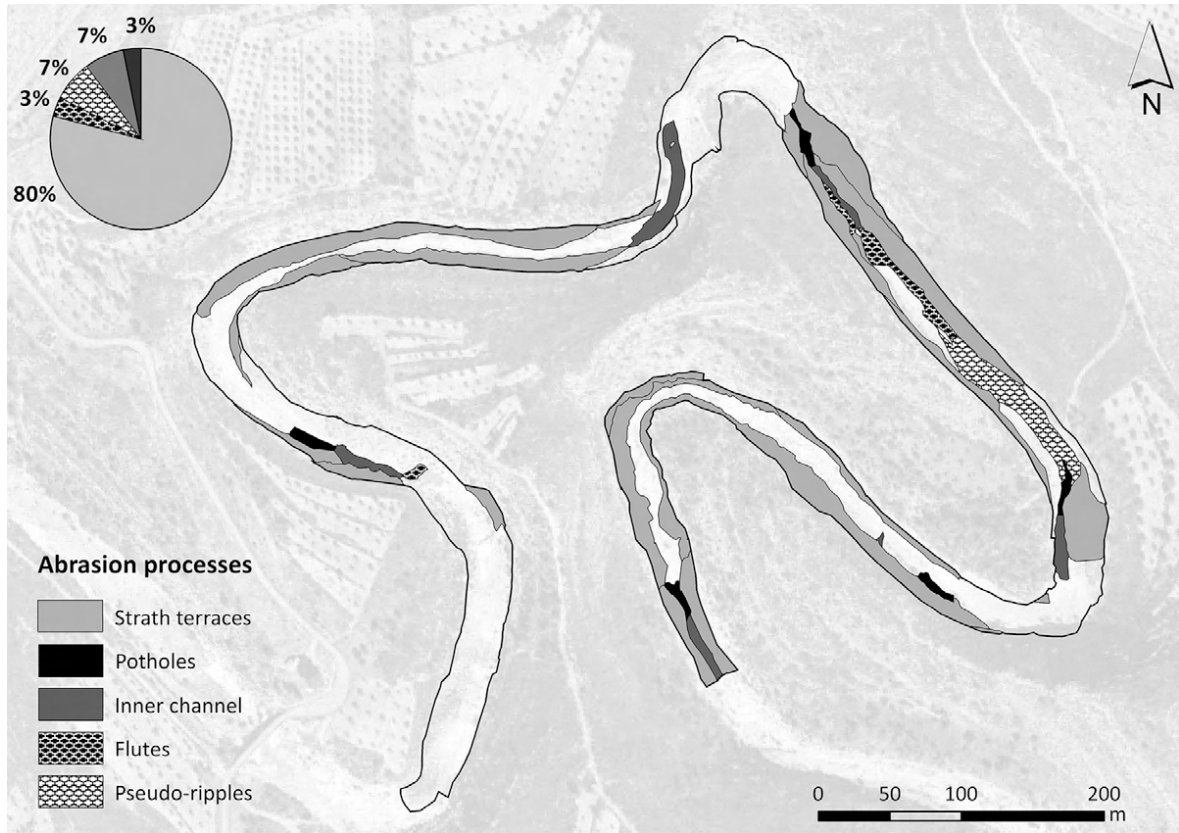


Figura 1. Procesos predominantes de abrasión en el área de estudio. Figura 8 de Sanchis *et al.* (2011), no publicada al duplicarse la figura 7.

Figure 1. Predominant abrasion processes in the study area. Figure 8 in Sanchis *et al.* (2011), erroneously replaced by figure 7.

fología de los meandros de ambas redes. Los cañones meandrizantes de Menorca se desarrollaron sobre calcarenitas miocenas, con un elevado nivel de carstificación. Los meandros de dichos cañones se generan por la captura y colapso de dolinas y poljes, y la incisión está condicionada claramente por los cambios del nivel del mar a lo largo del Cuaternario. La meteorización de las calcarenitas y la disolución provoca la formación de lechos rellenos por arenas y arcillas de descalcificación. Su cauce por tanto, no está labrado en sustrato rocoso en la actualidad. Todos estos procesos dan lugar a la formación de meandros encajados, con paredes muy empinadas y en los que domina la incisión vertical.

Por el contrario, la red de drenaje del Caroig, a la que pertenece la Rambla del Tambuc, se enca-

ja en calizas y dolomías mucho más duras, cuya meteorización facilita el aporte de una carga sedimentaria gruesa. El cauce actual, sobre el sustrato mesozoico, indica que se trata de un río con un poder erosivo mayor que la carga sedimentaria que arrastra. Se trata de una red meandrizante fuertemente encajada (más de 100 m en ocasiones), en la que se pueden distinguir diversas fases de incisión y diferentes tipos de meandros (*cortados*, *ingrown*, etc.) (Segura *et al.*, 2009). Asimismo, la red del Caroig se caracteriza por una importante movilidad, que ha dejado una red relictiva de meandros cortados. Esta movilidad lateral es responsable de los meandros de tipo *ingrown*, con paredes asimétricas generadas cuando la erosión lateral es dominante (Schumm *et al.*, 1987). Es evidente que estas formas se han labrado durante períodos de tiempo muy largos y que pueden

responder a una superposición, —sobre la cual no nos pronunciamos porque no es el objetivo de nuestro trabajo—, lo que no impide que el río se haya encajado por procesos combinados de erosión lateral y vertical (Schumm *et al.*, 1987; Wohl, 1998). Sea como fuere y pese a las alusiones de Santisteban (2014), en nuestro artículo de 2011 no nos hemos referido a los mecanismos de formación de la red de cañones ni sobre su cronología, dado que el objetivo no ha sido el estudio de las numerosas terrazas de acumulación adosadas a las paredes, sino los procesos y las formas (meso y micro) del lecho, como se indica claramente en el título. Tampoco compartimos el modelo de formación de los cañones que propone Santisteban (2014) por su simplicidad y porque sin caracterizaciones ni dataciones no se puede describir consistentemente la complejidad que muestra la red del Caroig.

Añade Santisteban (2014, p. 11) que “las condiciones geodinámicas actuales, referentes al ritmo de descarga fluvial, caudal, carga sedimentaria y tipo de sustrato, no permiten un proceso activo de desarrollo de meandros”. Esta afirmación es a nuestro entender incorrecta y resulta contraria a lo expuesto por numerosos trabajos recientes. Wohl (1998) indica que es habitual el desarrollo de canales meandrizantes en sustrato rocoso, aunque difieren claramente de los aluviales. Como subraya esta autora: “*both lateral and vertical differences in bedrock erodibility may strongly influence meander size and morphology, and inherited meander dimensions may be preserved along deeply incised channels, despite intervening changes in discharge and sediment regime*” (Wohl, 1998).

En el caso de la Rambla del Tambuc, la configuración del cauce conserva la sección transversal asimétrica, con un talweg que se desplaza hacia la cara externa del meandro y una rampa labrada en los estratos rocosos, que imita el *point bar* y en donde en ocasiones se sedimenta fracción fina, formando pequeños lóbulos escalonados. Esta morfología de meandros en sustrato rocoso ha sido ampliamente descrita en la bibliografía, aunque obviamente presen-

tan diferencias con los cauces meandrizantes aluviales (Schumm *et al.*, 1987; Wohl, 1998). En palabras de Schumm *et al.* (1987, p. 227): “*...Such studies have confirmed the existence of a bedrock surface configuration in “pools” at the outside of valley meander bends and shallower symmetrical “crossings” at the inflection point between bends*”.

Las diferencias laterales y verticales en la erosionabilidad del sustrato rocoso pueden influir en el tamaño y la morfología de los meandros. Como señala Wohl (1998) numerosos estudios concluyen que un roquedo resistente preserva el patrón meandrizante durante la incisión, mientras que los materiales más blandos facilitan la reducción de la sinuosidad con el tiempo. También existen diferentes tipos de valles meandrizantes (*entrenched, ingrown* y *open valley*), en función del predominio de la incisión, la erosión lateral y la migración aguas abajo. La litología y la carga sedimentaria pueden condicionar el predominio de la incisión —escasa carga sedimentaria— y la erosión lateral —exceso de carga sedimentaria gruesa— (Schumm *et al.*, 1987).

El área de estudio, en consecuencia, se ha considerado como un meandro tipo *ingrown*, con fuerte desplazamiento lateral. La movilidad del cauce explica la existencia de diferentes retazos de depósitos colgados en los repechos del cañón a los que hace referencia Santisteban (2014), atribuyéndoles una cronología pleistocena indeterminada —por aproximación o criterios regionales, lo que resulta poco preciso—, pero que no han sido considerados en nuestro trabajo, centrado en el lecho fluvial.

Con la intención de resolver la contradicción que nos atribuye, en el apartado 8 de su artículo, Santisteban (2014) plantea una hipótesis sobre la formación y evolución de la rambla. El autor afirma que el

“conjunto de formas, y de estructuras que generan formas, presentes en el cauce de la Rambla de Tambuc, son la consecuencia de procesos desarrollados en un espacio de tiempo muy amplio, pues las más antiguas

poseen un intervalo geocronológico de 84 millones de años, entendiéndolo éste como el tiempo absoluto entre el momento de su generación y su observación en superficie. [...] Ello es debido a que la dinámica de erosión reciente está desvelando formas anteriores, como superficies de karstificación, barras sedimentarias y edificios orgánicos existentes en la formación cretácica que constituye la roca del sustrato”.

Más adelante añade:

“Así, aquí hay formas actuales (barras de bloques y cantos), formas recientes desarrolladas en unas condiciones de flujo distintas de las actuales (acanaladuras, marmitas, etc.), formas relictas (dos valles encajados superpuestos con patrones

meandriformes), formas resurgidas (estromatolitos, paleokarst cretácico,...) etc.”.

Obviamente, como afirma Santisteban y como sucede que en cualquier cauce con lecho rocoso, la configuración del roquedo y su disposición está determinada por procesos que se desarrollaron en periodos temporalmente muy alejados, y esta es además responsable de la presencia de numerosas microformas, dentro y fuera del cauce. Algunas de ellas, a las que nosotros no aludimos en nuestro artículo, limitado a las formas de origen fluvial, han sido correctamente identificadas por Santisteban (2014). No obstante, esta consideración, que jamás hemos negado, no es óbice para que en los lechos rocosos como la Rambla del Tambuc se reconozcan también



Figura 2. Meandros labrados por la Rambla del Tambuc sobre el sustrato mesozoico. Obsérvese el escalonamiento de los estratos en el *point bar* y el desplazamiento del talweg hacia la cara externa del meandro.

Figure 2. Meander on Mesozoic substrate in the Rambla de Tambuc. See the steps on the point bar strata and the talweg shift to the external side of this meander.

formas —micro y meso— afectadas por procesos activos hoy en día.

La Rambla del Tambuc es un cauce efímero, con crecidas de tipo *flash flood* (Camarasa y Segura, 2001), de baja frecuencia y elevada magnitud, que pueden desplegar la energía suficiente para erosionar el lecho en la actualidad. Una prueba palpable de la capacidad de la rambla para vehicular grandes caudales y abundante material sólido, responsables de procesos erosivos, es la destrucción en una crecida reciente de una de las presas de retención de sedimentos situada 2 km aguas arriba del área de estudio (Figura 3), y aproximadamente a 1 km del área considerada por Santisteban (2014). Además, inmediatamente aguas abajo de la presa representada en la figura 2 de Santisteban (2014), y en otras de la zona, se observan procesos activos de incisión sobre el sustrato mesozoico (Figura 4).



Figura 3. Presa de gaviones destruida por una crecida en la Rambla del Tambuc, situada 1 km aguas arriba del dique cartografiado por Santisteban (2014).

Figure 3. Gabion dam destroyed by the river flow, located 1 km upstream the dam mapped by Santisteban (2014).

Por todo ello, y pese a que evidentemente el espectro de variaciones de las condiciones de flujo haya podido variar sustancialmente a lo largo del tiempo, formas como las marmitas de gigante y las acanaladuras continúan evolucionando en la actualidad. Prueba de ello es además el depósito de los sedimentos gruesos inmediatamente aguas abajo de estas formas (Figura 5). Otra muestra de procesos erosivos recientes de origen fluvial (abrasión) es la presencia de *scratch marks* (Figura 6), formas también identificadas por Richardson y Carling (2005).

Las argumentaciones de Santisteban resultan además contradictorias, por cuanto admite que en el cauce del Tambuc “la dinámica de erosión reciente está desvelando formas anteriores” (Santisteban, 2014, p.23); sin embargo, niega reiteradamente la capacidad de estos procesos erosivos para modelar actualmente el sustrato rocoso y contribuir a la creación o alteración de las meso y microformas fluviales. Según lo expuesto por Santisteban (2014) a lo largo de su artículo, los procesos erosivos en el lecho de la rambla tienen un impacto selectivo difícilmente explicable.

3. Sobre las mesoformas y microformas fluviales

Al hablar de estructuras sedimentarias, Santisteban (2014) hace continuas referencias a Allen (1969, 1982 y 1984). Los trabajos de este autor fueron pioneros y son fundamentales en el estudio de las estructuras sedimentarias, pero se basan en experimentos de laboratorio realizados hace más de 30 años —concretamente sobre un material denominado *plaster de París*— intentando simular las condiciones naturales. Como señalan Richardson y Carling (2005, p. 2), con respecto a las formas fluviales en ríos de sustrato rocoso: “*published descriptions are brief, lack sufficient illustrations and show the existent of a confusing, nonstandardized, and ill-defined terminology. This means that features described in the literature cannot properly be compared with sculpted forms found by in-*



Figura 4. Incisión sobre el sustrato mesozoico causada por dos diques consecutivos de retención de sedimentos situados a poco más de 1 km aguas arriba del área de estudio. La imagen de la derecha corresponde a la presa que Santisteban (2014) sitúa en su figura 2 y que identifica como presa de gaviones, aunque en realidad, como se observa en la imagen, es de mampostería.

Figure 4. Incision on the Mesozoic substrate caused by two consecutive sediment traps located 1 km upstream the study area. On the right, the masonry sediment trap that Santisteban (2014) reproduces in figure 2, erroneously described as gabions dam in his paper.



Figura 5. Cantos y bloques depositados inmediatamente aguas abajo de la marmita de mayor tamaño del área de estudio.

Figure 5. Blocks and pebbles immediately downstream the biggest pothole of the study area.

investigators in the field, a prerequisite to the scientific study of them. Most importantly... this study has shown that there is a wealth of small-scale bedforms in bedrock channels, which does not feature in the existing literature". Estas palabras reflejan la dificultad y la controversia que efectivamente puede suscitar la identificación de formas en los ríos en sustrato rocoso.

Así pues, en nuestro artículo (Sanchis *et al.*, 2011) se han utilizado publicaciones más recientes basadas en observaciones directas sobre lechos fluviales labrados en sustrato rocoso que consideramos más adecuadas para caracterizar dichas formas. Se ha seguido fundamentalmente la terminología y la clasificación de Richardson y Carling (2005), obra planteada como un catálogo y una clasificación, que incluye para cada forma o grupo de formas una discusión sobre las diferentes acepciones encontradas en la bibliografía. Estos autores efectúan una aproximación holística, integrando los procesos hidrodinámicos que han generado dichas formas y las posi-



Figura 6. *Scratch marks* sobre el lecho rocoso de la rambla.

Figure 6. *Scratch marks on the river bed.*

bles variantes o transiciones que se pueden encontrar. En este sentido, también los trabajos incluidos en el libro de Tinkler y Wohl (1998) presentan un gran interés, porque plantean una investigación muy completa y a diversas escalas de la hidráulica, el transporte de sedimentos, los procesos y las formas erosivas así como del perfil longitudinal de los ríos labrados en sustrato rocoso.

Estos trabajos, punto de partida de nuestras observaciones, en modo alguno inhabilitan la presencia en los cauces de lechos rocosos de otros procesos morfogenéticos, presentes o pretéritos, que no tienen necesariamente un origen fluvial. Algunos ejemplos de estas otras formas, observadas en la Rambla del Tambuc y correctamente descritas por Santisteban (2014), simplemente no han sido objeto de análisis en nuestro trabajo por estar fuera del lecho o del área de estudio. Por todo ello, es completamente incorrecto afirmar que: “los autores del trabajo comentado dan a entender que todas las estructuras presentes en el lecho de la rambla han sido originadas erosivamente por la dinámica actual del sistema fluvial; sin embargo, la rambla de Tambuc es conocida por albergar el mayor número de icnitas de dinosaurios de la Comunidad Valenciana...”. Como argumento para reforzar su hipótesis de que muchas de las estructuras descritas son heredadas, Santisteban (2014) menciona las icnitas encontradas en la Rambla del Tambuc, estudiadas por él mismo y Suñer (2003). Este magnífico conjunto de icnitas aparece en el propio lecho del

río, junto a algunas grietas de retracción. Se localizan sobre un lecho plano, sin estructuras erosivas de tipo fluvial y no se han considerado en nuestro trabajo porque obviamente son formas heredadas, pero sobre todo, y esto debemos remarcarlo, porque nuestro estudio se inició precisamente aguas abajo del lugar donde se ubican. En la figura 2 de Santisteban se puede observar que el autor cartografió casi un km más aguas arriba de la zona donde Sanchis et al. (2011) realizaron el levantamiento topográfico GPS-RTK, hasta alcanzar el siguiente meandro (comparar con la figura 1 de este texto, figura 8 en Sanchis et al. 2011). Es en el sector ampliado por Santisteban (2014) donde se localizan las icnitas citadas. Pese a estas consideraciones, y ya que han sido mencionadas por este autor, debe decirse que actualmente, debido a su disposición en el lecho de la rambla, los procesos abrasivos están erosionando las icnitas y en ocasiones quedan cubiertas por una capa de sedimento grueso. Algunas de ellas además, al estar expuestas a la lluvia, actúan hoy día como cuencos de disolución.

En toda esta argumentación se nos atribuye una apreciación que ningún lector podrá encontrar en el texto. Nuestro trabajo se centra en cartografiar meso o microformas que se han identificado como actuales y provocadas por la acción fluvial o la disolución, así como los procesos que las han generado, sin perjuicio de que pudiera haber otras formas previas exhumadas por el río. Lo único que describimos son formas actuales y los correspondientes procesos, independientemente de que algunas formas sinsedimentarias o postsedimentarias pudieran condicionarlas. En este sentido, en ningún caso se hace referencia a paleocarst o *ripples* fosilizados en los estratos como los que presenta Santisteban en su texto (2014), a partir de fotografías propias que no coinciden con las localizaciones y formas que nosotros reproducimos en nuestro artículo (Sanchis et al., 2011).

En su trabajo, Santisteban (2014) discrepa fundamentalmente de la identificación de tres formas descritas por Sanchis et al. (2011):

flutes, *pseudoripples* y las *strath terraces*, que seguidamente comentamos.

a) *Flutes*

Estas formas, como se pone de manifiesto en nuestro artículo, han sido ampliamente discutidas en la bibliografía, en la que se encuentran diversas acepciones. En el trabajo de Richardson y Carling (2005) se especifica que el término *flute* “has been applied to six environmentally and morphologically distinct groups of features”. Concretamente menciona ambientes subglaciares, fluviales, cársticos, formas erosivas costeras, etc.

En el artículo de Sanchis *et al.* (2011) no hay ninguna confusión lingüística, ya que la definición en inglés dice textualmente, que entre las muchas acepciones existentes, “in this paper it is used to describe discontinuous furrows parallel to the flow, with upstream rims that are parabolic in plan view”, siguiendo la clasificación de Richardson y Carling (2005). Queda por tanto muy claro que en el trabajo no se utiliza la terminología de Allen (1969, 1982 y 1984) y que, aunque la expresión *marks* pudiera confundir, el sentido de la definición es evidente.

En nuestro trabajo se describen dos tipos de *flutes*: unas abiertas y otras cerradas. Las primeras se localizan sobre un resalte (*rib*) que aparece en la figura 2 de Sanchis *et al.* (2011). Tienen forma parabólica en planta, con bordes que se difuminan aguas abajo y una sección transversal más profunda aguas arriba y más suave aguas abajo (Figura 7) y se han localizado también en otros puntos de la rambla fuera del área de estudio, sobre resaltes similares. Estas estructuras se alinean siguiendo la dirección del flujo que, a su vez, sigue la dirección del meandro. En dicho trazado tiene gran importancia la red de diaclasas, como apuntamos en nuestro trabajo y reitera Santisteban (2014).

Las segundas, son formas cerradas, y por ello susceptibles de discusión, por lo que en este punto sí nos parecen justificados los comen-



Figura 7. *Flutes* abiertas localizadas en el *rib* de la figura 2 de Sanchis *et al.* (2011).

Figure 7. Open flutes, located on the rib of figure 2 of Sanchis *et al.* (2011).

tarios de Santisteban (2014). Ciertamente dudamos a la hora de calificarlas como *flutes* y de hecho ya apuntamos en el trabajo que probablemente son poligénicas, dado que pueden estar afectadas por la disolución. Sin embargo, optamos por clasificarlas como *flutes* cerradas, siguiendo dos argumentos:

- Por un lado Richardson y Carling (2005) reconocen que en los cauces en sustrato rocoso en ocasiones “there is a lack of truly open flutes —those whose rims flare in the downstream direction along the whole length of the bedform. Rather, their rims, though becoming less distinct with distance from the proximal end, often curve inwards again to join up at the distal end, i.e., the flutes are closed. Such flutes are therefore gradational with short furrows and further illustrate the idea of continuity of form”. Añaden que, mientras en los materiales blandos se pueden registrar todas las variantes hidrodinámicas del flujo, no sucede lo mismo sobre materiales más resistentes. Por este motivo,

“It appears that open flutes are favored by high-velocity flows” (p. 31). Obviamente, por tanto y de acuerdo con la definición que utilizamos, pueden considerarse como un tipo de *furrows*. No obstante, no los clasificamos como tales, porque existen ejemplos mucho más claros de dichas estructuras (Figura 8).

- Por otro lado, se descartó que fueran cuencos de disolución porque, a pesar de que este proceso indudablemente se da en dichas formas —como en otras como las marmitas de gigante, ya que conservan el agua de lluvia o de escorrentía—, la superficie de las estructuras es pulida y se observan estrías en sus inmediaciones. En ocasiones se asocian a diaclasas, pero en otros casos no se aprecia esta relación. En cualquier caso, las *flutes* por su origen requieren algún tipo de irregularidad que

genera la separación de flujo, que en el caso de lechos rocosos pueden ser irregularidades topográficas, cambios en la orientación del lecho, etc. La prueba más clara en este sentido queda reflejada en la figura 9, donde se observa cómo, dentro de una misma unidad estratigráfica compuesta por calizas micríticas, en las inmediaciones del *inner channel*, a la izquierda de la imagen, la superficie se encuentra pulida y se forman *flutes*, mientras hacia la derecha, alejados del *inner channel* y por tanto expuestos a flujos de menor capacidad erosiva, el techo del estrato presenta una superficie más rugosa, con cuencos de disolución de morfologías irregulares. La convivencia de dichas formas en un espacio reducido apunta un fenómeno muy habitual en la naturaleza: las transiciones dificultan notablemente las clasificaciones. Esta relación, entre unidades estrati-



Figura 8. *Furrows* en el lecho de la rambla aguas arriba de nuestra zona de estudio.
Figure 8. *Furrows* on the river bed, upstream the study area.



Figura 9. Transición entre *flutes* y cuencos de disolución. Junto al *inner channel* (izquierda) el techo del estrato aparece pulido y se forman las *flutes*, mientras que a la derecha, se forman cuencos de disolución irregulares, ya que la zona se encuentra alejada de las zonas de mayor velocidad del flujo.

Figure 9. Transition between *flutes* and small *kamenitza*. Beside the *inner channel* (left) the strata is well polished and presents *flutes*, whereas to the right, irregular *kamenitza* are formed, because the higher distance to the high velocity flow.

gráficas más o menos expuestas al flujo y la presencia o no de *flutes* se observó en diversos puntos de la rambla.

b) *Pseudoripples*

Por lo que respecta a los *pseudoripples*, el término se ha utilizado siguiendo la clasificación de Richardson y Carling (2005). De todas las identificaciones realizadas en nuestro artículo, esta fue la más compleja y la más dudosa, pero en ningún caso se ha utilizado por semejanza con los *ripples* que muestra Santisteban en la figura 16, que obviamente son sinsedimentarios.

Como su propio nombre indica y señalamos en nuestro trabajo no se trata de *ripples* sino de “undulating forms of the bedrock channel, in which crests and troughs alternate”. Ciertamente hay una cierta discusión en la terminología; de hecho, Richardson y Carling (2005) asignan los *pseudo-ripples* a un subtipo de las *hummocky forms*. En concreto las identifican como *Regular train of sharp-crested hummocky forms (SCHF)* y definen los *pseudo-ripples* y las *pseudo-dunes* como formas “that have a higher relief and consist of many crests, apparently with some regularity to their spacing, living the appearance of ripples or dunes depending on their scale”. La descripción de la forma coincide con diferentes términos utili-

zados por otros autores: *hummocky surface* (Wohl, 1992) y *ripple-like bedforms* (Hancock *et al.*, 1998, p. 40). Admitida la discusión terminológica, quizás hubiera sido más acertado calificarlas con el genérico de *hummocky forms*, sin descender a una escala de definición más detallada, dada la similitud de la fotografía de nuestro trabajo con la figura 84 de Richardson y Carling (2005, p. 51).

Evidentemente, cuando realizamos la clasificación de las referidas ondulaciones, nos planteamos dos hipótesis: que fueran formas heredadas o que fueran formas actuales generadas por el flujo aprovechando algún tipo de discontinuidad (en concreto un sistema romboidal de diaclasas). Finalmente optamos por lo segundo en base a dos consideraciones:

- a) En el caso de que fueran formas heredadas, la rugosidad que generan estas ondulaciones originan vórtices de varios tamaños y orientaciones, provocando divergencia en torno a las zonas sobreelevadas (Tinkler y Wohl, 1998; Richardson y Carling, 2005). Este hecho puede causar una retroalimentación entre las estructuras y el flujo que facilitan la persistencia de estas formas y no su destrucción y laminación.
- b) Los indicios que sugieren que, como afirma Wohl (1999), "*sculpted forms in bedrock are active, rather than relict forms, include a lack of signs of chemical weathering, a lack of biological growth (lichen, moss, etc.) and the presence of sharp edges and freshly abraded or polished surfaces*" (en Richardson y Carling, 2005, p. 4). De hecho, la misma unidad estratigráfica no genera estas formas tan pronunciadas a escasos metros, en las zonas del lecho más alejadas del talweg, donde la abrasión no es habitual y se observa mayor colonización por líquenes.

Santisteban (2014) sugiere que se comparen las formas de su figura 13, en la que reproduce unas ondulaciones de origen orgánico

en forma de domos, con las *hummocky forms* de la figura 4 de Sanchis *et al.* (2011). El paralelismo es escaso si lo comparamos con la similitud que presentan las formas que hemos identificado en la Rambla del Tambuc (Sanchis *et al.*, 2011) y las reproducidas por Richardson y Carling (2005, p. 51). Las formas de las imágenes de Santisteban (2014) son sin duda heredadas. Por su morfología y ubicación aparente es más que probable, ya que se localizan en los límites del lecho o en estratos sobreelevados, apartados de los lugares donde el flujo es más frecuente. Por el contrario, las que nosotros reproducimos, localizadas en el talweg, más pulidas y con ausencia de actividad biológica reciente en superficie, presentan una morfología más rítmica y regular, que deja de apreciarse fuera de la zona afectada por el flujo.

c) *Strath terraces*

Las *strath terraces* son citadas por Santisteban (2014, p. 17) para afirmar que hemos considerado todas las formas del lecho como de origen fluvial reciente, cuando en la página 65 de nuestro texto (Sanchis *et al.*, 2011) explícitamente se reconoce su vinculación al predominio de la estratificación horizontal: "*The almost flat strata and the intricate network of orthogonal joints encourage fragmentation, so that as the process affects the different strata a side-stepped channel is formed giving rise to successive strath terraces*".

De acuerdo con Goudie (2004), las *strath terrace* o terrazas de erosión "*are remnants of an older valley floor, into which the river has cut down. Erosional terraces scoured from bedrock are called bench, strath, or rock-cut terraces*". El término se utiliza en nuestro trabajo para definir los escalones que aparecen en el interior del cañón a diferentes alturas, incluyendo los que se sitúan ligeramente por encima del cauce actual. Por supuesto, en la mayoría de los casos coinciden, como señala Santisteban (2014), con estratos, dado que la estratificación es prácticamente horizontal.

Sobre el origen de las *strath terraces* y su significado, ha existido también una cierta controversia. Tal y como señalan Pan *et al.* (2003), las *strath terraces*, por definición, están talladas en el lecho rocoso y su datación se ha utilizado para establecer la ratio de incisión en cañones fluviales. Su formación implica períodos de incisión alternos con otros de desplazamiento lateral. Algunos autores han interpretado esta alternancia con cambios climáticos y sedimentarios, aunque recientemente, Finnegan y Dietrich (2011) en el Smith River (Oregon) plantean la formación de *strath terraces* impares simplemente por la dinámica interna del cauce meandriante en sustrato rocoso. Estos autores consideran que la propagación de *knickpoints* aguas arriba, siguiendo los meandros cortados favorece la incisión vertical, mientras que el alargamiento del canal y la correspondiente reducción de la pendiente durante el crecimiento de los meandros, suprime la incisión. Estos mecanismos favorecen la formación de *strath terraces* impares. Este modelo se reproduce en la Rambla del Tambuc, donde existen numerosos meandros cortados o desplazados a diferentes alturas que dejan relieves escalonados. Incluso en las inmediaciones del mismo lecho, los estratos escalonados reproducen el funcionamiento de los meandros, con un talweg en la cara externa del meandro y diversos escalones reproduciendo la estructura de un *point bar* (Figura 2).

Además, la definición que emplea Santisteban (2014, p.17) no es correcta y parece confundir las nociones de cauce y talweg, puesto que se refiere a estas formas como “superficies de erosión planas en el talweg del río”, cuando estas están en realidad en los márgenes del cauce y en las paredes del cañón, con independencia de si el talweg se localiza en el centro o en los laterales del lecho fluvial. Este autor es además impreciso en otro término fluvial, en concreto cuando se refiere al “lecho de inundación actual” (Santisteban, 2014, figura 2, p.12), expresión que de hecho es un oxímoron: un lecho fluvial no se puede inundar, porque es el lugar por donde transi-

ta habitualmente el flujo, mientras que una inundación implica un desbordamiento del cauce y la ocupación de espacios habitualmente libres de caudal.

5. Consideraciones finales

La crítica realizada al artículo de Santisteban (2014), basada en alguna ocasión a discrepancias justificadas —habituales en la praxis científica—, responde principalmente a interpretaciones o inferencias erróneas de nuestro texto (Sanchis *et al.*, 2014), que se centraba en el estudio de la naturaleza fluvial de diversas meso y microformas de la Rambla del Tambuc.

La influencia de la estructura y naturaleza del roquedo en la morfología de los lechos fluviales de origen calcáreo está fuera de toda duda. Es algo que en ningún momento trató de cuestionar nuestro artículo de 2011. Más bien al contrario, en las primeras líneas se advirtió de la importancia que estos y otros aspectos tienen en la morfogénesis fluvial, singularmente en cauces rocosos, al tiempo que se advertía que el artículo se centraba exclusivamente en la incidencia de los procesos fluviales en el lecho rocoso.

Tampoco negamos nunca en nuestro artículo la presencia de procesos poligenéticos, ni de micro y mesoformas de origen sedimentario distinto al fluvial. Estas últimas simplemente no se consideraron por no ser objeto de nuestro trabajo. Las aportaciones de Santisteban sobre la estratigrafía de la Rambla del Tambuc tienen, por tanto, un valor complementario a nuestros trabajos, centrados en identificación y clasificación de las formas fluviales.

Sea como fuere, su trabajo nos ha permitido aclarar algunas cuestiones que pudieron pasar desapercibidas en el original de 2011 y profundizar en el análisis de las citadas formas. Esperamos, en definitiva, que con estos comentarios las posibles discrepancias hayan quedado clarificadas para los lectores de la revista.

Referencias

- Allen, J.R.L. (1969). Erosional current marks of weakly cohesive mud beds. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39, 607-623.
- Allen, J.R.L. (1982). *Sedimentary structures*. 2 vols, Elsevier. Amsterdam. 593 pp.
- Allen, J.R.L. (1984). Sedimentary structures. Their character and physical basis. *Developments in sedimentology*, nº 30. Elsevier, 663 pp.
- Camarasa Belmonte, A.M.; Segura Beltrán, F. (2001). Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain. *Catena*, 45(3), 229-249.
- Finnegan, N. J.; Dietrich, W.E. (2011). Episodic bedrock strath terrace formation due to meander migration and cutoff. *Geology*, 39(2), 143-146.
- García Vélez, A.; García Ruíz, L. (1981). *Mapa Geológico de Lombay (746)*. IGME, Madrid. Memoria (39 pp) y mapa.
- Goudie, A. (Ed.). (2004). *Encyclopedia of geomorphology* (Vol. 2). Psychology Press, 1156 pp.
- Hancock, G.S.; Anderson, R.S.; Whipple, K.X. (1998). Beyond power: bedrock river incision process and form. In: Tinkler, K., Wohl, E. (Eds.), *Rivers Over Rock: Fluvial Processes in Bedrock Channels*. Geophysical Monograph, vol. 107. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 35-60.
- Pan, B.; Burbank, D.; Wang, Y.; Wu, G.; Li, J. & Guan, Q. (2003). A 900 ky record of strath terrace formation during glacial-interglacial transitions in northwest China. *Geology*, 31(11), 957-960.
- Richardson, K.; Carling, P. A. (2005). A typology of sculpted forms in open bedrock channels. The *Geological Society of America. Special Paper* 392, GSA Books Science ed., 105 pp.
- Sanchis, C.; Segura, F.; Rosselló, V. M. (2011). Distribution of bedrock channel erosion: micro and mesoforms in fluvio karstic canyons. *Cuaternario y Geomorfología*, 25, 3-4, 59-69.
- Santisteban, C. de (2014). Comentarios al trabajo titulado: Distribution of bedrock channel erosion: micro and mesoforms in fluvio karstic canyons, de Sanchis, C; Segura, F. y Rosselló, V. M. en Cuaternario y Geomorfología (2011), 25 (3-4), 59-69. *Cuaternario y Geomorfología*, 28 (1-2), 7-26.
- Santisteban, C. de; Suñer, M.T. (2003). Rastros de huellas de dinosaurios en carbonatos inter-supramareales del Cretácico superior, cuenca ibérica suroccidental (Valencia, España). En: *Dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España* (Pérez Lorente, F. Coord.) Ciencias de la Tierra, 26, 147-160. Instituto de Estudios Riojanos.
- Schumm, S.A.; Mosley, M.P.; Weaver, W. (1987). *Experimental Fluvial Geomorphology*. Wiley, 437 pp.
- Segura, F.; Fornós, J.; Rosselló, V.M.; Pardo, J.E.; Sanchis, C. (2009). Cañones fluvio cársticos meandrizantes: procesos y formas. *Congreso Internacional sobre Desertificación en memoria del Profesor John B. Thornes*. Universidad de Murcia, pp. 493-496.
- Tinkler, K. and Wohl, E.E. (eds) (1998). *Rivers over Rock: Fluvial Processes in Bedrock Channels*, Washington. American Geophysical Union.
- Wohl, E. (1992). Bedrock benches and boulder bars: floods in the Burdekin Gorge of Australia. *Geological Society of American Bulletin*, 104: 770-778.
- Wohl, E. (1998). Bedrock channel morphology in relation to erosional processes. In: *Rivers over rock: fluvial processes in bedrock channels* (K.J. Tinkler; E.E. Wohl, eds.). Washington, American Geophysical Union, 133-151.
- Wohl, E. (1999). Incised bedrock channels. In Darby, S. E. and Simon, A. (eds.): *Incised river channels*. Chichester, UK, Wiley and Sons, p. 187-218.