

JORGE RIQUELME PILOÑA

ESTRUCTURAS INTERNAS DE LAS
EOLIANITAS DE LES PENYES
DE L'ALBIR*

RESUM

Aquest article malda per entrar al món complex de les estructures internes dels dipòsits dunars quaternaris que, en forma d'edificis grimpadors de gairebé 200 m d'altitud, s'adossen al penya-segat marítim del vessant SE de la Serra Gelada entre Altea i Benidorm.

ABSTRACT

The present article is an introduction to the internal structures of the quaternary dunar deposits, as attached climbing bodies which arrive to an altitude of 200 m, located in the SE margin of the Serra Gelada between Altea and Benidorm.

RESUMEN

El presente artículo trata de introducirse en el complejo mundo de las estructuras internas de los depósitos dunares cuaternarios que, en forma de edificios rampantes de hasta 200 m de altitud, se adosan al cantil marino de la vertiente sudeste de la Serra Gelada entre Altea y Benidorm.

1. INTRODUCCIÓN

Con una longitud de 6 km, una anchura media de 1,5 km y una cota máxima de 438 m de altitud en l'Alt del Governador, se trata de una alineación montañosa con una orientación de N42°E, perteneciente al extremo oriental de las cadenas prebéticas valencianas.

Un bloque estructural monoclinial se ha modelado sobre materiales cretácicos, fundamentalmente de naturaleza calcárea, con una red de fallas compleja que se muestra aún activa y que es responsable de su frente costero acantilado. Su naturaleza estructural se anuda al sinclinal de Benidorm del que, según Ríos *et al.* (1961) forma parte, pero la influencia de las fallas actuantes en la Serra Gelada y la proximidad del diapiro de Altea,

* Este trabajo ha contado con una ayuda del Institut de Geografia de la Institució Valenciana d'Estudis i Investigació.

cuyos materiales evaporíticos del Keuper inducen a deformaciones en las estructuras superpuestas, dejan abierta la consideración posible de que sea un bloque hundido por tectónica y basculado por diapirismo.

El modelado de la Serra Gelada parte de la existencia de una vertiente continental (de vergencia NW) de carácter consecuente, subordinada a la estructura, y una vertiente cortada (de vergencia SE) formada por un perfil de cantil-talud remozado en su base por la acción del oleaje, cuyo origen habría que achacar a la activación de la trama de fallas.

La red hídrica se complica por la existencia de una paleored (ROSSELLÓ *et al.*, 1995), para cada vertiente en la que se han encajado barrancos pleistocenos, en función de la reactivación de las fracturas y de las líneas de debilidad que han rejuvenecido el relieve.

2. DEPÓSITOS DUNARES PLEISTOCENOS DE L'ALBIR

En la vertiente SE o flanco acantilado costero de la Serra Gelada, se localizan unos edificios dunares pleistocenos (ROSSELLÓ *et al.*, 1995), posteriormente litificados y que, en forma de dunas rampantes o trepadoras, se han adosado al antiguo cantil-talud continental. Estos depósitos presentan una interdigitación compleja de sedimentos de naturaleza eólica y terrestres. Estos últimos tendrían su génesis en la escorrentía superficial y en procesos gravitacionales, alimentados por la erosión del cantil superior y de los mismos depósitos eólicos más o menos consolidados. Todo el edificio dunar está siendo actualmente remozado por acción basal, debido al oleaje de la actual línea de costa, y por incisión de barrancos de funcionamiento esporádico en función de la alta energía del relieve y la intensidad e irregularidad de las precipitaciones mediterráneas.

La presencia de eolianitas parte de anteriores niveles relativos del mar, asociados a los periodos glaciales cuaternarios, en los que aquellos se pudieron situar por debajo de los 100 m de profundidad, aunque no se descarta la génesis dunar en condiciones transgresivas. Al presentar este tramo costero una plataforma continental muy tendida, dejaba expuesta a la acción de los procesos geodinámicos subáereos, en tiempos anteriores a la transgresión flandriense, una franja de unos 25-30 km de tierra paralela a la costa actual.

Los materiales detríticos relacionados con los fondos marinos y con la actividad erosiva del oleaje en su fase transgresiva quedaron sueltos frente al actual acantilado, lo que permitió su posterior transporte eólico desde las antiguas playas hasta quedar apresados por la barrera montañosa de la Serra Gelada, para trepar sobre ella en forma de dunas rampantes, creando así los actuales edificios dunares. Actualmente la deposición eólica a gran escala por las anteriores causas lógicamente ha cesado, al no existir una fuente cercana de alimentación de arenas. Sin embargo, la acción del viento remodela todavía el material suelto, proveniente, tanto de la meteorización del cantil superior, formado por calizas cuarzosas, como de los mismos depósitos dunares pleistocenos, por lo que en el complejo se pueden observar actualmente acumulaciones dunares de pequeña escala claramente holocenas y actuales.

En estos imbricados edificios dunares se halla el principal objeto de estudio en que se pueda probablemente hallar el hilo conductor de los cambios sufridos por la Serra Gelada, en función de los ciclos climáticos cuaternarios. Estos cambios aportan elementos a la reconstrucción paleoambiental de los tránsitos glaciales-interglaciales del litoral valenciano en su conjunto, escenarios de la evolución humana durante el pleistoceno medio y superior. De ahí que la clasificación e interpretación de los depósitos eólicos, aluviales y de ladera, intercalados y provenientes de medios distintos, la disposición espa-

cial de aquellos depósitos en referencia a las posibles fuentes de alimentación, su estratigrafía y naturaleza sedimentaria, así como su datación absoluta, se convierten en los principales interrogantes relacionados con esta superestructura dunar conservada de forma excepcional en la Serra Gelada.

La interpretación presenta una cierta dificultad, si tenemos en cuenta una serie de factores que convergen a lo largo del frente marino:

a) La compleja interdigitación en la secuencia sedimentaria que impide el seguimiento de las distintas fases deposicionales y erosivas de forma continua.

b) La inexistencia de perfiles completos, tanto longitudinales como transversales, que permitan la observación de las estructuras tridimensionales.

c) Las pocas dataciones absolutas efectuadas hasta la fecha por termoluminiscencia no permiten afirmar más que, en unos pocos niveles, la edad de los cuerpos sedimentarios no es superior a los 100 ka BP. (ROSSELLÓ *et al.*, 1995).

d) Registro geológico, de conservación precaria, debido al intenso ataque por parte de los procesos de meteorización a los que está expuesto.

e) A todo ello cabría añadir el difícil acceso a las distintas unidades deposicionales. El seguimiento de las facies y microestructuras en una disposición tridimensional de estas características es harto complejo y, en gran mayoría de los casos, prácticamente imposible.

Dentro de este esbozo general nos hemos centrado en unos pocos perfiles estratigráficos ya estudiados, los llamados, "Illots" y "Llosar", de los que existen ya algunos datos de carácter sedimentario y genético, así como algunas dataciones absolutas (FUMANAL y YÉBENES, 1996).

3. ESTRUCTURAS INTERNAS DE DEPOSICIÓN DUNAR

Serían las disposiciones sedimentarias típicas de procesos de transporte y deposición eólicos. Tienen su expresión morfogenética en los distintos tipos de dunas (parabólicas, barjanas, transversales, longitudinales, costeras, etc.) caracterizadas por una estratificación cruzada. Dicha estratificación, según autores (BAGNOLD, 1941; HUNTER, 1977; PYE and TSOAR, 1990), relaciona el tipo de estructura, su buzamiento y el proceso actuante con la génesis y evolución del edificio dunar. Por tanto, su estudio permite elaborar y apoyar teorías acerca del flujo aéreo, de su capacidad de transporte y de su dinámica sedimentaria, así como interpretar morfogenéticamente la disposición de los depósitos dunares en relación a los vientos actuantes (PYE and TSOAR, 1990). Además, mediante el estudio de estructuras pertenecientes a campos de dunas fósiles, junto al significado de la interdigitación entre ellas de facies interdunares e incluso de naturaleza no eólica, han permitido conocer las direcciones de los paleovientos, contribuyendo tanto a la paleoclimatología como a la paleogeografía a escala local y regional (HAVHOLM *et al.*, 1993; ATCHLEY and LOOPE, 1993).

Las estructuras sedimentarias internas, según los autores citados arriba, se clasificarían en *estructuras internas primarias*, que son reflejo directo de los procesos de transporte y sedimentación dunar, y las *estructuras internas secundarias*, como aquellas alteradas por procesos sin- o post-deposicionales.

3.1. Estructuras internas primarias de deposición dunar

La mayoría de los estudios relacionados con las estructuras deposicionales internas dunares se basan, más en observaciones de tipo sedimentológico, mediciones de intensidad, dirección y capacidad de carga de los vientos actuantes, así como en la morfometría y morfogénesis de las formas resultantes, que en el estudio de las propias estructuras. Además, cuando este estudio se acomete, suele quedar limitado a los principales cuerpos deposicionales internos, comprendidos entre planos erosivos netamente marcados, a escalas macroestratigráficas y con el uso indiscriminado del término general de *estratificación cruzada*.

Hunter (1977) relaciona tres tipos de procesos de deposición eólica por él observados; el flujo granular o *grainflow*, la caída granular o *grainfall* y la deposición por tracción o *tractional deposition*, con distintos tipos de estructuras reconocibles por presentarse en paquetes sedimentarios compactos, diferenciados entre sí por superficies de separación limitantes o *bounding surfaces*.

Dentro de los tipos principales de estructuras se hallan las series frontales o *foresets* (PYE and TSOAR, 1990) que, en las partes inferiores del edificio dunar se hallan truncados por planos erosivos, denominándose entonces *cross-bed sets* (PYE and TSOAR, 1990). Estas estructuras se darían por flujo granular.

La caída granular crea estructuras de precaria conservación, por su destrucción a lo largo de la migración de una duna. Sólo los granos de arena depositados a una cierta distancia frente a la duna, consiguen mantener depósitos laminares basales de bajo ángulo o *low angle horizontal bottom-sets*. Los contactos se muestran tanto netos como graduales y de carácter no erosivo.

Otro tipo de estructuras serían las series deposicionales superiores o *topsets* (PYE and TSOAR, 1990), formadas por láminas de estratificación ondulatoria translacional rampante o *climbing ripple translantent strata* bajo condiciones de deposición netas. Estos cuerpos se hallan sobre todo en la cara de ascenso o superficie de barlovento y en la parte superior de la duna o cresta, representando los planos de acreción de la misma en función del viento actuante. Este tipo de estratificación se produce por depósito de tracción que implica la migración de las ondulaciones de carácter dunar o *ripples* a lo largo de una superficie de deposición sobre la que cada una va avanzando.

3.2. Estructuras internas secundarias de deposición dunar

Las estructuras primarias se ven alteradas por distintos procesos provocados por una larga serie de factores como bioturbación, desplomes gravitacionales, flujo de arenas saturadas, tectónicos, entre otros.

Los deslizamientos y colapsos generan principalmente estructuras despegadas, rotadas y tumbadas. Por otra parte, una duna aislada de cierto rango o un complejo dunar regional puede ser afectado por la actividad tectónica a distintas escalas, siendo las alteraciones de mayor tamaño observables (DOE and DOTT, 1980).

La escorrentía superficial permite acumulaciones de materiales no eólicos de distinto calibre, canales pequeños e incluso la infiltración de la fracción más fina en las arenas por la percolación de los materiales alóctonos (PYE, 1983). Los cambios en el nivel freático pueden crear una ondulación de las láminas por cargas de carácter compresivo, al cambiar los parámetros estructurales de las series afectadas (KOCUREK, 1981). El desarro-

llo de una cubierta vegetal crea rizoconcreciones que perturban las estructuras en las que se desarrollan. La bioturbación es efectuada además por insectos, pequeños mamíferos y en su caso por acción antrópica.

El principal problema, a la hora de estudiar las mencionadas estructuras, se encuentra en la poca coherencia de los depósitos eólicos que, excepto en los casos de una litificación completa, dificulta enormemente la disección de perfiles a lo largo y ancho del edificio dunar. Así la mayoría de los estudios se basan en pequeñas dunas actuales y activas, generalmente barjanas y dunas transversales, en el caso de las aproximaciones genéticas y evolutivas de las mismas, o en dunas fósiles a la hora de determinar además posibles direcciones de los paleovientos causantes de dichos depósitos. Ahora bien, en el caso de las dunas trepadoras, como son las eolianitas de les Penyes de l'Albir, los textos consultados se limitan a esquemas de tipo teórico (TSOAR, 1983) sobre la implicación entre el viento actuante, la presencia de barreras montañosas obstaculizadoras del flujo eólico y la deposición de la carga sedimentaria resultante.

4. METODOLOGÍA

El difícil acceso a los perfiles escogidos, la magnitud de los mismos y la poca coherencia del material han limitado los estudios detallados, de manera que la principal herramienta de trabajo ha resultado ser la aproximación fotográfica.

Para cada nivel se han establecido dimensiones, definido los paquetes sedimentarios, se ha intentado una aproximación a la tipología de las estructuras, la medición de ángulos de buzamiento o de reposo y, en lo posible, la dirección de los vientos aparentes. Esto ha sido realizado por medición *in situ*, en trabajo de campo y posterior tratamiento informático de imágenes.

Con todo ello se ha intentado una interpretación de la dinámica sedimentaria de los depósitos dunares que ofrezca un elemento más de análisis a añadir al resto de trabajos en curso en les Penyes de l'Albir.

5. PRESENTACIÓN DE PERFILES

Los perfiles escogidos se disponen en dos grupos principales; el primero pertenece al edificio dunar situado frente a els Illots, (fig.1) al cual pertenecen los perfiles 1, 2 y 3, así como los perfiles de detalle 1a y 1b, los cuales se integran previamente en la descripción de la figura 2. El perfil 4 es la única aproximación a la parte superior de otro edificio, situado más al N en la localización denominada el Llosar (ROSSELLÓ *et al.*, 1995).

5.1. Edificio frente a els Illots. Perfil 1

El diseño de la figura 2 se basa en una foto obtenida desde el mar (foto 1) y ha sido incluida para facilitar la comprensión de los siguientes perfiles con ella relacionados, al permitir su integración en un modelo que aparece cada vez más complejo según se aumenta de escala. Hay que añadir que las mediciones efectuadas proceden exclusivamente del tratamiento informático de imágenes fotográficas, con lo que han de ser tomadas con cierta reserva, sobre todo en cuanto a los ángulos de buzamiento o de reposo de las estructuras deposicionales principales. El margen de error se debe a la tridimensionalidad del edificio dunar, a su fragmentación en distintos planos, así como a no estar

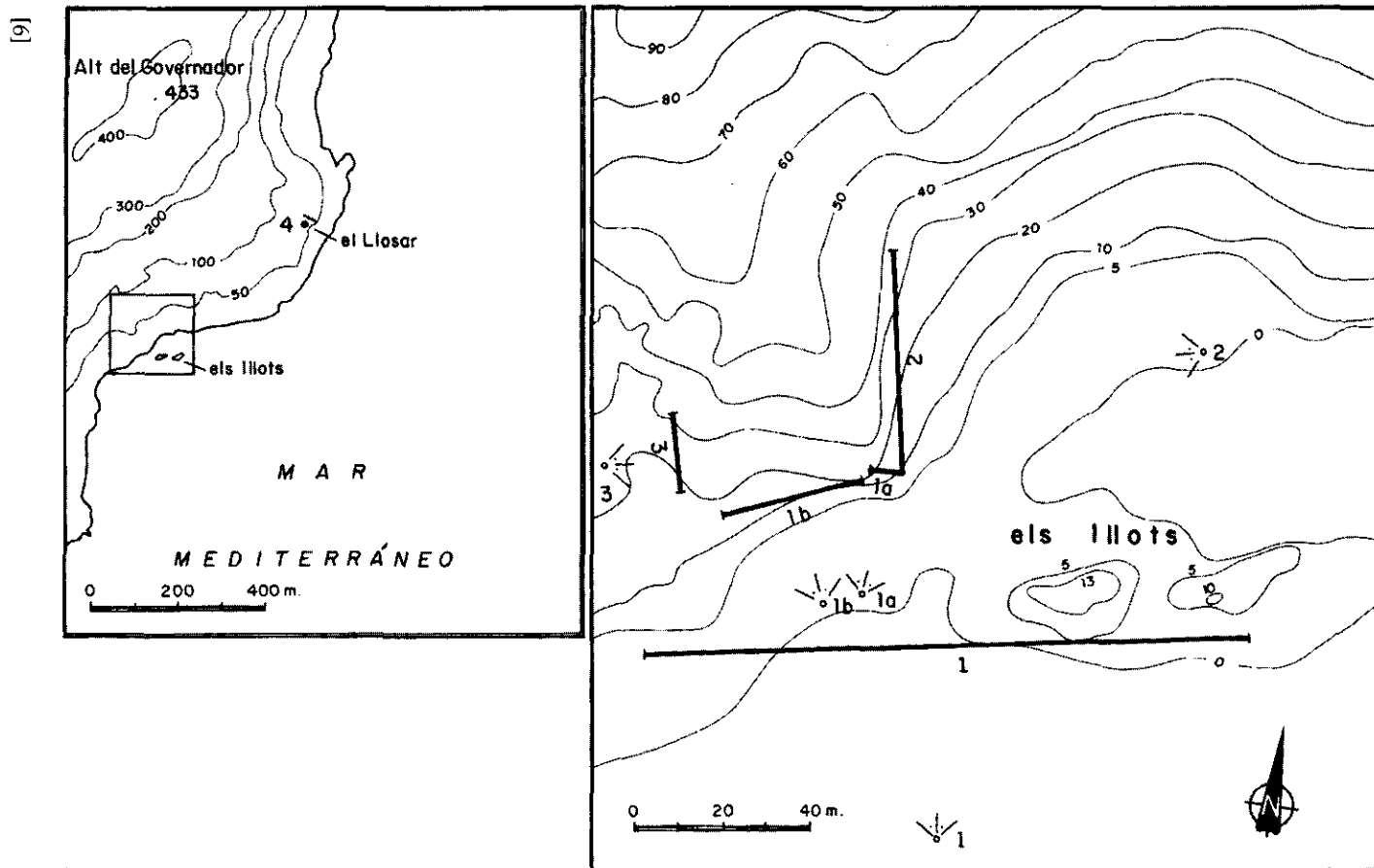


Fig. 1. Situación y orientación de los perfiles de els Illots y el Llosar junto con los puntos de referencia visual.

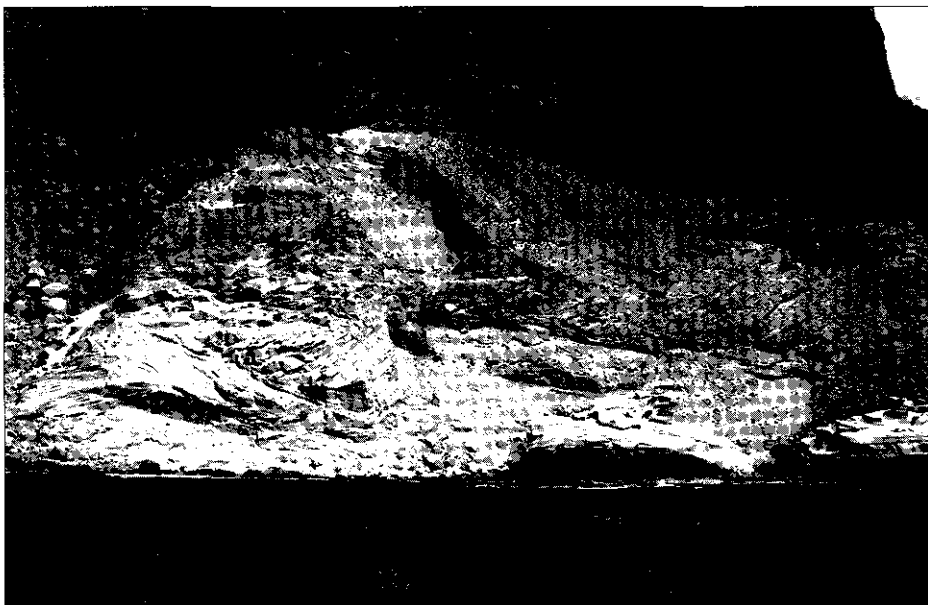


Foto 1. El edificio dunar pleistoceno de els Illots, desde el mar. Nótese en primer plano los islotes residuales; en segundo, las principales series eolianíticas y el ápice del cono; en tercer plano, el cantil estructural (Cf. fig. 1).

controlada la perpendicularidad del enfoque en sí. Sin embargo, el objetivo meramente descriptivo con el que ha sido diseñado, relativiza el margen de error, de forma que el perfil pueda considerarse útil.

Lo primero que cabe tener en consideración es que este edificio pertenece sólo a la parte superior de un complejo dunar que tuvo su base en algún punto no determinado por debajo del nivel del mar actual. Tampoco son conocidas su magnitud y complejidad, pues la erosión del oleaje a lo largo de la última fase transgresiva no permite evaluar las dimensiones originales. La complejidad del edificio es obvia, a poco que tengamos en cuenta la variabilidad de los cuerpos deposicionales observables a simple vista, quedando abierta, tanto la morfología general previa al desmantelamiento, así como las sucesivas morfologías sobre las que se fueron depositando.

La erosión ha dejado a la vista una sección aproximadamente transversal al complejo dunar, en la cual se pueden observar una serie de depósitos, relictos y actuales, de naturaleza diferenciada que resumen los procesos principales que han interactuado, tanto en este punto como en otros de les Penyes de l'Albir y a lo largo del pleistoceno.

En primer plano a la derecha de la figura se aprecian els Illots, que no son más que restos del edificio dunar en cuestión, actualmente erosionados por el oleaje, rodeados de una plataforma organógena y que presentan una balma típica de retroceso. Las estructuras deposicionales a la vista son sin duda interesantes al corroborar la continuidad del edificio bajo el mar, pero de momento han sido desestimadas en este estudio al no ser posible su correlación con el resto de los yacimientos inmediatos.

En primer plano a la izquierda aparece una sección, estudiada con más detalle en los perfiles 1, 2, 1a, 1b y 3, que centra las observaciones al presentar en un volumen relati-

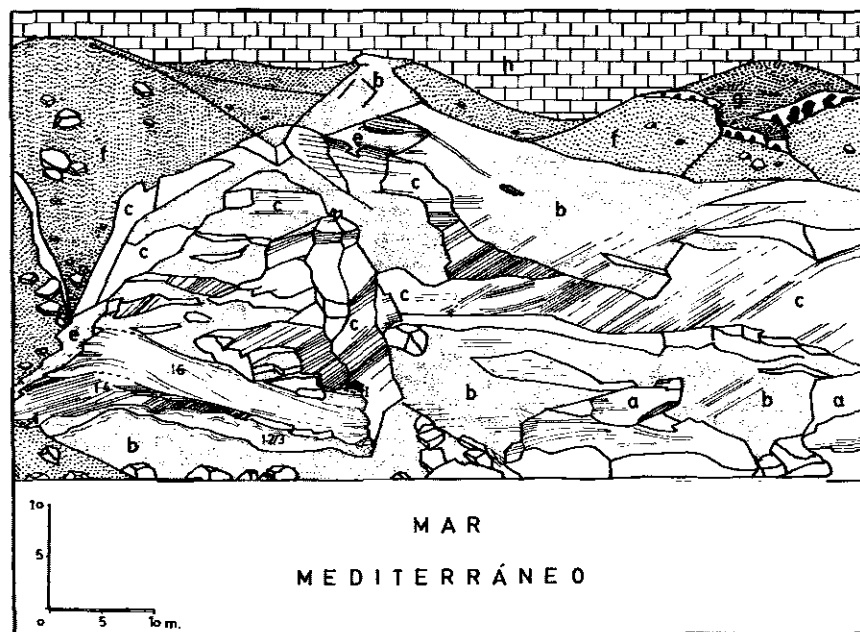


Fig. 2. Esquema general del edificio dunar pleistoceno de els Illots. La escala de referencia sólo es válida para el tramo central izquierdo, correspondiente a la serie "Illots". a) els Illots en primer plano sobre la superficie del mar; b) superficies de talud en el edificio dunar, con la estratificación allí donde es observable; c) cantiles de diversos sentidos, con la estratificación allí donde es observable; i-2/3, i-4 e i-6 corresponden respectivamente a los cuerpos sedimentarios de la serie "Illots" homónimos descritos con más detalle en el perfil 1b y por Fumanal y Yébenes (1996); i) depósitos no eólicos similares a la unidad i-10 en la serie "Illots"; e) depósitos dunares actuales; f) taludes de derrubios alimentados por el cantil superior; g) nivel "Cuevas"; h) cantil superior de calizas cretácicas.

vamente compacto, las direcciones principales de lo que parecen ser los planos de deposición eólica más significativos. Además el vaciado erosivo ha permitido obtener tres perspectivas de aproximación a la tridimensionalidad, cosa harto difícil de conseguir en otras localizaciones de la Serra Gelada. Corresponde todo este sector a el perfil "Illots", estudiado por Rosselló *et al.* (1995) y Fumanal y Yébenes (1996) por lo que en su descripción se usará la terminología ya existente.

En segundo plano, pero a la derecha de la figura, aparecen cuerpos deposicionales no estudiados en detalle por su inaccesibilidad, cuya dirección general aparente es correlacionable *grosso modo* con la serie superior del perfil 1a, cuyo buzamiento general es de 30° e indica unas direcciones de deposición notablemente diferentes, tanto respecto de la relación que cantil superior y edificio dunar habrían de tener en una duna trepadora típica (ISOAR, 1983), como de los cuerpos sedimentarios inmediatamente superiores e inferiores.

Entre ambos sectores de este mismo plano se aprecia una serie de sistemas cantil-talud escalonados, que están siendo desmantelados debido a la remoción basal del oleaje. Procesos claramente gravitatorios se desarrollan en este sector, tanto en la actualidad como en el pasado. De lo que es prueba el bloque de caliza situado a media altura y sobre

el que descansan estructuras claramente rampantes, pero relativamente planas, que desde esta perspectiva presentan ángulos de reposo marcadamente horizontales.

En un tercer plano se aprecian de derecha a izquierda tres conjuntos distintos:

a) Un talud detrítico formado principalmente por materiales provenientes del cantil superior de caliza cuarzosa y que se halla incidido por barrancos.

b) Estructuras dunares trepadoras que representan el punto de enganche al cantil superior remanente, a una altitud de unos 200 m y cuyos ángulos de reposo y direcciones de buzamiento no se han establecido.

c) Otro talud detrítico, esta vez coronado por la serie "Cuevas" (ROSSELLÓ *et al.*, 1995) que representa hasta el momento el depósito pleistoceno más antiguo. Entre este y la cresta del edificio dunar se halla oculto en la figura el barranco de la Pila que lo erosiona por el N.

Entre los tres sectores se encuentran las cuencas de los barrancos que limitan el edificio dunar y aportan los últimos elementos a la composición de lugar necesaria para entender toda la compleja serie de interacciones actuales que ocurren frente a els Illots.



Foto 2. Perfil 2. Eolianita socavada por el oleaje. Compárese con la fig. 3.

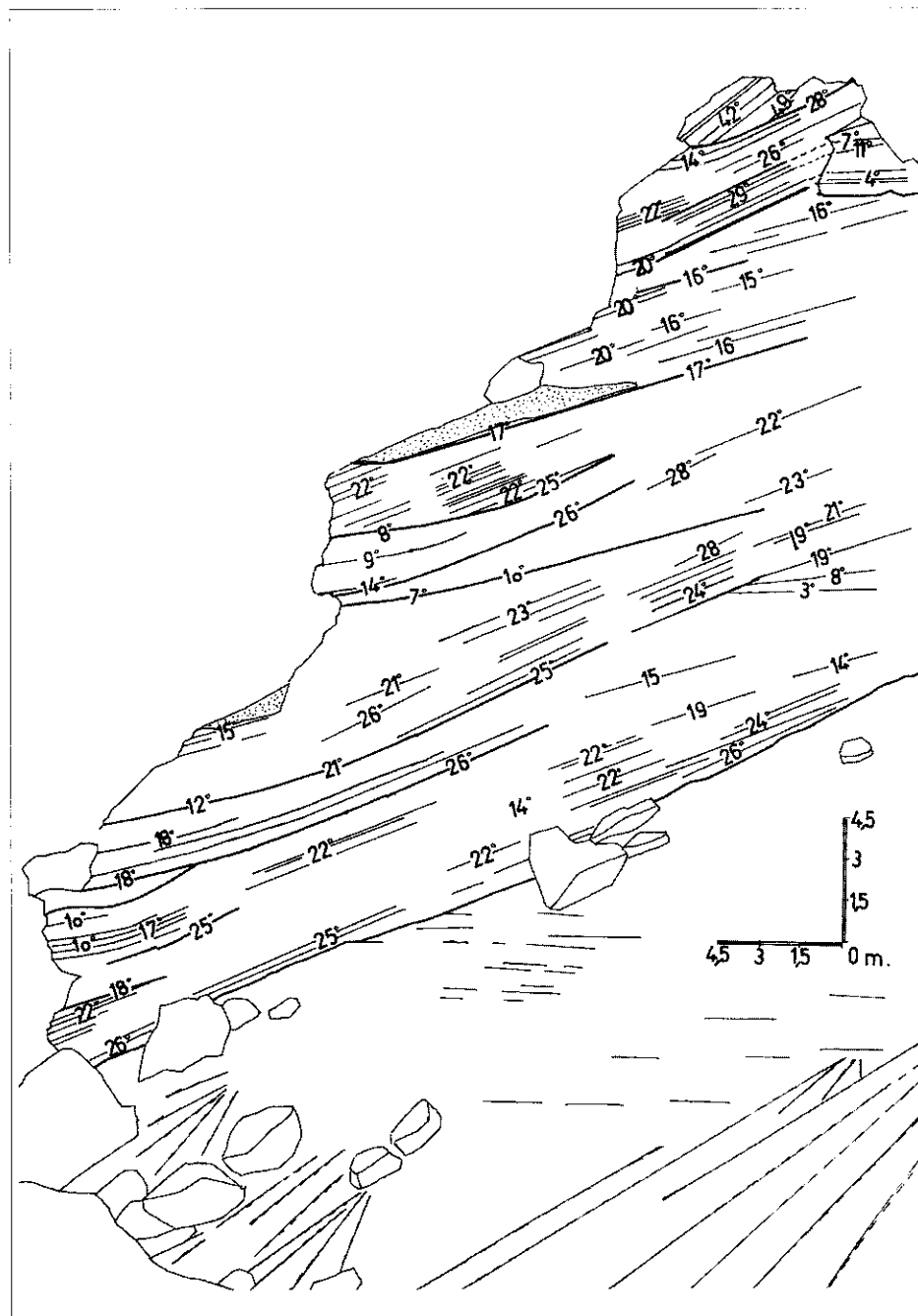


Fig. 3. Perfil 2 : explicación en el texto.

5.2. Perfil 2

Situado frente a els Illots (foto 2), se trata de una pared, fruto de la disección natural motivada por el socavamiento del oleaje y el consecuente desequilibrio de los paquetes dunares, parcialmente litificados, que componen la serie. La particularidad del perfil de dirección general N-S se basa en ser lo más aproximado a la sección longitudinal de los estudios típicos de estructuras dunares consultados. La potencia del perfil es de 36 m, la anchura sobre los 30 m y su base se halla a una altura de unos 5 m sobre el actual nivel del mar.

Los principales problemas a la hora de determinar los procesos de deposición son, por una parte, la parcialidad del perfil respecto a la magnitud del complejo, su situación en una altura indeterminada del edificio pleistoceno cuya base se halla bajo el nivel del mar. Queda abierta para un posterior estudio la clarificación de esta base que permita dimensionar la morfología general del complejo dunar en épocas preflandrienses. Respecto a la conservación de las estructuras de deposición, el perfil se halla muy degradado por la meteorización subáerea. Sobre todo, procesos derivados de la haloclastia destruyen con alvéolos o *tafoni* la superficie externa del perfil, desdibujando la estratificación al observador y dificultando por tanto su estudio (fig. 3).

Estos problemas, junto a la escala del perfil, reducen las posibilidades de descripción a los cuerpos dunares más evidentes, de varios metros de potencia, pero que no por ello dejan de ser significativos. De abajo a arriba el perfil se ordena de una forma secuencial muy coherente en relación a los ángulos de buzamiento de las estructuras, ya que estos se hallan en un rango cuya media son los 20°. La serie es relativamente sencilla en cuanto a la evolución temporal de los procesos de deposición se refiere. Las estructuras se disponen como estratificación rampante, siguiendo en gran medida las superficies de deposición anteriores, superpuestas según el edificio dunar iba adquiriendo volumen durante su génesis.

La falta de dataciones en los niveles del perfil sólo deja abiertas las aproximaciones evolutivas de naturaleza stratigráfica que pueden definirse por las pocas superficies de erosión significativas observadas. La primera aparece en el primer tercio del perfil donde (fig. 3), intercalada en los depósitos dunares, se observa una facies no eólica de arenas y cantos, correspondiente a un relleno de canal bastante similar al nivel I-10 (FUMANAL y YÉBENES, 1996), que marca probablemente un intermedio claro en el proceso de acumulación eólico. Este hiato es tanto más significativo en cuanto los perfiles 1 y 1a, corroboran dos direcciones de deposición completamente diferentes. Hasta el momento de la aparición del depósito, los anteriormente descritos cuerpos dunares trepaban hacia el cantil superior desde el SE. En algún momento posterior, los cuerpos dunares que se describen a continuación adquieren una dirección también *a priori* del SE, pero esta vez el buzamiento máximo se dirige hacia el mar.

Volviendo al perfil y a partir de la facies no eólica, se aprecia una nueva superficie de deposición cuyos ángulos van desde los 18 a los 25°, formando una secuencia que con pocas variaciones se sigue hasta la mitad del perfil, donde estos planos se complican algo más. Este cambio se basa en un plano de deposición con ángulos mucho más suaves que, iniciado con 7°, pasa a 10°. Esta superficie es difícil de seguir, tanto en este perfil como en el 1, al estar muy enmascarada por la meteorización, pero el estrato es el único discernible en una banda vertical de unos 3 m de potencia muy afectada por la tafonización, lo que nos permite individualizarlo. Su significación es poco clara, aunque aparentemente

presenta una ruptura en el proceso de deposición cuya determinación está completamente abierta.

Sobre la anterior se encuentran otras dos superficies de estratificación, siempre rampante, pero con ángulos algo más agudos, de 14 a 26° y de 8 a 25° respectivamente, que marcan un cambio nítido en el inicio de una nueva fase de deposición, al aparecer posteriormente un paquete muy compacto de estratos, también rampantes y con un ángulo de 22°, que presenta una coloración netamente más oscura que los estratos inferiores.

Sobre este paquete más compacto se dispone una serie de estructuras cuya apreciación se distorsiona por la orientación del perfil, que en esta parte superior presenta varios planos de profundidad escalonados. Comienza con una superficie de buzamiento de 17° que parece ser el techo del paquete anterior, aunque el contacto no se aprecia con nitidez. Esta superficie es la base para una serie de estratos también rampantes que van adoptando una cierta concavidad en el margen derecho del perfil, ya que los ángulos de reposo pasan de los 20° a los 16° aproximadamente. Esta convexidad aparente deja abier-



Foto 3. Perfil 1a de els Illots, visto desde el sur. Compárese con la fig. 4. (El cuadro de referencia tiene 1 m de lado).

ta la posibilidad de una estructura de transición hacia series superiores o *topsets*, aunque también es posible un menor ángulo de migración de las estructuras trepadoras. Ello sería significativo porque nos permitiría observar un cambio acerca de si la morfología en ese momento es típica de las dunas rampantes o de las dunas eco, aunque lo más probable sea una distorsión combinada por la óptica fotográfica y un cambio de plano relativo relacionado con la tridimensionalidad, ya que estas estructuras no se distinguen de forma clara en el perfil 1.

Por último aparecen en la parte superior dos zonas que presentan buzamientos muy distintos, pero que hay que tomar con reserva al poder estar distorsionados por la tridimensionalidad. La parte superior con ángulos cercanos a los 50° parece ser un bloque descolgado y rotado hasta adquirir esa disposición, mientras la parte inferior muestra ángulos que van desde los 20-22° a los 26-29°. Este último cuerpo se aprecia en el perfil 1 de forma que representa una nueva fase de deposición de la misma dirección que las anteriores series, pero con un buzamiento más suave.

5.3. Perfil 1a

Este perfil (foto 3) fue escogido en función de la posibilidad de un estudio con mayor minuciosidad. Con unos 6 m de altura, se sitúa en ángulo respecto al perfil 2, de manera que las estructuras anteriormente descritas se reflejan en este perfil, pero con mucho más detalle. La dirección del perfil es de ENE-WSW.

La serie se inicia en su base con la duna grisácea I-2/3 del perfil "Illots", la cual se presenta en primer plano enterrada bajo sedimentos de la meteorización del mismo perfil, que actúa como un sistema cantil-talud; por ello las estructuras no aparecen en este tramo, excepto en el ángulo inferior, donde han sido alteradas por una carstificación notable y sobre todo por efectos de la presión ejercida por los depósitos superiores que han provocado la ondulación de aquellas con estructuras de deformación en micropliegues suaves y de tensión (MCKEE and BIGARELLA, 1979). La duna gris presenta en este punto dos períodos netos de deposición, los cuales están separados por una superficie de erosión que las diferencia en estructuras con ángulos de buzamiento divergentes. Esto se ve muy claramente más al W del perfil 1 y es tratado con más detalle en el perfil 1b, pero parece ser que esta división neta no lo es tanto en este punto concreto, en el cual se puede advertir cierta gradación entre ambos tipos de deposición de forma que se pueden describir cinco cuerpos diferenciados (fig. 4).

El primero de ellos corresponde a la duna grisácea I-2/3 soterrada bajo los depósitos holocenos, fruto de la remoción desde la base por el oleaje.

Sobre ella aparece un cuerpo dunar con un buzamiento de 22°, bastante alterado por procesos de carstificación, al que se superpone con un ángulo de 7°, pero con un sentido completamente distinto, otro cuerpo difícil de determinar en función de las deformaciones sufridas por el paquete deposicional inmediatamente superior, cuyas estructuras han pasado de primarias a secundarias. Este último tramo presenta un ángulo de buzamiento prácticamente nulo en su parte superior, pero las láminas se van curvando poco a poco secuencialmente en una serie que parece pertenecer a la duna blanquecina I-4 que acabará oscilando, hasta alcanzar los 15° de buzamiento en la parte superior de la misma. El tránsito se halla difuminado por la meteorización; no queda muy claro si este proceso es, en efecto, una transición gradual o contiene un contacto erosivo. Queda en este punto abierta la posible existencia de un depósito entre las formaciones I-2/3 e I-4.

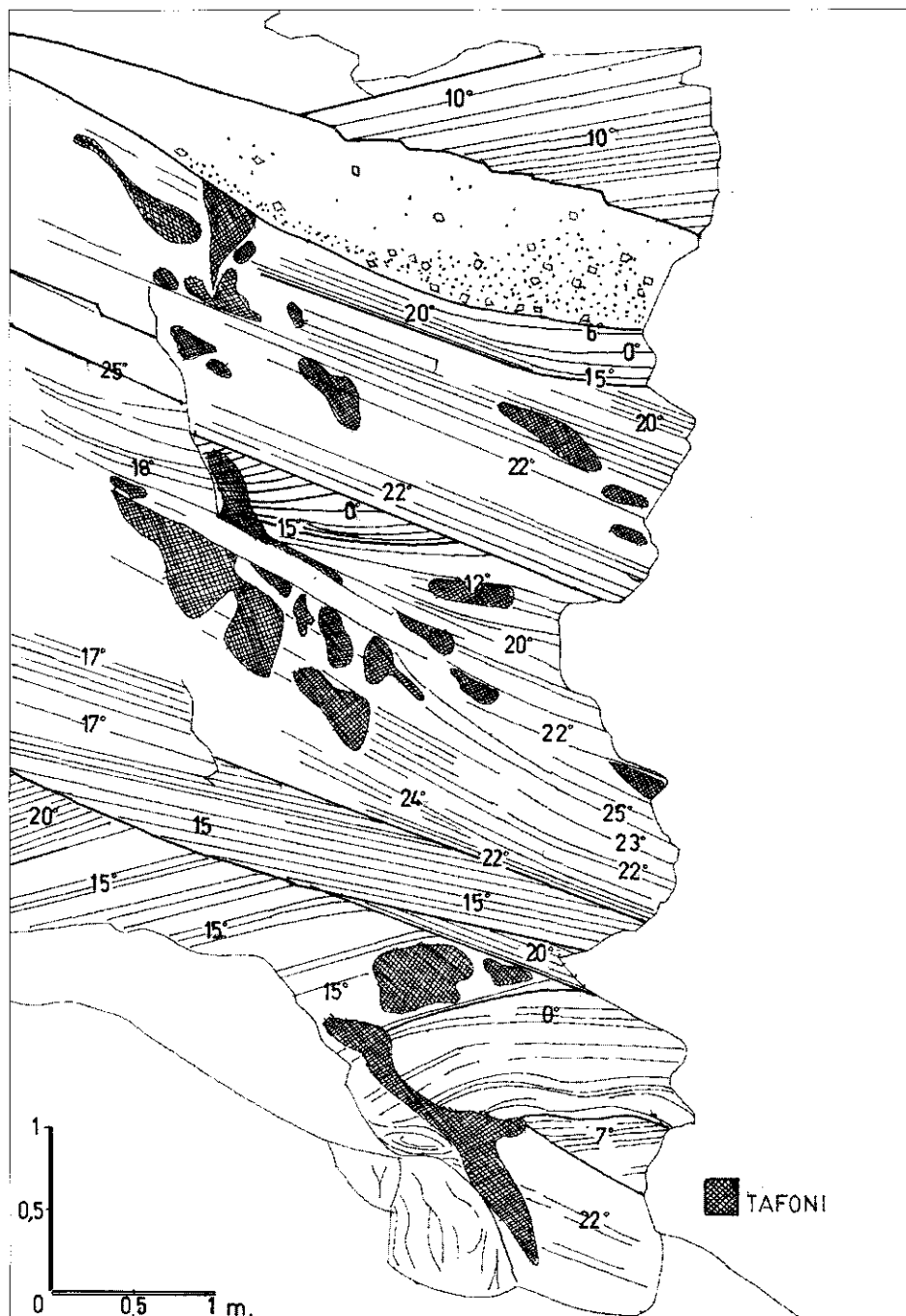


Fig. 4. Perfil 1a : explicación en el texto.

[14]

La segunda serie apreciable pertenece a la duna amarillenta I-6, cuya estratificación es claramente rampante, de dirección SE-NW, aunque con distintos ángulos y relativos paquetes deposicionales. La serie se superpone a la "duna blanca" en un claro contacto erosivo con un primer y apenas apreciable cuerpo, cuyo ángulo es de 20°. Le sigue un paquete formado por estratos compactos que buzanan 15° y cuya potencia es de más o menos medio metro. En primer plano la estratificación pasa a los 17°, pero en un plano más profundo se aprecia una superficie de deposición más aguda de 22° coherente con el mismo depósito visto desde la óptica del perfil 2. Este paquete va cambiando ligeramente su buzamiento hasta el punto donde los ángulos inflexionan y empiezan a tomar una dirección diferente, en lo que parece ser un cambio en la secuencia deposicional sin discordancias aparentes. Sobre este paquete deposicional sí que encontramos un cambio erosivo, que lleva consigo una nueva estratificación rampante cuyo ángulo pasa de 22° en la base a 20° en el techo, de forma gradual.

El último tramo se caracteriza por una ondulación leve de los estratos superiores, que suavizan su buzamiento, probablemente influidos por la presencia de la facies no eólica de la serie. Esta representa una clara interrupción del proceso de deposición eólica, como ya se ha comentado anteriormente.

Por último, la secuencia se halla coronada por un paquete deposicional, que empezó a acumularse por la acción eólica sobre el relleno aluvial. Su buzamiento aparece suave desde este ángulo, unos 10°, pero es mayor desde otros puntos de vista y diametralmente opuesto en cuanto a la dirección desde la cual se apilaron, en relación a los paquetes inferiores de la serie. La secuencia es parecida, en cuanto dirección y buzamiento, a las estructuras correspondientes en el perfil 1 comentado al principio.

5.4. Perfil 1b

Como el anterior, se trata de la serie "Illots", pero un poco más al oeste y representado en la figura 5. Se ha escogido por mostrar de forma clara los contactos entre los tres tipos de dunas vistas anteriormente: la duna grisácea I-2/3, la duna blanquecina I-4 y la duna amarillenta I-6 (ROSSELLÓ *et al.*, 1995). El interés viene por ser un sector cuya estratigrafía se describe e interpreta en detalle en esta obra por Fumanal y Yébenes (1996).

En la base encontramos la duna grisácea I-2/3, que presenta una deformación ondulatoria, aparte de su ya comentada carstificación o calcificación, que sería una estructura interna secundaria, sin excluir el flujo saturado (KOCUREK, 1981). La posibilidad que se trate de una duna vegetada queda abierta a un posterior estudio, aunque la ausencia de rizoconcreciones no parece apoyarla. La disposición de la estratificación tiene una dirección SSE-NNW y era antes de su deformación aparentemente rampante (foto 4).

Sobre ella, en contacto claramente erosivo, se disponen los estratos posteriores a la duna blanquecina I-4, con un buzamiento muy agudo, llegando a los 40° en algunos puntos, y una dirección radicalmente distinta. La erosión del perfil permite el seguimiento de su tridimensionalidad al aparecer en su límite superior cual cornisa, parte del cuerpo deposicional en otros puntos escondido. Puede observarse de nuevo como los estratos rampantes se disponen inversos a la dirección del acantilado. Esto es coherente con la presencia de bioclastos (FUMANAL y YÉBENES, 1996) que no se hallan, ni en el nivel inferior, ni en el superior y que le otorgan una identidad diferenciada.

Por último, con una dirección ya comentada de SE-NW y en otro contacto erosivo, se dispone la serie de cuerpos sedimentarios de la duna amarillenta I-6. La dirección y el

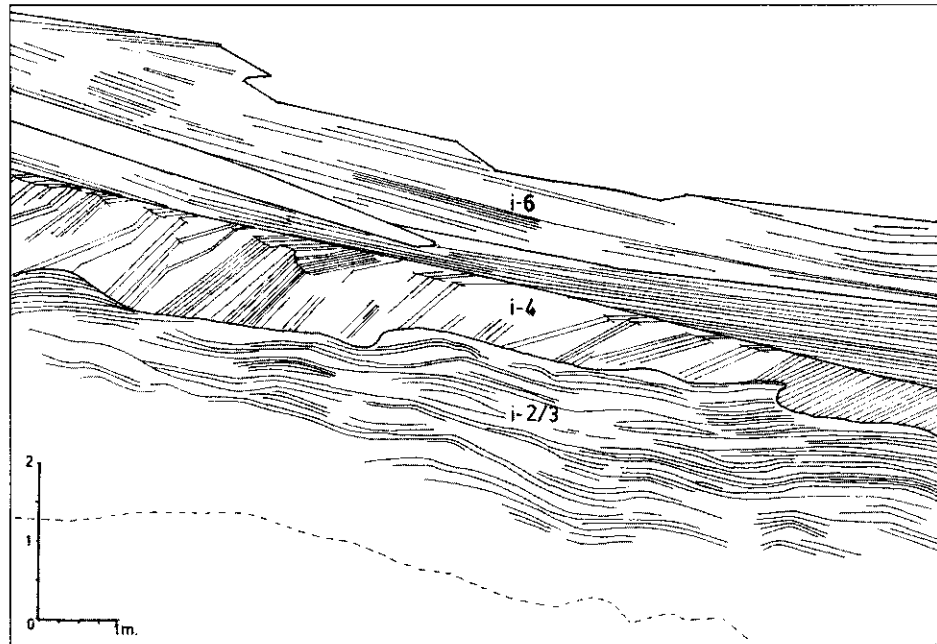


Fig. 5. Perfil 1b : i-2/3, i-4 e i-6 corresponden a las unidades homónimas la serie "Illots".

buzamiento es suave, 10° en el cuerpo inferior y de 10 a 15° en el superior. Esta disposición se puede seguir en el perfil 1, de forma que se interrumpirá en el momento que vuelva a invertirse la dirección aparente, similar por tanto a la dirección de la duna blanquecina I-4.

La parte superior de la figura ha sido dejada en blanco por la mala conservación y por distorsionar, al escalonarse la pendiente, el perfil.

5.5. Perfil 3

Se ha elegido este tramo del corte occidental para un estudio de detalle de unas estructuras atípicas en la serie de els Illots, ya que se presentan como disposiciones de estratificación rampante laminar, típicas de los *topsets* de las dunas estudiadas por los autores consultados (PYE, TSOAR, HUNTER, etc.), pero que parecen fuera de lugar en relación con las estructuras comentadas en los perfiles anteriores.

El perfil se encuentra a unos 25 m de altura en el margen izquierdo de un barranco que disecciona el edificio dunar enfrente de els Illots, y que ha expuesto estas estructuras de *topsets*. La figura 6 permite observar como el análisis tiene dos planos de referencia: el primer plano en la figura ha intentado mantener la tridimensionalidad para dar una idea de lo complejo de estructuras vistas en dos dimensiones y el segundo, es bidimensional para poder efectuar medidas de ángulos y direcciones de forma útil para su estudio.

Las estructuras de las partes superiores de las dunas no trepadoras observadas desde Bagnold a Hunter, Pye y Tsoar, entre otros, están coronadas por una estratificación de bajo ángulo a veces incluso nulo y que en la cresta de la duna se precipitan por la cara de alud

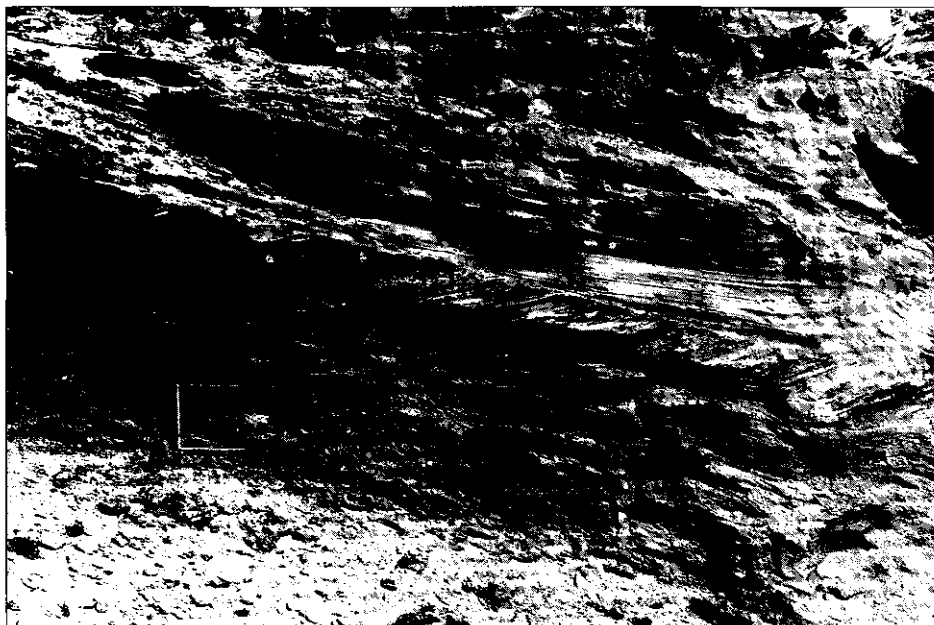


Foto 4. Perfil 1b (Cf. fig. 5) de els Illots, donde se individualizan claramente tres cuerpos eolianíticos: la duna grisácea (I-2/3), la blanquecina (I-4) y la amarillenta (I-6), en condiciones diversas de estratificación. El cuadro de escala tiene 1 m de lado.

o caída que han denominado *topsets* (Pye and TSOAR, 1990). Este tipo de estratificación no ha sido descrito como típico de las dunas rampantes, de ahí que su presencia en este lugar abra muchos interrogantes acerca de los procesos deposicionales en las dunas de este tipo. En este caso concreto se puede observar como, tras un ángulo de pocos grados, e incluso nulo, aparece un buzamiento de las láminas de entre 20 y 30°. Esto es todavía más significativo cuando la secuencia se puede seguir de base a cima de la figura.

En el primer plano o dibujo tridimensional, estas estructuras de *topsets* aparecen erosionadas, pero su disposición en forma de escalones consecutivos, con ligeros y graduales cambios en el ángulo de deposición, ilustra acerca de la naturaleza de unos *topsets* que en su momento pudieron ser la cresta de la duna. Estas estructuras, además, como se puede apreciar en la conjugación de los dos planos de observación, tienen una cierta componente cónica ya que los estratos denotan una relativa inclinación hacia el observador. Esta serie sigue hacia abajo, aunque no de forma tan nítida al estar ya enterrada prácticamente bajo los sedimentos holocenos, removidos por el barranco y procesos eólicos actuales de naturaleza gravitacional y de flujo granular, así como por desplomes de paquetes dunares al desequilibrarse por la incisión del barranco, que en la figura aparecen como flujos entre plantas que están fijando parcialmente las arenas.

5.6 Perfil Llosar

Este perfil de dirección ESE-WNW corresponde a un edificio dunar formado por series superpuestas de estratificación rampante con una potencia de unos 8-10 m, una

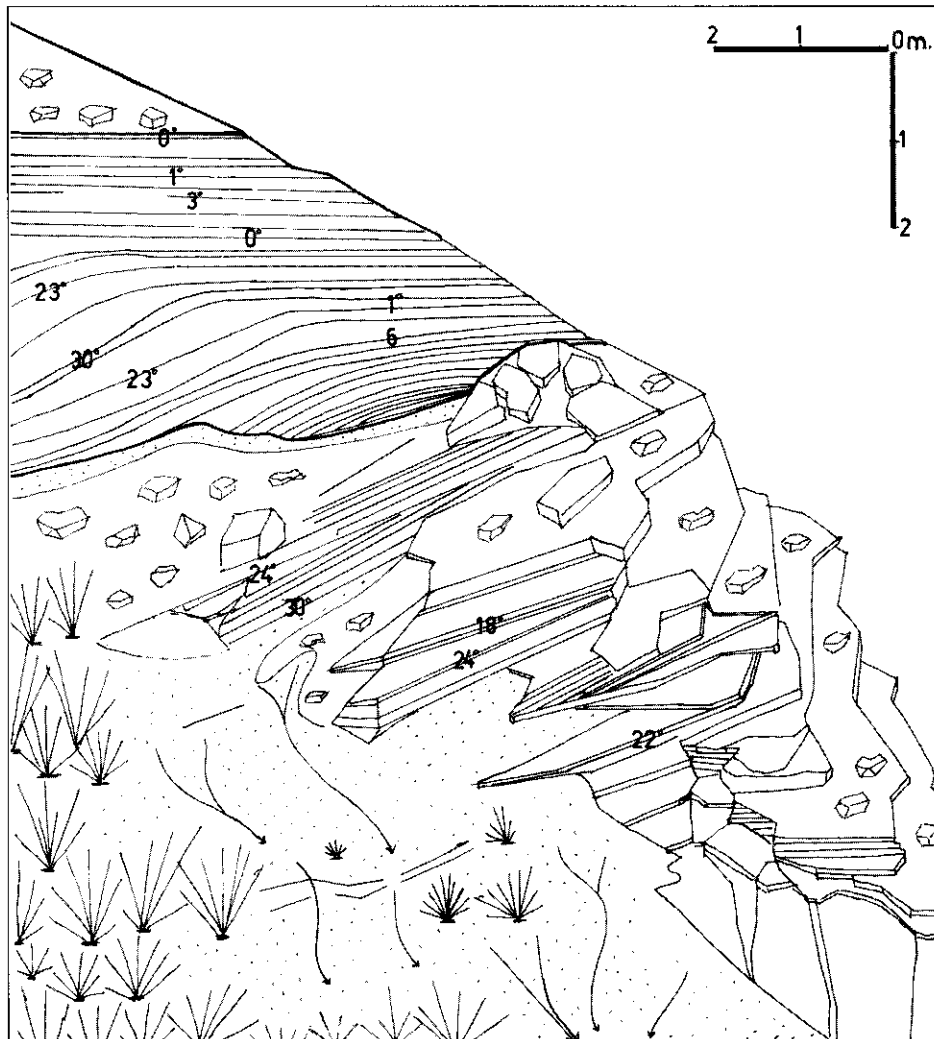


Fig. 6. Perfil 3 : explicación en el texto.

dirección de deposición del SE y localizado en el Morro de Sant Jordi (fig. 1).

La serie, representada en la figura 7, no es tan compleja en cuanto a su disposición interna se refiere, como los perfiles de els Illots; estas estructuras muestran buzamientos medios en torno a los 20° . De derecha a izquierda, los distintos cuerpos presentan una ligera convexidad al reducirse el ángulo de reposo unos pocos grados, en lo que parece ser una tónica general en la deposición, que se adapta a las superficies inferiores de forma gradual, al no existir grandes discontinuidades entre ellas.

Todo el edificio eólico está siendo remozado en primer plano por el barranco que vehicula los materiales superiores que le llegan por una serie de cantiles y taludes escalonados, en los que se pueden apreciar pequeños conos de derrubios. Este sistema deja

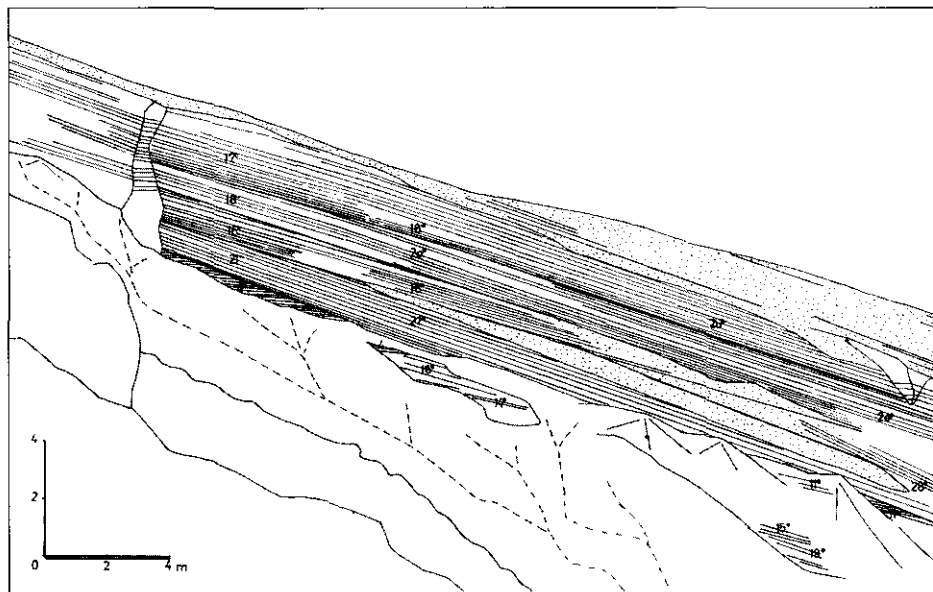


Fig. 7. Perfil 4 correspondiente a la serie "Llosar", explicación en el texto.

entrevé estructuras con buzamientos mucho más suaves, en torno a los 11° y 15° . Entre todas ellas y ya formando la base del cantil, aparece el cuerpo más tendido, de 4° de buzamiento, sobre el que descansan los cuerpos superiores. Indica este contacto claramente dos momentos bien diferenciados; el primero implicaría una estratificación más planar y típica de los *topsets* de las partes somitales de los edificios dunares, el segundo se adecua mucho más a lo que ya hemos visto como general en los perfiles anteriores. Otro momento anterior significativo, lo indica la disposición bastante más inclinada, 28° , de un paquete dunar apreciable en parte en el sector inferior derecho del perfil. Los contactos entre las superficies inferior y superior del mismo son como mínimo netos, siendo las diferencias de buzamiento bastante relevantes. La imposibilidad de seguir las láminas a lo largo del perfil hacia el mar, al hallarse el edificio colgado en la actualidad sobre un acantilado, formado por una potente serie de calizas jurásicas (ROSSELLÓ *et al.*, 1995), deja inconclusa una vez más la morfología pleistocena.

6. CONCLUSIONES GENERALES

a) Tanto el edificio dunar frente a els Illots, como el representado por el perfil "Llosar", muestran a grandes rasgos una preponderancia de estructuras de estratificación ondulatoria translacional rampante, en la cual los granos de arena se van superponiendo de forma que cada vez las series van trepando por las sucesivas superficies que ellas mismas generan. Estas tienen en el sector estudiado una pendiente media de $20\text{-}25^\circ$, aunque no se excluyan tramos de menor o mayor pendiente. La dirección de deposición es harto difícil de observar en detalle, siendo de momento la más claramente notada y sólo a nivel local la dirección SE-NW, con ligeras variaciones, sin que esto excluya ulteriores conclusiones.

b) Los paquetes deposicionales presentan en los perfiles estudiados contactos graduales y erosivos de forma que, a falta de dataciones concretas, se pueden distinguir en todos los niveles fases de deposición netas y de erosión posterior, dentro de su tránsito pleistoceno. Esto último es posible, tanto por procesos gravitatorios, presencia de bloques desplomados del cantil superior de la Serra Gelada englobados en la estratificación, de materiales de arroyada concentrada o aluviales, representados por el canal del perfil 2, así como por procesos de carácter eólico limitados por superficies de erosión claramente definidas, tanto por su contacto mutuo, como por la naturaleza de la estratificación y el ángulo y dirección del buzamiento.

c) Es llamativa la presencia de estructuras de naturaleza rampante, pero de dirección contraria a la general, con ángulos de alud que no contienen los paquetes sigmoidales típicos de las estructuras *foreset* (HUNTER, 1977; PYE and TSOAR, 1990), producidas por el flujo granular de una forma clara. Este fenómeno sugiere estructuras de estratificación rampantes inversas (HUNTER, 1977) que tendrían su génesis en la deposición generada por vientos contrarios a la dirección dominante. Esto deja abierta la posibilidad de que en algunos momentos de la evolución del edificio dunar pleistoceno se hubieran dado efectos eco (TSOAR, 1983) que los explicarían. También puede admitirse que estas series inversas sean estructuras relacionadas con brazos de dunas parabólicas o barjanas que desde la plataforma basal migraran hasta pasar a construir edificios rampantes o eco. La falta de datos para reconstruir el edificio dunar completo, y las relaciones en distintos períodos de su evolución entre las formas y dimensiones de la duna y del perfil cantil-talud, no permiten de momento corroborar ninguna de las posibilidades que, recordemos, no son excluyentes entre sí.

d) Las estructuras encontradas son en su mayoría de carácter primario; aunque se han apreciado formas secundarias (perfiles 1a y 1b), estas son minoritarias en las zonas estudiadas. Las alteraciones de las estructuras generalmente son de carácter fuertemente local, por lo que estas deformaciones post- o sin-deposicionales pueden ser más frecuentes de lo observado hasta el momento. Las deformaciones encontradas, de carácter ondulatorio, apuntan a procesos de flujo en estructuras saturadas (KOCUREK, 1981), pero también podría quedar abierta la posibilidad de formas debidas a dunas vegetadas.

BIBLIOGRAFÍA

- AHLBRANDT, T.S., ANDREWS, S.H. and GWYNNE, D.T. (1978) Bioturbation in aeolian sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*. 48: 839-848.
- ATCHLEY, S.C. and LOOPE, D.B. (1993) Low-stand aeolian influence on stratigraphic completeness: upper member of the Hermosa Formation (latest Carboniferous), south-east Utah, USA. *Aeolian Sediments Ancient and Modern*. London, Chapman and Hall. Cf. pp. 88-107.
- BAGNOLD, R.A. (1941) *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. London. Methuen. 265 pp.
- ESTEBAN, V. (1991) Las formaciones costeras plio-cuaternarias de Torrelamata y la Sierra Helada (Alicante). *Medios Sedimentarios (Resúmenes)*. VII Reunión Nacional sobre Cuaternario. Valencia. Universidad de Valencia.
- FUMANAL, M.P. (1995) Los acantilados béticos valencianos. *El Cuaternario del País*

- Valenciano. Valencia. Universidad de Valencia y Asociación Española para el Estudio del Cuaternario. Cf. pp. 177-185.
- FUMANAL, M.P. y YÉBENES, A. (1996) Los depósitos cuaternarios de les Penyes de l'Albir en el contexto sedimentario litoral valenciano. *Cuad. de Geogr.*, 60: 259-294.
- HAVHOLM, K. G., BLAKEY, R.C., CAPPS, M., JONES, L.S., KING, D.D. and KOCUREK, G. (1993) Aeolian genetic stratigraphy: an example from the Middle Jurassic Page Sandstone Colorado plateau. *Aeolian Sediments Ancient and Modern*. London, Chapman and Hall. Cf. pp. 88-107.
- HENNINGSSEN, D., KELLETAT, D. und HAGN, H. (1981) Die quartären Aeolianite von Ibiza und Formentera (Balearen, Mittelmeer) ihre Bedeutung für die Entwicklungsgeschichte der Inseln. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, 31: 109-133
- HUNTER, R. (1977) Terminology of cross-stratified sedimentary layers and climbing ripple structures. *47*, 2: 697-706
- KOCUREK, G. (1981) Significance of interdune deposits and bounding surfaces in aeolian dune sands. *Sedimentology*, 28: 753-780
- MCKEE, E.D. and BIGARELLA, J.J. (1979) Sedimentary structures in dunes. With sections on the Lagoa Dune Field, Brazil. MCKEE, E.D. (ed.) *A Study of Global Sand Seas*. US Geological Survey Profesional Paper 1052: 83-134
- NORDSTROM, K. F., PSUTY, N.P. and CARTER, R.W.G. (eds.) (1990) *Coastal Dunes, Form and Process*. Chichester, J. Wiley. 387 pp.
- PYE, K. (1993) *The Dynamics and Enviromental Context of Aeolian Sedimentary Systems*. London. Geological Society Special Publication Num. 72.
- PYE, K. and TSOAR, H. (1990) *Aeolian Sands and Sand Dunes*. London, Chapman and Hall, 342 pp.
- RÍOS, J.M., VILLALÓN, C., TRIGUEROS, C. y NAVARRO, A. (1960) *Mapa Geológico de España, escala 1:50000. Hoja 848. Altea*. Madrid, Instituto Geológico y Minero. 99 pp.
- REY, J., FUMANAL, M.P., FERRER, C., VIÑALS, M.J. y YÉBENES, A. (1993) Correlación de las unidades morfológicas cuaternarias (dominio continental y plataforma submarina) del sector Altea-Villajoyosa (España). *Cuad. de Geogr.*, 54: 249-267.
- ROSSELLÓ, V.M., ESTEBAN, V., YÉBENES, A. y FUMANAL, M.P. (1995) Les Penyes de l'Albir : geomorfología cuaternaria. ALEIXANDRE, T. y PÉREZ GONZÁLEZ, A. (eds.) *IX Reunión Nacional sobre Cuaternario.Madrid*. C.S.I.C.-AEQUA. Cf. pp. 3-14
- SANJAUME, E. (1985) *Las costas valencianas. Sedimentología y morfología*. Valencia, Universidad de Valencia. 505 pp.
- TSOAR, H. (1983) Wind tunnel modelling of echo and climbing dunes. M.E. BROOKFIELD and T.S. AHLBRANDT (eds.) *Aeolian Sediments and Processes*. Amsterdam. Elsevier. Cf. pp. 247-259.

