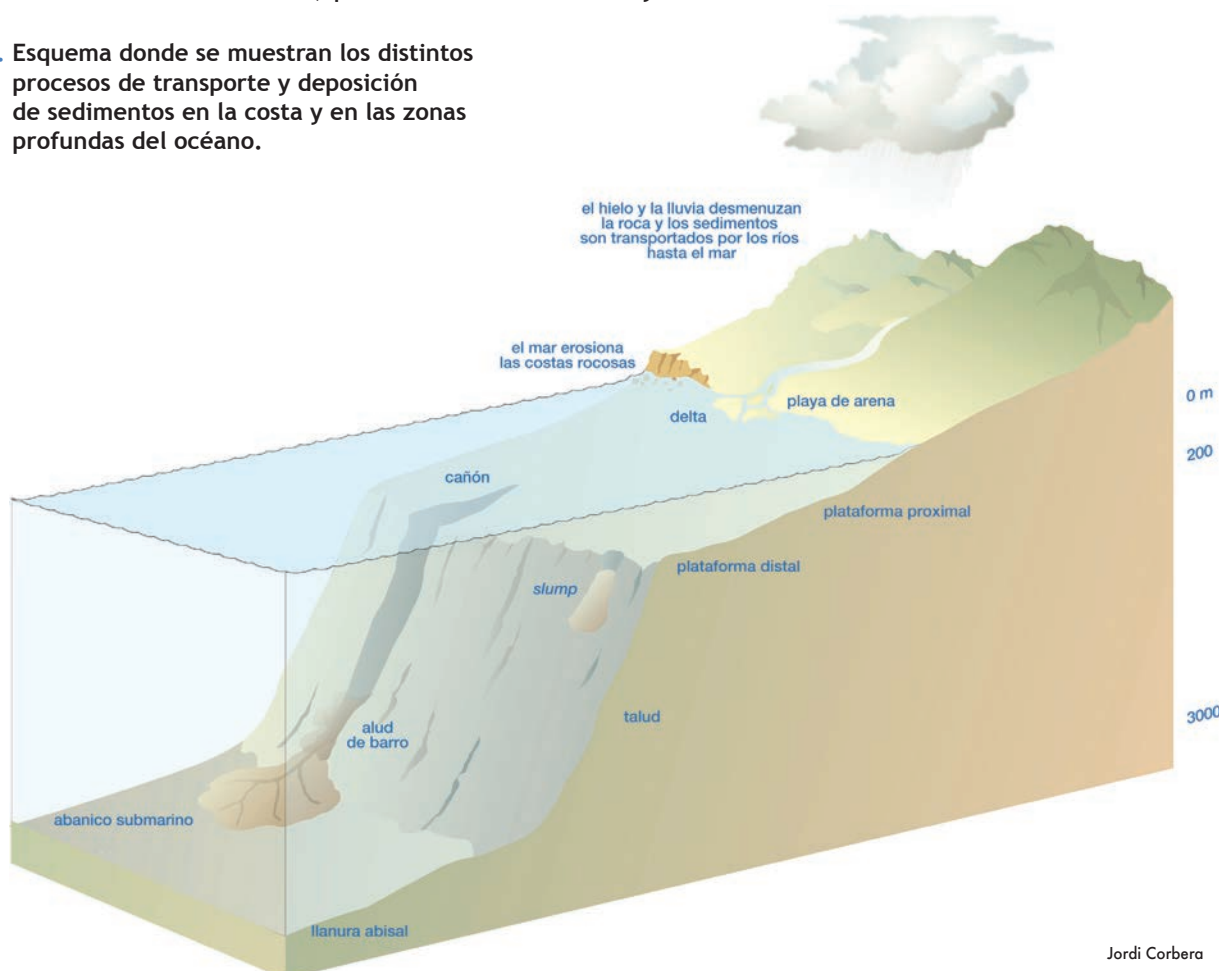


La vida en la arena

1. Introducción a los ambientes sedimentarios

Las rocas de la corteza terrestre, expuestas a distintos factores físicos o químicos —como el efecto del agua, el hielo, el viento, los cambios de temperatura o la acción de los organismos—, van erosionándose. Los fragmentos de roca resultantes son transportados por el viento, los ríos y los glaciares, a veces a lo largo de muchos kilómetros, hasta lugares donde se depositan. A este proceso, por el cual el material sólido es transportado y depositado, se denomina *sedimentación*; el material que se deposita recibe el nombre de *sedimento*. Según el lugar en que se deposite y según los mecanismos de transporte del sedimento, se crearán distintos tipos de ambientes sedimentarios. Si la sedimentación se produce en el continente, por ejemplo, se pueden formar ambientes fluviales o lacustres (ríos y lagos); en cambio, si se produce en la transición entre la tierra y el mar, se forman ambientes litorales, que varían mucho según la geología del lugar y que incluyen acantilados y playas, estuarios y deltas; si la deposición tiene lugar en el medio marino, contribuye a la formación de plataformas continentales, pero también del talud y las llanuras abisales.

Fig. 1. Esquema donde se muestran los distintos procesos de transporte y deposición de sedimentos en la costa y en las zonas profundas del océano.



Jordi Corbera

La sedimentación cerca del continente puede realizarse con rapidez; en cambio, en mar abierto es muy lenta: desde un milímetro hasta pocos centímetros en mil años. A través del estudio de los sedimentos acumulados, podemos entender mejor la historia de la Tierra, la expansión del fondo oceánico, las alteraciones del campo magnético terrestre y los cambios de las corrientes oceánicas y el clima.

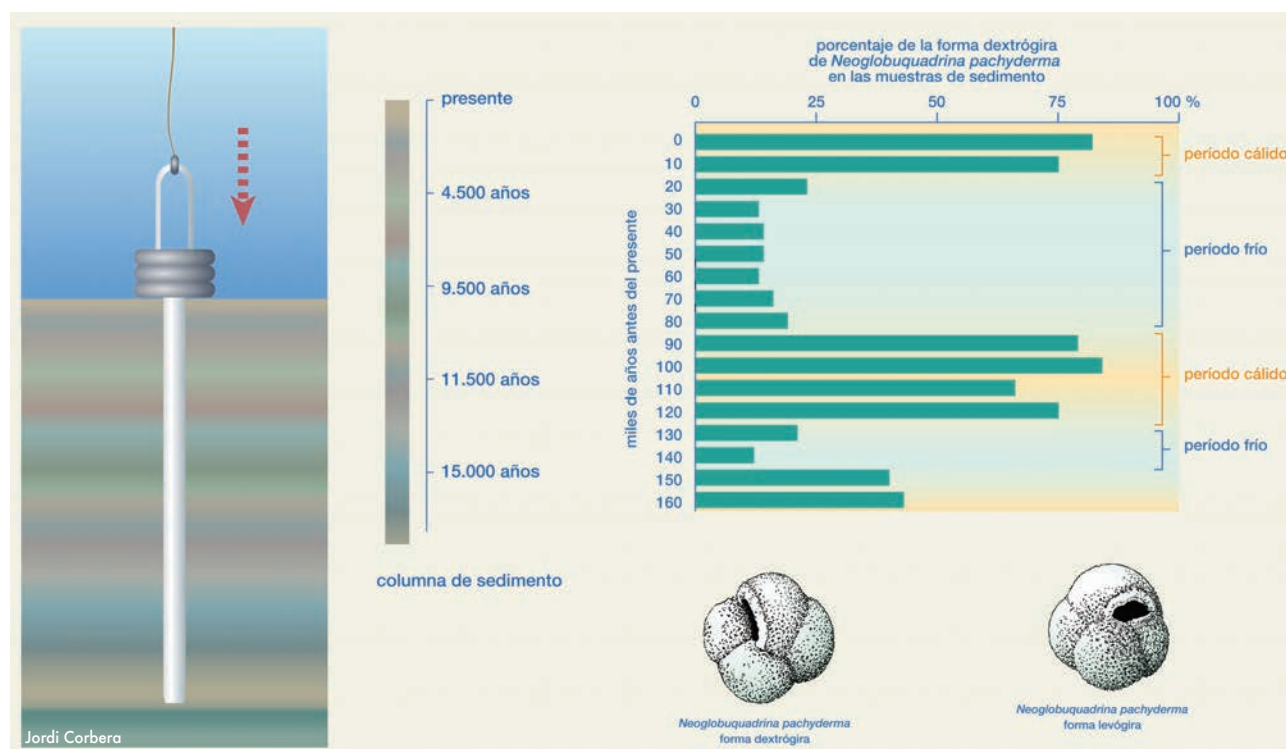


Fig. 2. El estudio de los foraminíferos encontrados en testigos de sedimentos puede dar información sobre ambientes pasados.

1. La arena

La arena es el resultado de la disgregación de las rocas y minerales de la corteza terrestre. En términos geológicos, la arena es el material compuesto por partículas que miden entre 0,063 y 2 mm —por tanto, una partícula individual de este tamaño es un grano de arena—. En función de su origen, la apariencia y composición de la arena varían: si proviene de rocas volcánicas, por ejemplo, estará compuesta sobre todo de partículas negras o rojas; pero si proviene de un arrecife de coral, en cambio, será blanca y estará formada por gran cantidad de restos de organismos marinos. La arena puede ser arrastrada por el viento, en cuyo caso forma dunas; y puede ser arrastrada por el agua hasta la costa, en cuyo caso forma playas.

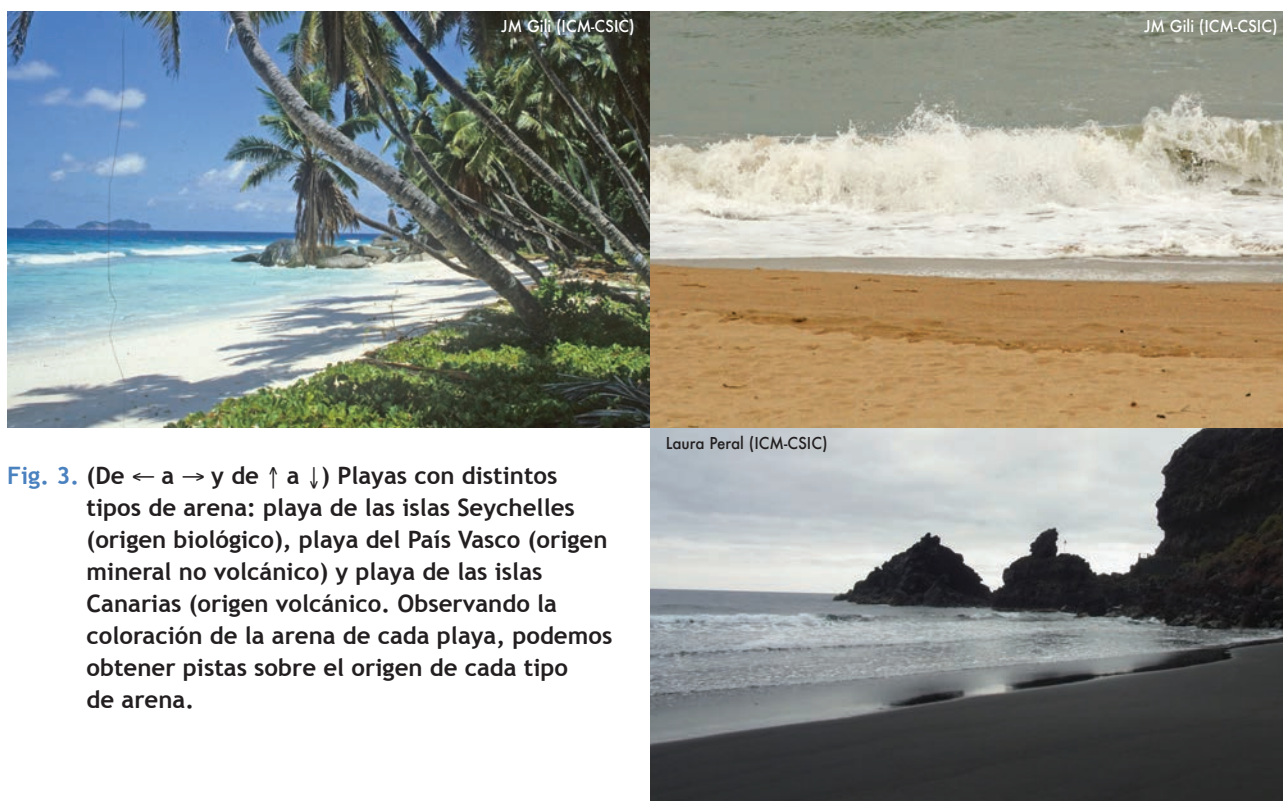


Fig. 3. (De ← a → y de ↑ a ↓) Playas con distintos tipos de arena: playa de las islas Seychelles (origen biológico), playa del País Vasco (origen mineral no volcánico) y playa de las islas Canarias (origen volcánico. Observando la coloración de la arena de cada playa, podemos obtener pistas sobre el origen de cada tipo de arena.

1.1. Clasificación de la arena

La arena está compuesta por granos no consolidados y heterogéneos. Hay distintos criterios para clasificar la arena que compone los sedimentos, pero los más comunes son el origen de los granos, el color, el tamaño, la forma y la composición mineralógica.

1.1.1. El origen

La arena que forma un sedimento varía en función de su procedencia y también de las condiciones del lugar en que se deposita. Según su procedencia se puede distinguir:

- **Arena de origen mineral.** Proviene de la erosión de rocas de la corteza terrestre y está compuesta principalmente de minerales, que variarán según el tipo de roca de la cual se erosionaron. De la erosión y el transporte de rocas sedimentarias derivan los limos, arcillas, arenisca, etc.; en estos casos se habla de *sedimentos terrígenos*. El mineral más común en la arena es el sílice —uno de los más abundantes en la corteza terrestre—, que se encuentra a menudo en forma de cuarzo. Pero en algunos lugares podemos encontrar arenas que contienen feldespato, mica y minerales oscuros, como hierro y magnesio, que provienen de la erosión del granito. Estos elementos son transportados por los ríos hasta la costa, por lo que es más común encontrarlos cerca de la desembocadura de ríos, lejos del lugar de donde proceden. Si en la playa encontramos vidrio u olivina, por ejemplo, probablemente deriven de rocas volcánicas, como el basalto, que, por cierto, forma el suelo de la mayor parte de los océanos.

- **Arena de origen biológico.** Está formada por los restos de las partes duras (básicamente esqueletos y caparazones) de organismos marinos; en este caso se habla de *sedimentos biogénicos*. El tipo más abundante de sedimento biogénico es el calcáreo, formado mayoritariamente por carbonato de calcio proveniente de los restos de caparazones y esqueletos de organismos microscópicos del plancton, así como de corales, algas calcáreas y otros organismos, como bivalvos o equinodermos. A veces, puede incorporar cantidades de *maërl*, un alga calcárea que forma una especie de nódulos que cubren algunos fondos. Pero el sedimento biogénico también puede estar compuesto de sílice si proviene de las frústulas de diatomeas y radiolarios en lugares donde estos son abundantes.

Sin embargo, cuando analizamos la arena de una playa, lo más probable es que encontremos una mezcla de elementos tanto de origen mineral —proveniente de los ríos que desembocan cerca— como de origen biológico —proveniente de los organismos marinos que habitan esa zona.

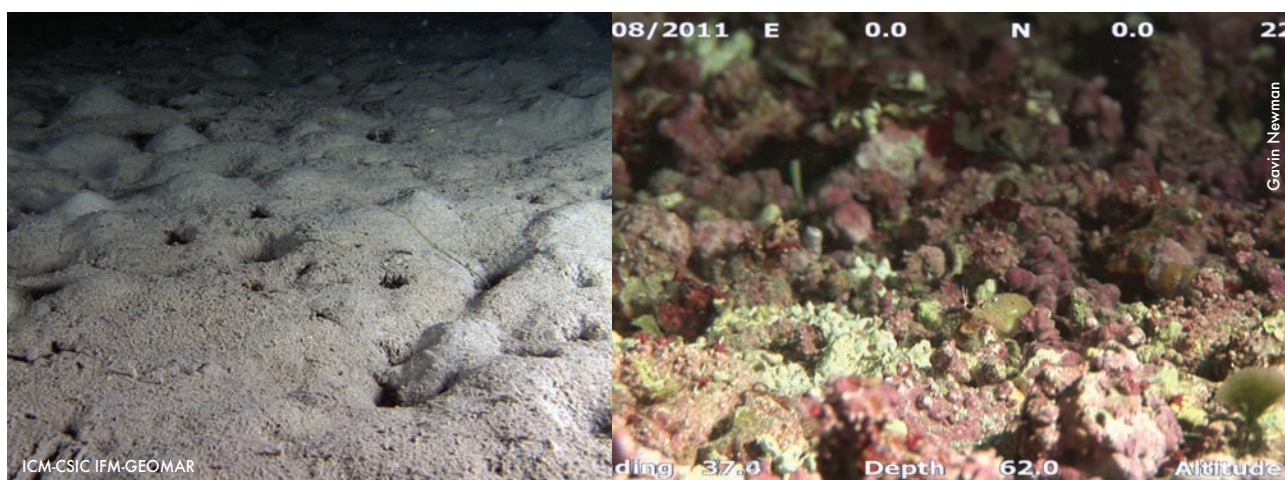


Fig. 4. (←) Muchos fondos de plataforma continental están formados por sedimentos terrígenos muy finos, como, por ejemplo, arcillas y limos, en los que algunos organismos cavan sus madrigueras. (→) El fondo de *maërl* es un fondo de origen biogénico, donde podemos observar nódulos calcificados bastante gruesos.

1.1.2. El color

El color del sedimento es un buen indicador de la composición y del ambiente físico y químico de donde procede y es una característica que puede verse a simple vista. Por ejemplo, la arena que se origina a partir de rocas o lavas volcánicas es de color negro o rojo, debido a la predominancia de minerales como el hierro y el magnesio. El color amarillo indica la presencia de sílice, y un color amarillento rosado significa que probablemente proviene de rocas graníticas en las que hay abundancia de cuarzo, mica y feldespato. Los granos de arena de color blanco generalmente denotan la presencia de carbonato de calcio, asociado a la presencia de restos de organismos marinos.

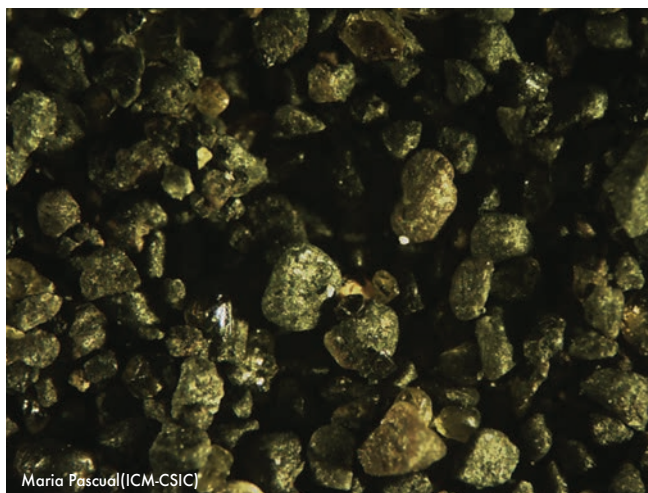
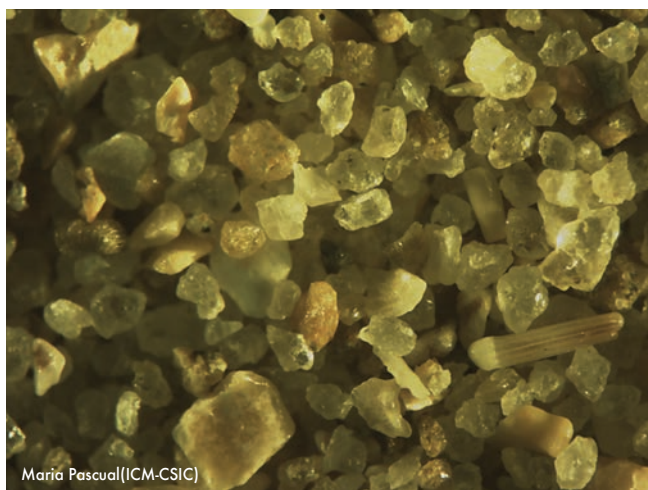
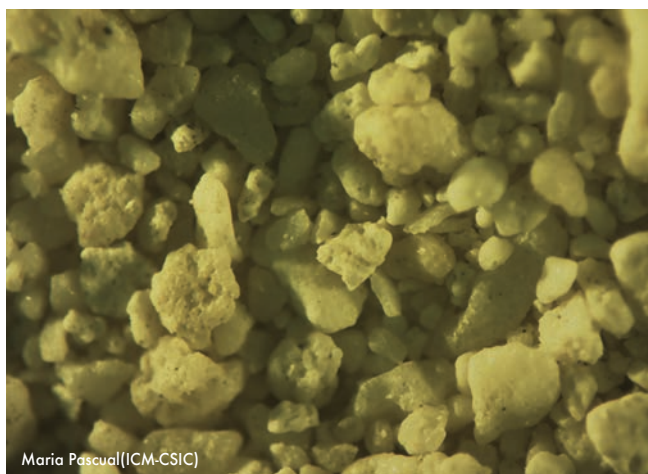


Fig. 5. Tipos distintos de arena vistos a la lupa: (De ↑ a ↓) arena biogénica de una playa de Zanzíbar, arena mineral de una playa del País Vasco y arena volcánica de una playa de las islas Canarias.

1.1.3. El tamaño

Uno de los factores físicos que más influyen en las comunidades biológicas que hallamos en un sedimento es el tamaño de los granos que lo componen. Para hacer una primera aproximación relativamente rápida, debemos frotar un poco de sedimento entre los dedos: los granos de arena dan lugar a textura arenosa; mientras que los limos y las arcillas, cuyas partículas son de menor tamaño que los de la arena, dan lugar a una textura más suave. En realidad, la mayoría de los sedimentos están compuestos por una mezcla de partículas de distintos tamaños, presentes en distintas proporciones. Así, la arena de una playa puede estar compuesta de granos más gruesos, incluidas rocas, y también de pequeñas cantidades de limos o arcillas.

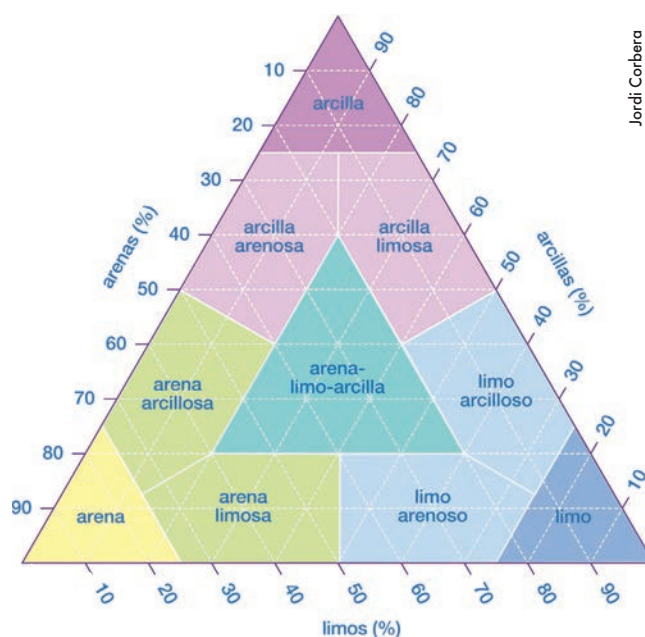
- **Granulometría.** Para determinar con precisión la composición de un sedimento, debe hacerse un estudio granulométrico. En función de su tamaño, podremos clasificar los granos de sedimento según la siguiente escala granulométrica:
 - Piedras y guijarros: entre 20 y 2 cm.
 - Gravas: entre 2 cm y 2 mm.
 - Arenas: entre 2 y 0,050 mm.
 - Limos: entre 0,050 y 0,002 mm.
 - Arcillas: menores de 0,002 mm.

Los limos y las arcillas reciben a veces el nombre de *lutitas* —sedimentos y rocas detríticas cuyos granos o clastos tienen un diámetro inferior a 0,05 mm—. Las gravas son ruditas sin cementar, es decir, un grupo de rocas sedimentarias detríticas, cuyo tamaño de grano es superior a los 2 mm.

Esta clasificación permite diferenciar y separar los distintos materiales que componen un sedimento, así como determinar la abundancia de cada uno de ellos, lo que permite conocer indirectamente el origen de las partículas, cómo han sido transportadas y cuáles son sus propiedades mecánicas. Cuando la composición de los granos es uniforme, decimos que tienen una buena selección o una buena clasificación granulométrica; si los granos son de tamaños muy distintos, se habla de una mala selección o mala clasificación de los granos.

Uno de los métodos más sencillos que se pueden utilizar para obtener esta clasificación es hacer pasar la muestra de sedimento por unos tamices (una especie de coladores) de diferente tamaño de malla, colocándolos en una columna en orden descendente, de forma que el de mayor luz de malla quede en la parte superior. Luego se somete toda la columna a vibración y a movimientos rotatorios, ya sea manualmente o mediante una máquina especializada. Así, las partículas quedan retenidas en cada tamiz según su tamaño, ya que las mallas actúan como filtros de los diferentes granos. Luego, con las proporciones de partículas de cada diámetro retenidas, se puede realizar una curva granulométrica.

Según el porcentaje de los distintos tamaños de grano del sedimento se puede determinar la denominada *textura del suelo*, que es la composición granulométrica del sedimento. Cada término textural (es decir, el adjetivo con que se califica un sedimento, como, por ejemplo, *arenoso*, *arcilloso*, *limoso*, etc.) está definido por una determinada cantidad de cada uno de sus componentes. Por ejemplo, un sedimento compuesto de un 25 % de arena, un 25 % de limo y un 50 % de arcilla se dice que es *arcilloso*. Para saber la clase textural del sedimento que estamos estudiando, se puede realizar un diagrama triangular. En este se expresa la cantidad (en porcentaje) de tres de los componentes del sedimento, y a partir de estos datos se clasifica el sedimento dentro de una categoría determinada.



Jordi Corbera

Fig. 6. Esquema de un diagrama triangular, donde se observan las distintas clases texturales en función de su composición.

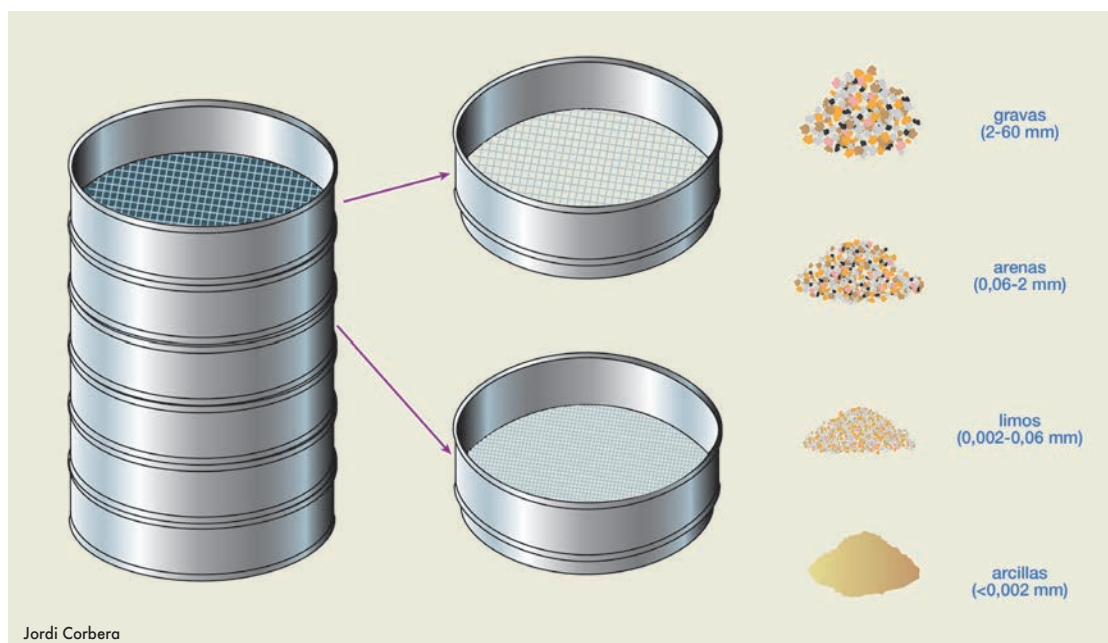


Fig. 7. Esquema de una columna de tamices preparada para hacer un análisis granulométrico, que sirve para separar granos de diferente tamaño.

1.1.4. La forma

La forma de los granos será diferente según el origen y la edad de la arena, y nos ayuda a entender el tiempo que ha sido transportado el sedimento. Un grano más redondeado indica que ha sido transportado desde más lejos por un río, por el viento o por la corriente, o que lleva más tiempo de recorrido que una partícula que presenta más irregularidades y bordes angulosos. Asimismo, existe una relación entre el tamaño de los fragmentos y la distancia que recorren, de modo que un sedimento depositado lejos de su lugar de origen habrá sufrido más procesos erosivos, y, por tanto, las partículas que lo componen serán más pequeñas.

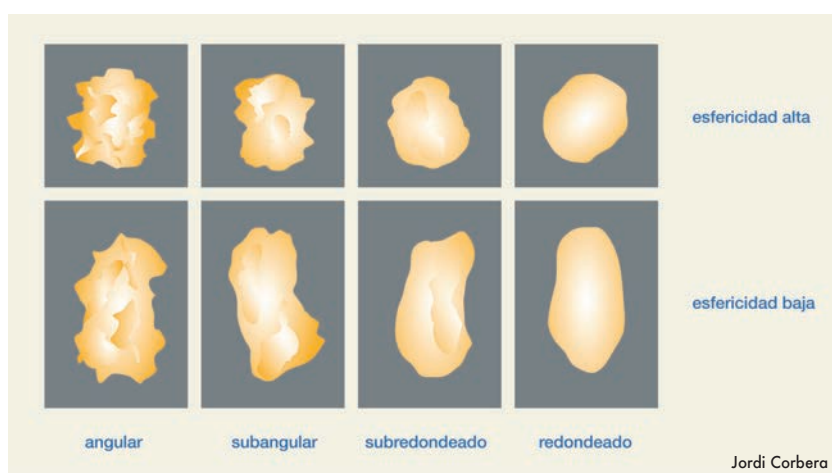


Fig. 8. Esquema que muestra la clasificación de los granos de arena según su esfericidad y angulosidad.

1.1.5. La composición mineralógica

Los componentes más comunes de la arena de una playa suelen ser:

- **Cuarzo.** Es el componente predominante en la mayoría de las arenas, ya que proviene de rocas graníticas, las más abundantes en la corteza terrestre. Aunque la coloración y la forma pueden variar, lo más frecuente es que los granos de cuarzo que componen la arena sean incoloros y semitransparentes y de una consistencia vítrea.
- **Feldespato.** Es de color rosado o blanco, con la superficie mate —es decir, sin brillo.
- **Mica.** Se encuentra en forma de láminas o cristales hexagonales, de color negro y muy brillantes. Se ralla fácilmente con la punta de una aguja.
- **Carbonato.** Se encuentra principalmente en forma de calcita. En general, es bastante redondeado, brillante y de coloración variable. Reacciona y se disuelve muy rápidamente con un ácido, por ejemplo, con ácido clorhídrico (HCl) al 10 %.
- **Fragmentos de rocas.** Son especialmente abundantes en las gravas, y si son inferiores a 25 cm, reciben el nombre de *guijarros*; pueden encontrarse en la arena, pero con tamaños inferiores a los 2 mm. Proviene de la fragmentación de diversos tipos de roca, como pizarras, micacitas, calizas, areniscas, etc.
- **Restos orgánicos (bioclastos).** En la arena de playa podemos encontrar con frecuencia restos de organismos marinos, como conchas de moluscos y de foraminíferos, púas de erizo, artejos de las patas de crustáceos, restos de fanerógamas marinas, etc. Algunos flotan después de agitar la muestra con agua, por lo que se pueden separar fácilmente.

2. El sedimento como hábitat

Aunque pueda parecer un desierto de vida, la arena constituye el hábitat para una gran variedad de especies. Sin embargo, al sufrir continuamente agitación por olas y mareas, aportes de agua dulce, periodos de desecación, etc., constituye un hábitat muy inestable, donde la vida es difícil, y los organismos deben estar adaptados a estas condiciones inestables. Uno de los lugares más accesibles y conocidos compuestos de arena son las playas.

2.1. La playa: ambiente sedimentario costero

Las playas están formadas por el depósito de partículas sedimentarias de diversos tamaños, desde fina arena hasta rocas, que se acumulan a lo largo de la costa. La mayoría están compuestas de sedimentos terrígenos transportados por los ríos hasta la costa, o erosionados de los acantilados y del lecho marino. Estos materiales se mezclan con otros de origen biológico, como conchas y esqueletos de organismos marinos, que son llevados a la playa por olas y corrientes y constituyen la arena de playa que conocemos.

El tipo de arena de una playa puede darnos información sobre su origen: si es de grano más grueso, seguramente viene del mar, transportada por las corrientes; si, en cambio, es de grano más fino, seguramente provenga casi directamente de los ríos; si es muy fina y de color blanco, como la de las playas cercanas a los arrecifes tropicales, deriva de la fragmentación de los esqueletos de corales. La fuerza del oleaje y del viento distribuyen todos estos materiales a lo largo de la costa, en función de su tamaño. En general, la arena más gruesa, como la grava o los guijarros, es empujada hacia la parte más alta de la playa; las partículas más pequeñas, en cambio, suelen quedarse más cerca de la orilla o en los extremos de la playa. De hecho, el tamaño del sedimento que compone una playa tiende a indicar la energía del oleaje y del viento en la zona: las playas muy expuestas al oleaje y a mareas fuertes suelen presentar granos grandes, incluso piedras, mientras que las playas más protegidas suelen ser de arena más fina. Esto es debido a que las olas y corrientes ejercen el efecto de «limpiar» el sedimento, llevándose los granos más finos hacia otros lugares. Por tanto, el grado de exposición de una playa influirá en la abundancia y la riqueza de la fauna que la habita.

Una playa es un lugar dinámico, y su forma puede variar en función de la época del año. En invierno, el viento fuerte genera olas de mayor tamaño, que impactan en la orilla, arrastran la arena mar adentro y erosionan la costa. Por ello, en invierno, algunas playas presentan una fuerte pendiente. En verano, las olas son habitualmente más suaves, lo que permite que la arena sedimente y cubra de nuevo la orilla. A veces, la presencia de dunas estabilizadas por la vegetación protege la costa de esta erosión. Esta inestabilidad afecta a todas las comunidades de organismos que viven en las playas, que deben presentar adaptaciones para hacerles frente.

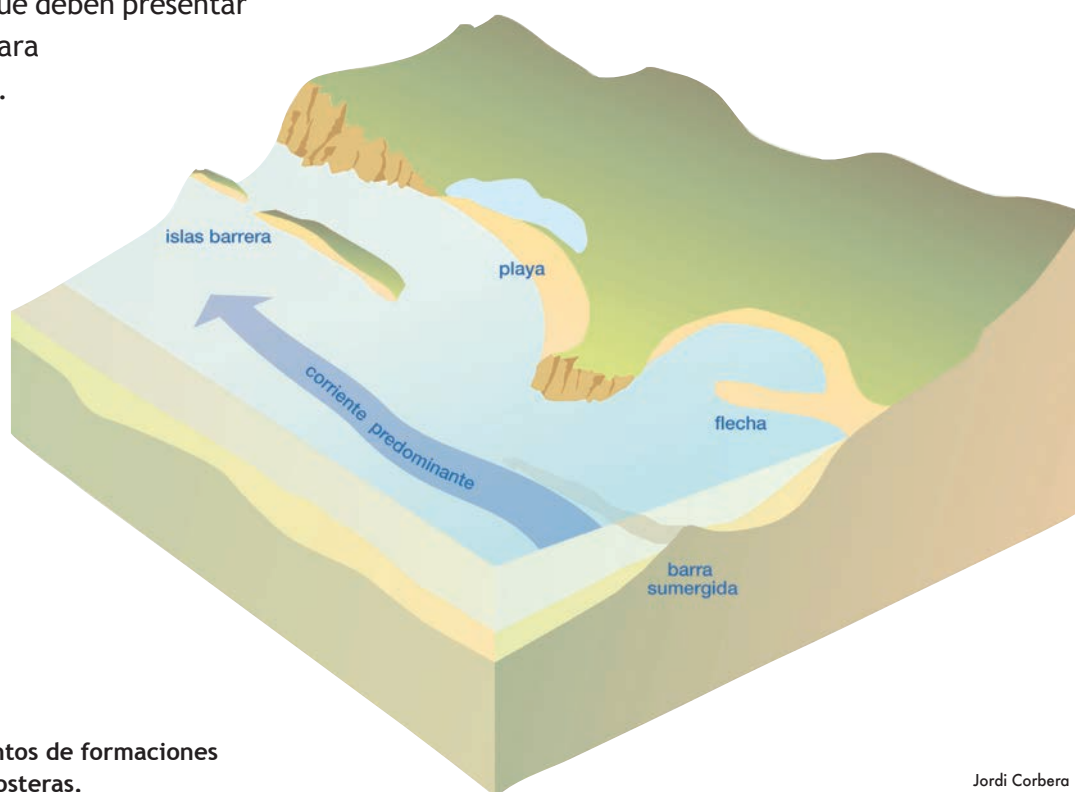


Fig. 9. Tipos distintos de formaciones arenosas costeras.

Jordi Corbera

2.2. Factores que limitan la vida en la arena

El principal factor que condiciona la vida en una playa de arena es el tipo de sedimento, pero, sobre todo, el tamaño de los granos que la componen —más finos o más gruesos—. Esto es debido a que el tamaño del grano influye en otras características del sustrato, como su capacidad de retención del agua, su movilidad, su porosidad —el espacio de aire que queda entre los granos—, su contenido en materia orgánica, la cantidad de oxígeno disponible, etc.; todos estos factores condicionan la vida en la arena. La arena fina o media, por ejemplo, retiene más agua que la arena gruesa o muy gruesa. Esto es importante en zonas intermareales, como la playa, donde los organismos dependen en parte de esa agua (denominada *agua intersticial*) para resistir los periodos de desecación, durante la marea baja; además, es de esa agua de la que los organismos extraen el oxígeno que necesitan. Por tanto, en una playa de arena fina encontraremos seguramente más organismos que en una playa de arena más gruesa o de rocas. Pero no solo el tamaño de los granos es importante, también lo es la proporción entre los distintos tamaños de grano o, dicho de otro modo, la uniformidad del sedimento. Si los granos son del mismo tamaño, dejan un mayor espacio entre ellos por el que puede circular el agua, de la que los organismos pueden extraer el oxígeno; en estos casos, se dice que hay una mayor porosidad. Si, por el contrario, los granos son de muy distintos tamaños, el agua tiene dificultades para penetrar, porque los granos finos llenan los espacios que quedan entre los grandes, y, por tanto, se dice que hay una menor porosidad.

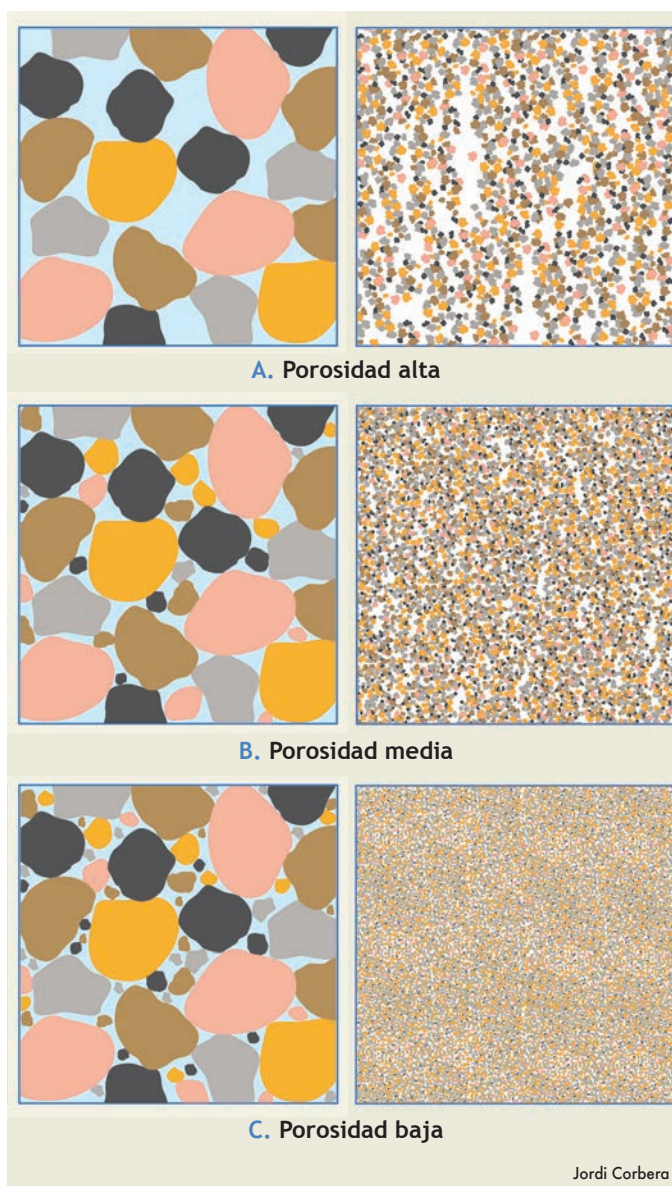


Fig. 10. El tamaño de los granos en sí y la heterogeneidad del tamaño de los granos presentes en el sedimento afectan a su porosidad. Cuando hay muchos granos muy finos (C →) o cuando hay granos de muy distinto tamaño (C ←) el agua tiene más dificultades para penetrar en el sedimento.

Otros factores físicos, como el grado de exposición de la playa, la profundidad o la situación geográfica del lugar, también influyen en la cantidad y diversidad de la fauna en la arena.

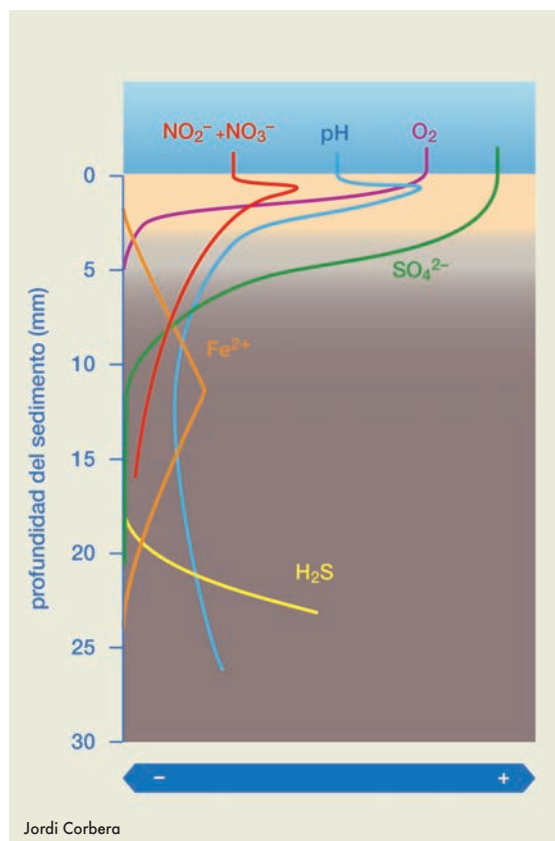


Fig. 11. Esquema que muestra los patrones generales de los gradientes de algunas sustancias químicas en el sedimento. Puede observarse que el O_2 se concentra en las capas superficiales, donde hay una mayor renovación de agua. Por ello, la vida aeróbica se concentra en los primeros centímetros.

la arena para evitar ser arrastrados por las olas, y aprovechan para filtrar las partículas del agua que les sirven de alimento (por ello se dice que son organismos filtradores). La vida de estos animales suele estar muy condicionada por los ciclos de marea. Los mecanismos para excavar son muy variados: muchos bivalvos y gasterópodos usan sus pies musculares; la mayoría de los crustáceos emplean sus apéndices anteriores, mientras que los erizos y las estrellas de mar se entierran gracias a sus hileras de púas; entre los poliquetos, algunos usan la trompa o los parapodios, y otros lo hacen mediante ondulaciones del cuerpo.

2.3. Estrategias para vivir en la arena

Los sedimentos más gruesos que se depositan en la costa —transportados mayoritariamente por ríos y glaciares— están constantemente agitados por olas y mareas. La arena y la grava son, pues, un hábitat móvil y bien oxigenado. Las partículas en movimiento son muy abrasivas, por lo que en este ambiente muchos organismos desarrollan conchas o caparazones duros que protegen las partes blandas de su cuerpo. Los habitantes típicos son, por tanto, organismos altamente móviles, como moluscos de concha dura, equinodermos, cangrejos, crustáceos y poliquetos excavadores, que se mueven sobre la arena o entre los granos, a menudo sin construir refugios permanentes.

La estrategia más extendida para escapar de la sequedad y del fuerte embate de las olas es enterrarse en el sustrato, cavando profundas galerías en la arena. Muchos se entierran durante el día y salen por la noche para alimentarse, y de este modo evitan a sus depredadores. En la parte alta de la playa, por ejemplo, la superficie está seca, pero si cavamos unos cuantos centímetros, la arena que encontramos está fresca y húmeda; allí, algunos cangrejos encuentran sombra y humedad en agujeros que cavan en la arena, y, si se sienten amenazados, desaparecen en ellos rápidamente de la vista. Más cerca de la orilla, algunos cangrejos y almejas también se esconden en

Algunos organismos muy pequeños viven entre los granos de arena, en vez de excavar, y constituyen la denominada *meiofauna*. Entre ellos hay representantes de muchos grupos de invertebrados, como pequeños crustáceos, moluscos y gusanos, pero también organismos unicelulares, como bacterias, diatomeas y protistas. Para moverse, muchos presentan cilios y cuerpos filiformes, adaptaciones que les permiten abrirse camino entre los granos en busca de alimento. Algunos de ellos, como los hidroideos, emplean los granos de arena como soporte, anclándose en ellos. La *meiofauna* está, por tanto, muy influida por el tamaño de los granos, de manera que cuanto más finos son los granos, menos espacios quedan entre ellos y menos organismos pueden potencialmente vivir allí. Las bacterias que viven dentro del sedimento descomponen los restos orgánicos que el flujo y reflujo de la marea transporta hasta la costa. Las comunidades de *meiofauna* tienen un rol fundamental en el reciclaje de la materia orgánica y, además, son el alimento de numerosos organismos, como isópodos, nemátodos y bivalvos.

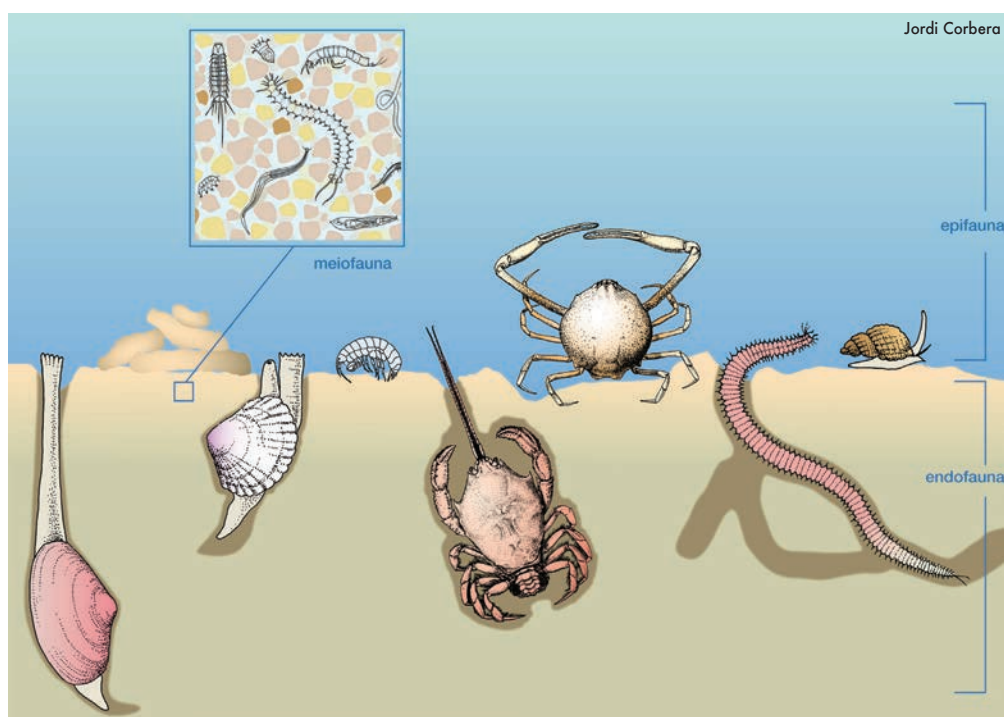


Fig. 12. Algunos organismos simplemente se desplazan y viven sobre el sedimento (*epifauna*); otros, en cambio, remueven el sedimento y viven dentro de él (*endofauna*). La *meiofauna* o *fauna intersticial* es la fauna pequeña que vive entre los granos del sedimento.

Los patrones cíclicos diarios de mareas y olas son a menudo los que llevan a la playa las fuentes de alimentación. Muchos animales hurgan en la arena en busca de detritos —restos de materia orgánica en descomposición— depositados por las olas entre los granos, y por ello se denominan *detritívoros*. Los organismos *suspensívoros*, como algunos gusanos y moluscos, se alimentan de las partículas, del plancton y de organismos de pequeño tamaño que encuentran en suspensión en el agua. Pero también se

encuentran organismos filtradores, como algunos cangrejos, que se mueven por la playa con la marea: cuando la marea sube, ascienden hasta la zona de batida, se desentierran justo antes de que rompa la ola, y extienden las antenas para filtrar las partículas; luego se entierran para evitar ser arrastrados por la ola. A medida que la marea baja, hacen lo contrario: se entierran justo antes de que llegue la ola, y salen cuando esta llega. Algunos bivalvos que viven enterrados en la arena usan unos sifones, que extienden fuera de la superficie del sustrato, para succionar alimento y gases y excretar sus desechos.

A menudo llegan, arrastrados desde mar adentro, restos de algas o fanerógamas que se acumulan en la costa. Estos forman un hábitat pasajero mientras se degradan, y constituyen un sustrato orgánico que atrae a numerosas especies de crustáceos, nematodos y gasterópodos, entre otros.

Los sustratos de arena también cuentan con depredadores. Los caracoles luna excavan en busca de almejas, perforan sus conchas y las ingieren. Las estrellas de mar también son voraces depredadoras: con sus brazos abren las valvas de las conchas de los moluscos bivalvos de los que se alimentan. Muchos peces se alimentan de los organismos y restos orgánicos que hay en los sustratos de arena; algunos de ellos tienen la habilidad de mimetizarse con la arena —adquirir el mismo color que el entorno—, y así escapan de sus depredadores a la vez que no son vistos por sus presas.

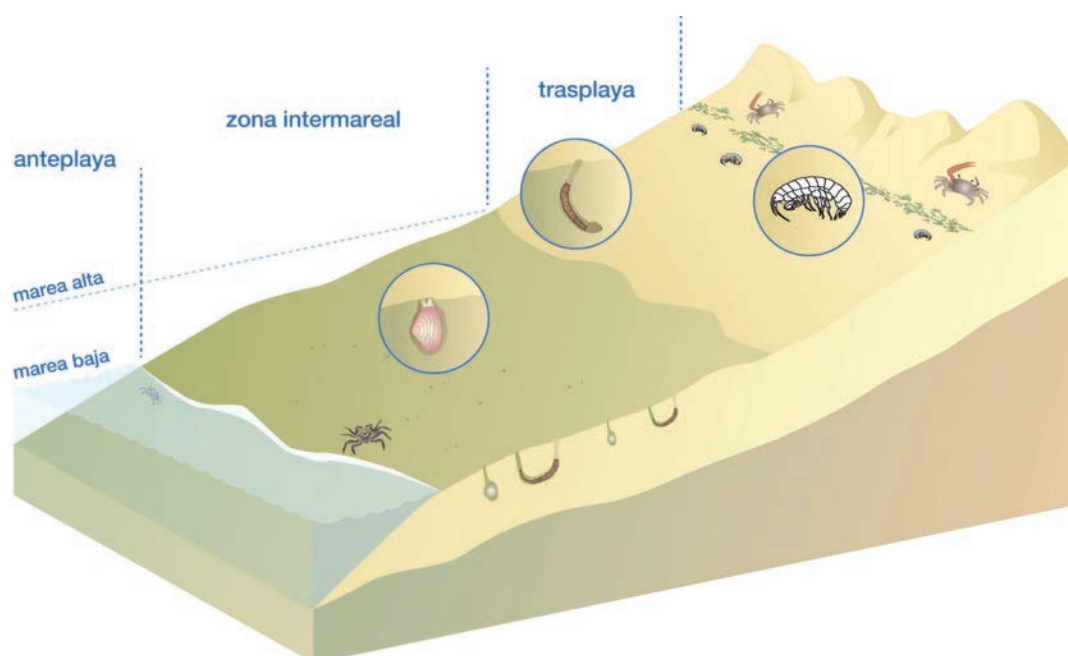
Algunos depredadores o carroñeros de mayor tamaño, como ciertas aves, aunque también organismos terrestres como moscas y escarabajos, frecuentan a menudo la playa en busca de comida.



Fig. 13. (de ← a → y de ↑ a ↓) Algunos cangrejos de profundidad (*Munida rugosa*) son detritívoros. Las navajas (*Ensis* sp.) son organismos filtradores. Las plumas de mar, como este *Pteroides spinosum*, son suspensívoros. Las holoturias son sedimentívoras.

3. Zonación en una playa

En las playas de arena existe un patrón de zonación, Aunque no es tan obvio como en las zonas rocosas, debido a que muchos organismos viven enterrados y otros se mueven por la playa con la marea. Este patrón puede variar de un lugar a otro, con reemplazo de especies en función de la latitud y de las características del lugar, pero en general se pueden delimitar varias zonas en una playa. El agua se drena rápidamente en la arena y, debido a la pendiente de la playa, la parte alta está normalmente más seca que la parte baja de la playa. Así en una playa se distingue: la zona de dunas, que queda normalmente fuera del alcance del oleaje y está seca, en general habitada por pocos organismos, entre los cuales destacan crustáceos anfípodos e isópodos, como la pulga de mar (*Talitrus* sp.), y algunos cangrejos, que se cobijan en agujeros que cavan en la arena; la zona alta o supramareal, que en los lugares con mareas fuertes solo queda sumergida durante las mareas más altas, y al descubierto el resto del tiempo, y que suele estar habitada mayoritariamente por organismos que viven enterrados, como poliquetos y moluscos bivalvos; la zona intermareal, que linda con el mar y puede quedar al descubierto durante las mareas bajas; y, finalmente, la zona litoral, que está permanentemente sumergida e incluye la parte donde rompen las olas y, por tanto, el movimiento de los sedimentos es mayor. Aquí las estrellas de mar, los erizos de mar y los cangrejos, entre otros, realizan sus actividades diarias y buscan alimento.



Jordi Corbera

Fig. 14. Representación esquemática de la situación de algunos organismos en las distintas partes de la playa.

II. Posibilidades de estudio

La forma de una costa depende del efecto de los factores ambientales sobre la misma. Dentro de los ambientes costeros, las playas son unos de los lugares más accesibles y conocidos. Aunque puedan parecer ambientes estáticos, son dinámicos y están en constante cambio, y estos cambios pueden ocurrir en periodos cortos de tiempo. La observación y el análisis de la arena que compone una playa permite obtener, de forma cercana y directa, mucha información, como los procesos por los cuales se forman los sedimentos, y los factores que afectan a la morfología de una playa y que la transforman, incluido el impacto causado por el ser humano; pero también descubrir que constituye el hábitat de numerosos organismos.

La actividad propuesta permite hacer un análisis geológico y biológico casi simultáneo, con una clasificación granulométrica y química de la arena y un análisis de los organismos que viven entre los granos. Algunos de los aspectos que se pueden trabajar y abordar por separado o conjuntamente son:

- **Análisis granulométrico.** Consiste en analizar la textura, es decir, la proporción relativa de las partículas minerales, gravas, arenas, limos y arcillas que componen la arena, clasificados según su abundancia y tamaño, a través de una escala granulométrica; en observar las distintas morfologías y colores de las partículas; y en reconocer la heterogeneidad del sustrato e identificar y separar materiales distintos (gravas, arenas, limos, arcillas). Todo esto puede dar una idea de su origen (sedimento terrígeno, sedimento biogénico, etc.) y de los mecanismos de sedimentación (por cursos de agua, viento, hielo, etc.).
- **Análisis químico.** Consiste en cuantificar el contenido de carbonatos y de materia orgánica, lo que permite relacionar el contenido de ambos según la procedencia de la arena. Asimismo, la prueba de la turbidez permite determinar la presencia de limos y arcillas en el sedimento.
- **Dinámica litoral, evolución temporal de una playa y factores ambientales.** Consiste en conocer los procesos de deriva litoral, erosión y sedimentación y cómo el ser humano modifica estos procesos y causa un impacto en la costa; así como en identificar los principales parámetros ambientales que caracterizan el ambiente sedimentario de una playa y relacionarlos con la composición granulométrica de la arena.
- **Estratificación.** Consiste en analizar el sedimento (tipo, fauna asociada, etc.) obtenido a distintas profundidades del mismo.
- **Diversidad, hábitat y zonación.** Consiste en observar los diferentes grupos de organismos que viven en la arena, y las adaptaciones que presentan para vivir en un medio tan inestable; así como en analizar la arena tomada en distintos lugares de la playa (zona alta y zona baja, y zona intermareal, si existe) y comparar si la fauna asociada es distinta en una zona y otra.
- **Ritmos ambientales y estrategias ecológicas.** Consiste en observar los diferentes organismos que viven entre los granos de arena en diferentes momentos del día y diferentes estaciones

del año. Se puede relacionar con el estudio de las estrategias ecológicas (por ejemplo, tróficas) entre distintos grupos de organismos.

III. Protocolo de muestreo

1. Materiales y métodos para la recogida y análisis de las muestras de arena

1.1. Recogida de muestras

1.1.1. Material de campo

- Cámara fotográfica
- Tabla de datos de campo impresa o una libreta
- Lápiz
- Brújula
- 6 pistones de mano o, en su defecto, 6 tubos con la parte superior agujereada, con su correspondiente tapa cada uno
- Botes de plástico
- Bandejas de plástico
- Rotulador indeleble
- Termómetro
- Formol al 5 %
- Guantes
- Gafas de laboratorio
- Nevera portátil

1.1.2. Metodología de recogida de las muestras

Una vez estéis en el lugar de muestreo, anotad, en una tabla o en una libreta, toda la información que posteriormente pueda ser útil como referencia, por ejemplo, datos ambientales de la zona —temperatura del agua, orientación de la playa, estado del mar, exposición e inclinación de la playa, oleaje, etc.—, así como cualquier otra observación que creáis importante —si hay alguna urbanización próxima, si hay basura en la playa, restos orgánicos, etc.—. Es muy aconsejable que toméis fotografías tanto del lugar elegido como del procedimiento de recogida de las muestras, de los puntos de extracción de la arena, así como de las muestras en sí, una vez recogidas.

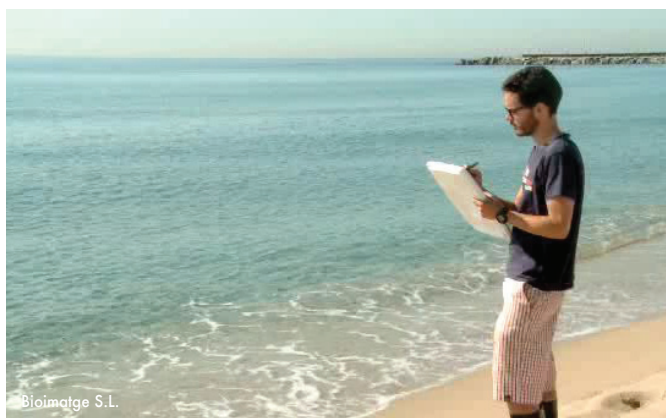


Fig. 15. (←) Antes de coger las muestras es conveniente anotar las condiciones ambientales y los datos relativos al lugar y a la muestra, así como tomar algunas fotografías. (→) Tabla de datos del centro.

CENTRO EDUCATIVO: _____

Fecha del muestreo _____

Estación (lugar del muestreo) _____

Coordenadas GPS _____

Fotografías in situ ☐ Sí ☐ No

Zona de muestreo (intermareal, mesolitoral, ...) _____

Temperatura ambiental (°C) _____

Temperatura del agua (°C) _____

Fuerza de las olas (del 1 al 5) _____

Marea ☐ Alta ☐ Baja

Número de muestras recogidas _____

Tipo de sustrato _____

Inclinación de la playa _____

Observaciones _____

Una vez hayáis anotado las condiciones ambientales y el resto de datos relativos a las muestras, preparad el material: es recomendable que tengáis referenciados, antes de proceder a la recogida de muestras, los botes de recogida —en la pared del bote y con un rotulador indeleble tenéis que escribir, como mínimo, el nombre de la muestra, día y hora de recogida, lugar de recogida y si se trata de una muestra fijada con formol o no.

A continuación se detalla un ejemplo de muestreo básico completo, que se puede adaptar según lo que cada uno quiera estudiar.

0. El primer paso es escoger los puntos de muestreo en la playa. Se trata de tomar muestras de arena en diferentes partes de la playa: tres réplicas en la parte más alta de la playa, es decir, en la zona seca, que solo queda sumergida durante las mareas más altas; y tres réplicas en la zona intermareal o baja, es decir, en la zona que queda comprendida entre el nivel máximo que alcanzan las olas y la línea de mar.
1. Introducid el pistón de mano (*corer* en inglés) en la arena, hasta una profundidad aproximada de 15 cm: se recoge así una porción de arena superficial. Introducid el pistón en el sedimento, dejando libre el agujero que hay en la parte superior; para sacar el pistón de mano de la arena, tapad el agujero con el pulgar (o con la tapa) para hacer el vacío y evitar así que la arena caiga del pistón. A continuación colocad una tapa (para que la arena no caiga) y guardad la muestra en el bote de plástico debidamente rotulado con la fecha, nombre de la playa, etc. Las réplicas (se recomienda un mínimo de tres) se realizan en puntos equidistantes, aunque no muy separados entre ellos —de esta manera nos aseguramos de que las condiciones ambientales de las réplicas son las mismas—. Las réplicas nos sirven para tener material suficiente, dado que habrá que realizar varios análisis en el laboratorio.

- Una vez tengáis las muestras en los botes, debéis conservarlas en frío (en la nevera de mano y en la nevera de la escuela o de casa, cuando lleguéis) para su posterior análisis. Para poder realizar el análisis biológico en el laboratorio, se deberá fijar una de las muestras para conservar los organismos presentes y que no se deterioren. Para realizar la fijación inmediata en formol, calculad el 5 % del volumen de la muestra, añadid a la muestra esta cantidad del preparado de formol con la ayuda de la jeringuilla de plástico y cerrad el bote enseguida. Etiquetad esta muestra diferencialmente para que sepáis que es la que contiene formol y que, por tanto, hay que manipularla con mucho cuidado.

Observaciones: Es necesario usar guantes para manipular el formol y evitar daños en la piel, así como protegerse debidamente los ojos y el cuerpo (lo ideal es usar gafas de laboratorio, bata, mascarilla y guantes) y manipularlo en ambientes aireados.

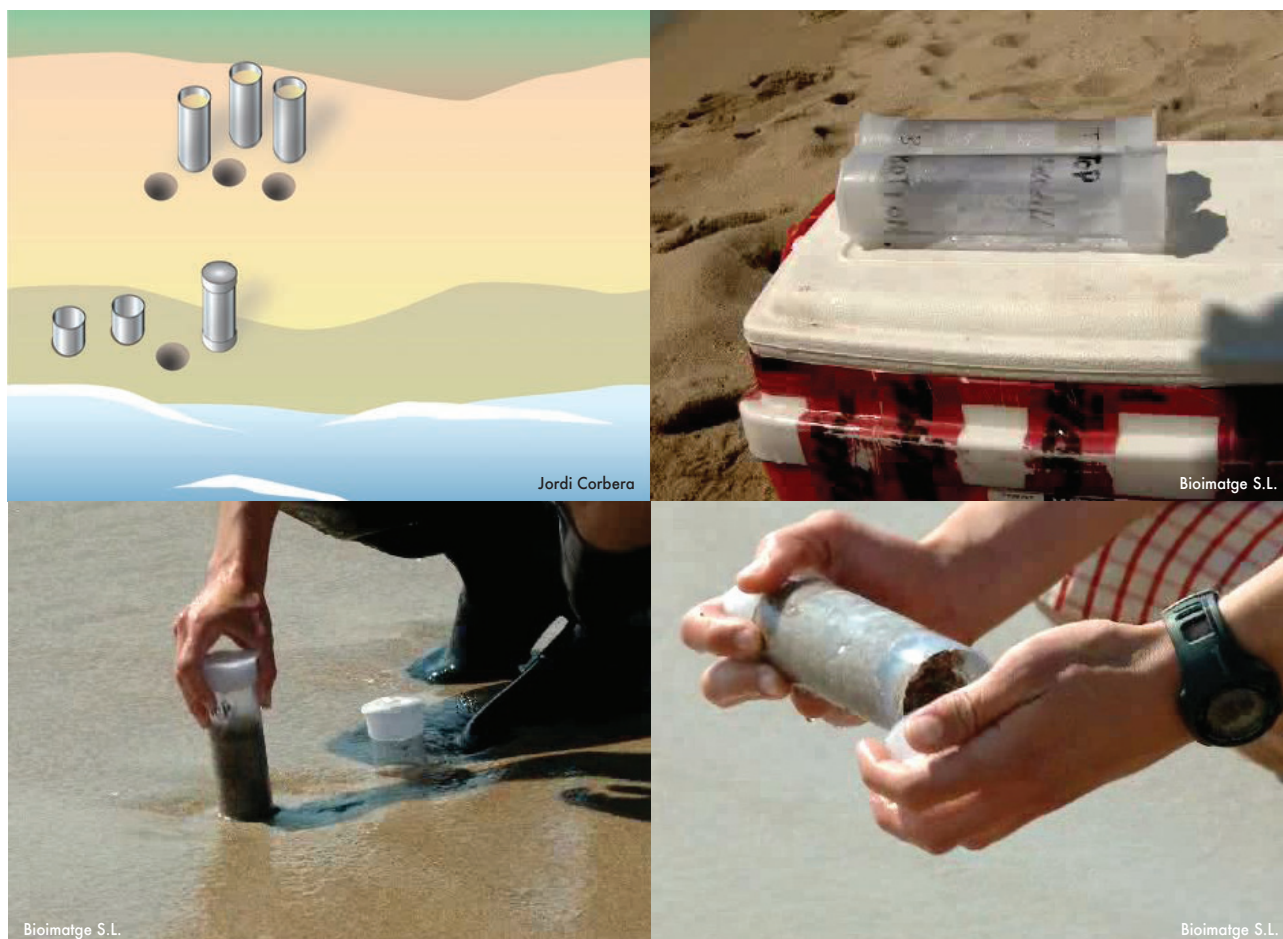


Fig. 16. (de ← a → y de ↑ a ↓) Representación esquemática de la toma de muestras de sedimento y sus réplicas en distintas partes de la playa. *Corers* para la extracción de la muestra, debidamente rotulados. Cuando saquéis el *corer* de la arena, mantened el extremo superior cerrado; y, una vez extraído, mantenedlo en posición horizontal mientras tapáis el otro extremo.

Este mismo procedimiento se realiza tanto en la zona seca como en la zona intermareal, de forma que se obtiene un total de 6 muestras y, por tanto, 6 botes de plástico con arena. Para un trabajo más extenso, se pueden escoger varias playas, que presenten diferentes condiciones ambientales, más o menos expuestas al oleaje, con aportes de ríos, zonas más o menos frecuentadas por bañistas, zonas con distinto grado de contaminación (por ejemplo, con urbanizaciones cercanas), etc., así como composiciones visiblemente muy diferentes (playas de piedras o cantos rodados y playas de arena).

1.2. Análisis de las muestras

1.2.1. Material de laboratorio

- Botes con las muestras recogidas
- Batería de tamices de 500, 250, 125, 0 micras de luz de malla
- Lupa binocular
- Rotulador indeleble
- Bandejas de plástico
- Vaso de precipitados
- Varilla de cristal o cuchara
- Báscula
- Agua destilada
- Agua oxigenada de 60 volúmenes
- Redes de 1 mm y de 200 micras
- Solución de ácido clorhídrico (HCl) al 10 %
- Placa de Petri
- Tubos de ensayo
- Guantes
- Placas de plástico
- Etiquetas
- Papel y lápiz
- Pinzas
- Aguja

1.2.2. Tratamiento de las muestras

Si lo deseáis, podéis separar cada muestra en parte superior (*top*) y parte inferior (*bottom*), y realizar los análisis teniendo en cuenta esta distinción.

- **Análisis granulométrico.** Tiene como objetivo determinar las cantidades en que están presentes partículas de cierto tamaño en el material analizado. Para ello se usa el método de los tamices: elegid una de las réplicas de cada zona muestreada y ponedla a secar en un horno o estufa (idealmente a 80 °C porque irá más rápido) o a temperatura ambiente. Una vez seca, pesad la muestra en una balanza y anotad el valor obtenido. Luego medid el tamaño de los granos mediante el uso de cedazos o tamices. El principio básico de este método consiste en pasar una muestra de peso conocido a través de una serie de tamices, cada uno con un diámetro de malla determinado: 500, 250, 125 o 0 micras (denominado este último *tamiz ciego*). Los tamices se colocan en forma de columna, uno encima de otro en orden descendente según el tamaño de la malla, de modo que el tamiz de luz de malla más grande queda arriba. Agregad la muestra en la parte superior de la columna y sometedla a vibración, ya sea manual o mediante un vibrador mecánico si disponéis de él en el laboratorio, durante 20 minutos aproximadamente. Pasado este tiempo, desensamblad los tamices: en cada uno habrán quedado retenidas partículas de un determinado tamaño, que de nuevo pesaréis en la balanza. La suma de los pesos obtenidos deben corresponder al peso total del material que inicialmente colocasteis en la columna de tamices. Tomando en cuenta el peso total del material y el peso de las partículas retenidas en cada tamiz, estimad, mediante un cálculo, el porcentaje correspondiente a cada peso de las partículas retenidas. Con estos resultados podéis elaborar una curva granulométrica, que permite visualizar la homogeneidad o heterogeneidad que tienen las partículas de la muestra gracias a una escala granulométrica.

Otro método posible, si no tenéis los tamices para realizar la granulometría, consiste en pegar, bajo una placa de Petri de plástico, un trozo circular de papel milimetrado (del mismo tamaño que la base de la placa). Seguidamente poned, en la placa, media cucharada pequeña o una punta de espátula de vuestra muestra de sedimento, repartidla bien y observadla bajo la lupa binocular. Entonces podéis anotar cuál es la medida de los granos más abundantes que tenéis en la muestra, así como las medidas de los granos más pequeños y de los más grandes.

Este análisis es más bien cualitativo y no proporciona datos numéricos exactos, por lo que no podréis realizar una curva granulométrica, pero os permite haceros una idea de la media aproximada del tamaño de grano de vuestra muestra de sedimento.

- **Angulosidad y esfericidad de los granos.** Por un lado, estas características nos dan información sobre un aspecto de la historia geológica de la playa: el tiempo que han estado siendo transportados los granos (si la mayoría de los granos son muy angulosos, por ejemplo, significará que, probablemente, los granos han sido poco transportados). Por otro lado, la angulosidad y esfericidad de los granos influyen en los intersticios que quedan entre los granos y, por tanto, condicionan los movimientos

de los organismos que viven en la arena, además de afectar otras propiedades del sedimento. Mediante una plantilla (fig. 18) se pueden analizar fácilmente estas características. Se trata de recontar, bajo una lupa binocular, una cantidad determinada de granos (p. ej., unos 50, para que no resulte demasiado largo y laborioso). Asignad a cada grano un valor siguiendo la plantilla, y elaborad una tabla con todos los datos, como la que proponemos en la figura 19.

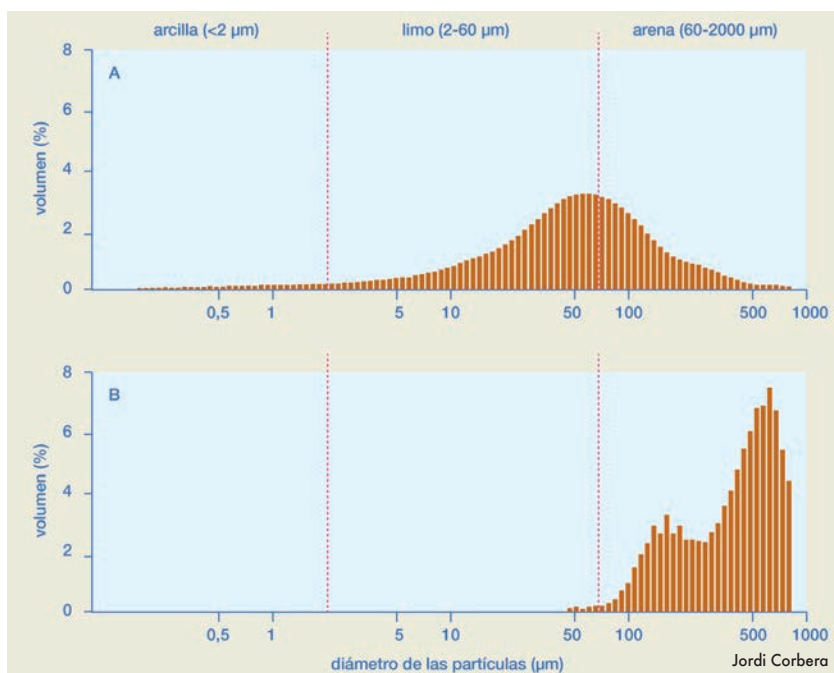


Fig. 17. Ejemplo de las curvas granulométricas que podéis obtener después de hacer el análisis granulométrico.

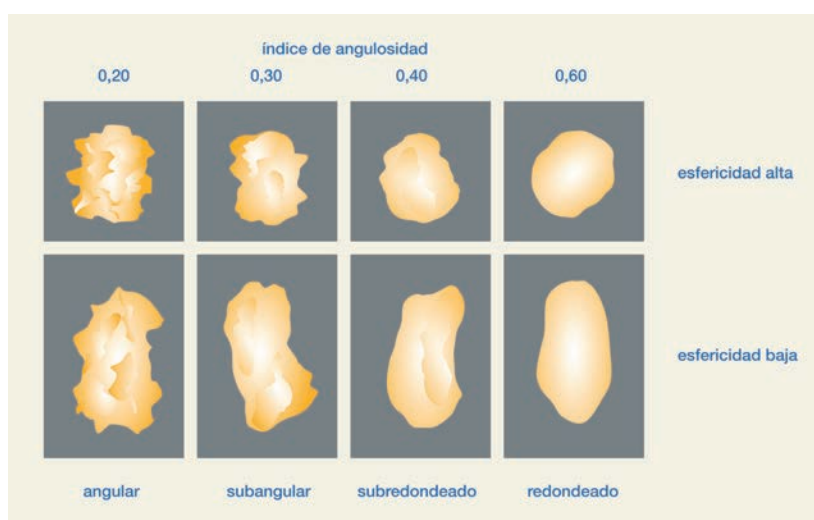


Fig. 18. Plantilla donde se muestran los índices de angulosidad.

	Granulometría de los granos			Forma de los granos			
	Gravas (número de granos de más de 2 mm)	Arenas (número de granos de entre 0,05 y 2 mm)	Limos y arcillas (número de granos de menos de 0,05 mm)	Angulosos 	Subangulosos 	Subredondeados 	Redondeados 
Bioclastos (restos orgánicos, como conchas, púas de erizo, esqueletos de organis- mos, etc.)							
Calcita (colores blanco o naranja brillantes)							
Biotita (oscuro y brillante; se rompe fácilmente con una aguja)							
Cuarzo (incoloro o gris; a menudo tiene superfi- cies planas que brillan; parece vidrio)							
Fragmentos de roca (formados por diversos minerales, con distintos colores)							
Minerales pesados (oscuros, no se rompen fácilmente con una aguja)							
Ortoclasia (rosas y mates)							

Fig. 19. Ejemplo de tabla en la que podéis recoger los datos relativos a la angulosidad, composición y granulometría de los granos que contéis.

Y a continuación se aplica la fórmula siguiente:

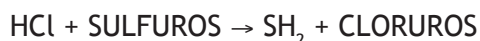
$$\text{Índice} = \frac{\sum (\text{nº de granos de cada clase} \times \text{índice angulosidad})}{\text{nº total de granos examinados}}$$

En general, el índice tendrá un valor de entre 0 y 1, de manera que cuanto más alto sea el valor (más cercano a 1), más redondeados serán los granos del sedimento y, en cambio, cuanto más bajo sea el valor del índice (más cercano a 0), más angulosos serán la mayoría de ellos.

- **Análisis de carbonatos.** Para realizar este análisis, coged una muestra de sedimento de cada zona de muestreo. Colocadla en una placa de Petri y añadid una solución de ácido clorhídrico al 10 %. Si la muestra contiene partículas de carbonato de calcio, observaréis una efervescencia inmediata e intensa, durante la cual el carbonato presente se disolverá, según la reacción:



Si, una vez añadido el ácido clorhídrico, se desprende un olor a huevos podridos, significa que el sedimento contiene sulfuros. Este olor se debe a la formación de ácido sulfhídrico, por la reacción de los sulfuros con el ácido clorhídrico, según la fórmula general:



Nota: Si observáis diferencias visuales entre la parte superficial y la más profunda del sedimento, también podéis coger submuestras de ambas partes de cada réplica, y realizar esta prueba, para comparar la parte superficial y profunda del sedimento.

- **Análisis de materia orgánica.** Esta prueba se basa en el hecho de que el agua oxigenada, al degradar la materia orgánica, se hidroliza y libera oxígeno lentamente, según la reacción:



Para comprobar si el sedimento contiene materia orgánica, llenad un tubo de ensayo con agua oxigenada de 60 volúmenes hasta la mitad. Introducid una pequeña muestra de sedimento y dejadlo reposar durante 10 minutos. Pasado este tiempo, observad el tubo de cerca: el desprendimiento de burbujas, debido a la liberación de O_2 , indica que el agua oxigenada está oxidando la materia orgánica.

- **Prueba de la turbidez.** Sirve para testar la presencia de limos y arcillas en la muestra de sedimento. Para ello, coged una pequeña muestra de sedimento y repartiéndola, en partes iguales, en dos tubos de ensayo. En uno de los tubos añadid agua oxigenada de 60 volúmenes hasta la mitad: esta disgregará las partículas finas y eliminará la materia orgánica presente en el sedimento; en el otro tubo, que os servirá como «control» (es decir, para comparar con el tubo que contiene agua oxigenada), añadid el mismo volumen de agua destilada. Dejados reposar 5 minutos; luego agitad los tubos durante unos 15 segundos aproximadamente y observad el grado de turbidez del agua. Los resultados pueden expresarse mediante una escala semicuantitativa, del tipo muy turbio/poco turbio/nada turbio.

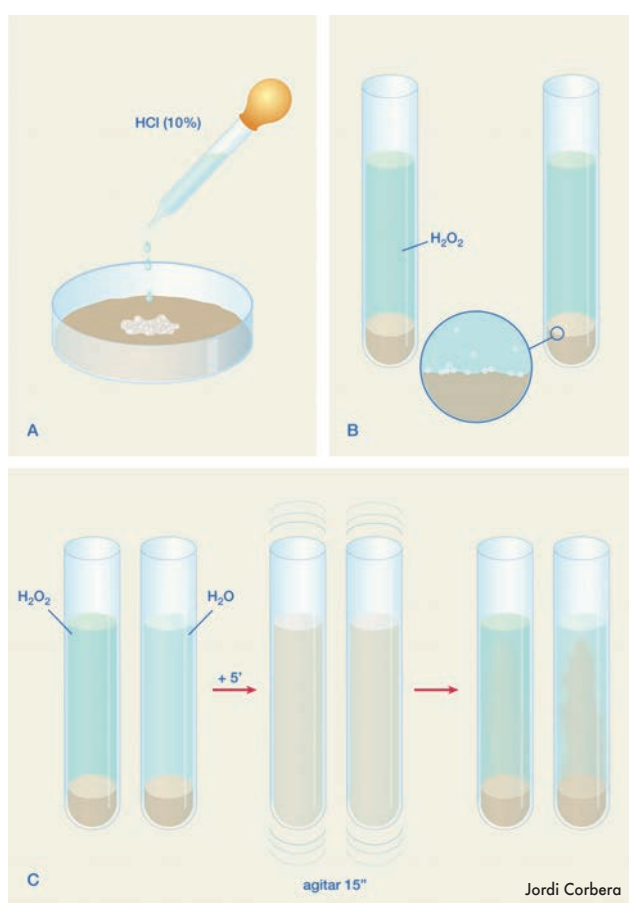


Fig. 20. Representación esquemática de (A) análisis de carbonatos, (B) análisis de la materia orgánica y (C) prueba de la turbidez.

- Análisis biológico.** Tomad una de las réplicas de las que disponéis de cada zona (una de la zona alta y una de la zona baja) y colocadla en una bandeja de plástico. Separad *grosso modo* los organismos de mayor tamaño que veáis, y metedlos en un bote debidamente etiquetado (con el nombre de la muestra y de la réplica y las indicaciones que creáis convenientes) para evitar confusiones. Luego debéis realizar decantaciones sucesivas para extraer la fauna intersticial. Primero retirad una porción de arena de la bandeja (equivalente a un puñado) y separadla, introduciéndola en un vaso de precipitados junto con agua destilada. Agitad la mezcla delicadamente (con una varilla de cristal o una cuchara, por ejemplo), de modo que los organismos más pequeños que están pegados a los granos se desprendan. A continuación decantad el sobrenadante y filtradlo a través de una malla de 200 micras, de modo que los organismos queden retenidos en la red, pero intentando que los granos no caigan. En cada decantación recoged el agua y reutilizadla para suspender de nuevo la muestra. Será necesario realizar el procedimiento 3 veces (añadid de nuevo agua en el bote con arena, removed y volcad el contenido a través de la malla). El siguiente paso consiste en extender los organismos retenidos en la malla en otra bandeja con agua destilada. Del resto de arena que hay en la bandeja inicial, realizad el proceso de decantación y filtrado tres veces, pero esta vez con una malla de 1 mm será suficiente.



Fig. 21. Representación de cómo realizar la resuspensión de la muestra con una varilla de cristal (←) y la decantación del sobrenadante a través de una malla (→).

Este procedimiento se realiza con las dos réplicas restantes de cada zona muestreada. Hay que ir con cuidado dado que se trata de muestras fijadas con formal; por ello conviene ir debidamente equipado y trabajar en un lugar aireado.

Posteriormente podéis determinar la presencia y el número de individuos de los diferentes grupos de organismos encontrados, a través del análisis de la fauna observada con una lupa binocular; asimismo podéis realizar cálculos de diversidad según los índices de Shannon o Brillouin, cuya fórmula se presenta en el siguiente apartado. Entre los materiales disponibles para la actividad se facilita una guía de identificación.

1.2.3. Recuento total de individuos y especies

Para realizar el recuento de organismos, será necesario utilizar una placa de plástico transparente subdividida en, al menos, cuatro cuadrantes, sobre la cual colocaréis la muestra. Entonces podréis evaluar:

- Los diferentes tipos de organismos presentes.
- El número de individuos de cada especie o tipo, y, si no son muy numerosos, el valor aproximado de individuos de cada especie encontrada, contando los que hay en uno de los cuadrantes y multiplicando por el número de cuadrantes totales en los que se ha subdividido la placa.

En una hoja de Excel como la que os proporcionamos, id anotando la información que extraigáis del recuento: nombre del organismo, número de individuos, color, forma, tamaño, etc. Estos datos os permitirán hacer una aproximación a la diversidad presente en las distintas muestras sometidas a diferentes condiciones (zona geográfica, temperatura, oleaje, etc.).

La biodiversidad se puede calcular mediante diferentes índices, de los cuales el de Shannon y el de Brillouin son los más empleados. Los valores obtenidos de los índices os permitirán comparar las muestras. El índice de Shannon supone que la diversidad responde a la probabilidad de que, al extraer al azar un individuo de una comunidad, este sea de una especie o taxón diferente; por tanto, es un índice que no tiene en cuenta las abundancias de los individuos de las diferentes especies. En cambio, el segundo, el índice de Brillouin, sí que toma en cuenta cómo están representadas las especies —es decir, su abundancia— en función de la relación entre el número total de especies y el número total de individuos de cada especie. Las fórmulas correspondientes a cada índice son las siguientes:

Índice de Shannon: $H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$

Índice de Brillouin: $HB = (\ln N! - \sum \ln n_i!)/N$

N_i : número de individuos de la especie i

P : proporción

S : número total de especies

N : número total de individuos

1.2.4. Procesamiento de los datos obtenidos y elaboración de conclusiones

Todos los datos obtenidos se podrán analizar para posteriormente sacar conclusiones que respondan a los objetivos inicialmente planteados. Los diferentes análisis realizados pueden darnos pistas sobre el origen de las partículas que forman la playa, cómo han sido transportadas, su antigüedad, la influencia del aporte de los ríos, la dinámica de formación de la playa, los factores que influyen en la misma o los efectos de la presencia humana, entre otros. La representación gráfica de los resultados puede ser de mucha utilidad en la elaboración de las conclusiones. Es interesante que, entre los diferentes grupos que hayáis realizado la actividad, pongáis en común, comparéis y discutáis los resultados, comentando dificultades que hayan podido surgir a lo largo del experimento.