

6

Técnicas de restauración





Introducción

La restauración de los sistemas dunares que han sido alterados se consigue mediante la eliminación de las causas que han conducido a su alteración y utilizando técnicas de reconstrucción topográfica y repoblación con vegetación autóctona. Puesto que las dunas costeras son unos sistemas muy dinámicos, los objetivos de restauración se pueden cumplir en un plazo breve, del orden de pocos años.

Es esencial, en cualquier proyecto de restauración, establecer cuáles son los objetivos a alcanzar, siendo deseable que las actuaciones realizadas consigan recuperar la estructura (composición de especies) y funcionamiento (procesos sedimentarios y ecológicos), de forma que el sistema dunar restaurado mantenga una situación de equilibrio dinámico acorde con las características sedimentarias y ecológicas de su entorno.

Como ya se expuso en el Capítulo 5, los proyectos de regeneración de dunas se inician con un estudio detallado de la evolución geomorfológica del sistema dunar y de su uso a lo largo de las últimas décadas. Además, es importante determinar la situación actual de los elementos ecológicos, geomorfológicos y de presión humana que actúan sobre el sistema. Esto permitirá diseñar las futuras fases de actuación. El diseño se realizará en función del uso posterior que vaya a recibir la zona restaurada.

Las técnicas utilizadas para la regeneración de sistemas dunares degradados, o para la construcción de dunas en aquellas áreas donde éstas no existían, pueden dividirse en dos grandes tipos según la magnitud de la intervención y su incidencia ambiental: técnicas de ingeniería convencional y técnicas ecológicas.

Técnicas de ingeniería convencional: Son actuaciones en las que la reconstrucción de la topografía dunar se realiza mediante el aporte de arena con maquinaria. La fuente de arena puede estar o no en el sistema dunar objeto de la actuación. Suele emplearse este tipo de técnicas cuando el objetivo de la reconstrucción dunar es la protección de algún elemento de gran valor económico, social, cultural (como por ejemplo, los yacimientos arqueológicos), e incluso natural, situados en primera línea de costa. Generalmente, son actuaciones realizadas en plazos de tiempo breves (días-semanas), limitadas en el espacio y que requieren una elevada inversión económica. El impacto ambiental es elevado en aquellas zonas que actúan como fuente de arena y en los emplazamientos de las nuevas dunas.

Técnicas ecológicas: Son actuaciones en las que, una vez eliminado o reducido a rangos compatibles el factor o factores que han conducido a la degradación dunar, se procede a la instalación de sistemas de “ayuda” que permitan su reconstrucción mediante procesos naturales. Es una acción relativamente lenta, cuyos resultados se obtienen a medio plazo. Son actuaciones muy poco costosas, en las que la inversión realizada es muy pequeña en relación con los resultados que se obtienen, que, en general, son buenos. No obstante, puesto que se trata de obras en las que es la propia naturaleza la que realiza la mayor parte del esfuerzo (el viento transporta la arena, la vegetación se establece y extiende su cobertura, etc.), los resultados no se aprecian al terminar la actuación sino al cabo de cierto tiempo, dependiendo de varios factores, entre ellos, la climatología, la dinámica sedimentaria, la efectividad de la protección, etc.

Las técnicas de restauración dunar que se abordan en este manual se refieren exclusivamente a las “técnicas ecológicas”, si bien algunas actuaciones pueden ser complementadas con técnicas de ingeniería convencional.

Como ya se ha mencionado, las técnicas ecológicas, al igual que la instalación de captadores de arena para lograr una estructura topográfica adecuada y la plantación de vegetación dunar para la fijación de sus superficies, utilizan los procesos naturales para conseguir su función. En decir, el viento transporta la arena que se deposita detrás de los captadores y la vegetación se va estableciendo hasta conseguir una cobertura que permita su fijación y equilibrio. Estas dos actuaciones son los sistemas de regeneración de ecosistemas dunares más utilizados en Europa y consiguen, si previamente se logra una protección efectiva, su restauración en pocos años.



Foto 6.1. Sistema dunar degradado por sobreexposición turística.

Los efectos negativos de la frecuentación humana se resuelven mediante sistemas de protección, siendo los más empleados pasarelas peatonales de acceso a las playas, cerramientos en ecosistemas dunares y eliminación del tráfico rodado sobre las dunas. La información al ciudadano cumple un importante papel en las actuaciones de protección y recuperación de espacios litorales, pues éste no suele tener conocimiento del daño que está produciendo, siendo un caso muy claro el perjuicio que produce el pisoteo sobre la duna. Por otro lado, la divulgación de las actuaciones llevadas a cabo consigue una comprensión y aceptación de los trabajos que se realizan, haciéndole al final cómplice y colaborador, lo que aumenta considerablemente el éxito de la restauración.

Asimismo, las actuaciones de restauración necesitan un mínimo pero continuado mantenimiento, al menos durante los primeros años después de su realización. Esto es necesario no sólo para la reparación de las estructuras de protección, como cerramientos, pasarelas o carteles

que, por causas naturales o la acción vandálica humana suelen sufrir daños. Sino también para la corrección del proceso de captación de arena y para la replantación de las zonas donde la vegetación no ha arraigado suficientemente, ya sea por la movilidad del sustrato (enterramiento o erosión) ya por defectos en su establecimiento.

En los apartados siguientes se expondrán detalladamente estas técnicas para la restauración de cordones dunares costeros. Éstos consisten básicamente en la reconstrucción dunar, revegetación, sistemas de protección, sistemas de comunicación y seguimiento de las actuaciones. En el Capítulo 7, se mostrará cómo obtener las plantas necesarias para realizar dicha revegetación.

Es importante recordar que todas estas actuaciones deben realizarse después de, o a la vez que se produce la eliminación total o la reducción a niveles compatibles de las causas que han conducido a la alteración del sistema dunar. Sólo así podrá garantizarse el éxito de las acciones realizadas y se evitará volver a la situación anterior de degradación de las dunas costeras.

1. *Eliminación de las causas de alteración*
2. *Reconstrucción dunar*
3. *Revegetación*
4. *Sistemas de protección del sistema dunar*
5. *Sistemas de comunicación de actuaciones realizadas*
6. *Seguimiento durante las actuaciones de restauración*
7. *Seguimiento a medio plazo de la restauración*
8. *Mantenimiento durante los años posteriores*

Tabla 6.1. Actuaciones que deben contemplar los proyectos de restauración de sistemas dunares costeros.

Reconstrucción morfológica de la duna costera



La reconstrucción de la duna se realiza en zonas donde el cordón dunar ha sido eliminado total o parcialmente o bien está fragmentado longitudinalmente por incisiones, muy frecuentemente ocasionadas por la circulación de personas. También se puede realizar la construcción de un cordón dunar en zonas donde antes no existían, como parte de actuaciones de regeneración de

playas o como actuaciones independientes encaminadas a la protección de intereses de zonas interiores frente a la acción del mar.

Brechas en el cordón dunar
Desaparición de tramos de cordón de dunas
Desaparición total del cordón dunar
Construcción de cordones dunares “de novo”

Tabla 6.2. Situaciones en las que se realizan actuaciones para la reconstrucción dunar.



Foto 6.2. Brechas en un cordón dunar producidas por el paso de usuarios.

El caso más frecuente en nuestras costas es la restauración de cordones fragmentados por la presión ejercida por los visitantes. El efecto de las pisadas, paseos a caballo y uso de vehículos todoterreno produce una considerable alteración de la morfología dunar. En los cordones costeros, el resultado de esta presión se suele traducir en la proliferación de caminos hacia la playa que los atraviesan transversalmente y dan lugar a numerosas incisiones o brechas en el cordón.

Por estas brechas se canaliza el viento, que adquiere una mayor velocidad y potencial erosivo, y poco a poco (o en ocasiones rápidamente), va erosionando los taludes laterales de los segmentos del cordón, aumentando los canales en anchura y profundidad. Esto provoca que se pueda llegar a cortar por completo el cordón dunar. Esta situación repetida a lo largo de un sector de costa puede dar lugar a la desaparición parcial o total del cordón dunar, viéndose reducido en numerosas ocasiones a un conjunto de montículos separados entre sí, con una topografía muy irregular y con una vegetación muy dañada.



Foto 6.3. Restos de un cordón dunar.

En estos casos, la restauración de la duna se inicia mediante la reconstrucción topográfica del cordón adoptando una morfología lo más parecida a la que existía primitivamente o, si no existiera previamente, lo más parecida a la de los sistemas dunares análogos situados en los alrededores. La reconstrucción topográfica debe conseguir una morfología adecuada, lo más aerodinámica posible para evitar la formación de turbulencias. La metodología más utilizada para la reconstrucción de cordones dunares consiste en la utilización de sistemas pasivos de captación de arena. Este método sustituye la función que, de forma natural, ejerce la vegetación pionera en la formación de dunas.

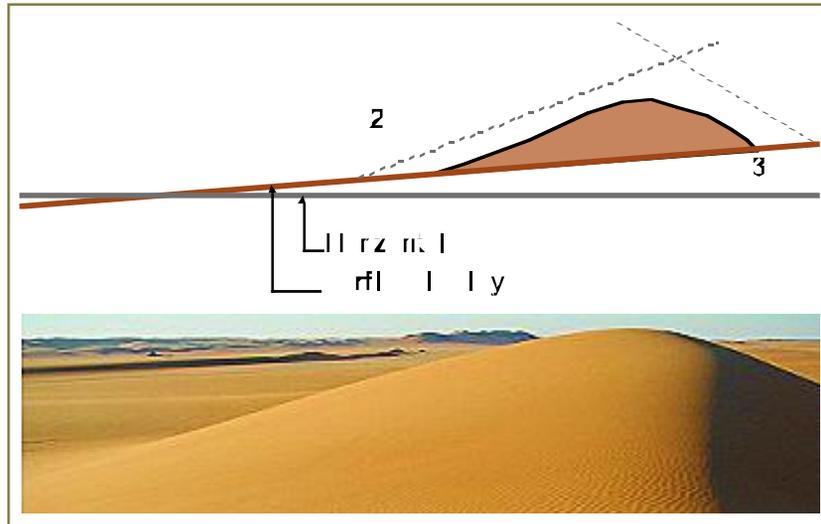


Tabla 6.2.A. Perfil teórico de un cordón dunar.

En otros casos, cuando el sistema dunar se encuentra en un estado muy degradado o la topografía es muy irregular, se puede recurrir a la realización de movimientos de tierras mediante maquinaria. Este sistema se utiliza preferentemente para reconstruir cordones dunares arrasados por temporales excepcionales y, más frecuentemente, para cerrar los pasillos de deflación y brechas de los cordones dunares. En estos casos, se deberá actuar desde la zona de la playa evitando penetrar en zonas con vegetación. El proceso es sencillo, consiste en rellenar los pasillos de deflación con arena extraída de zonas cercanas de la playa, evitando dañar la vegetación y utilizando maquinaria (retroexcavadora, cinta transportadora, etc.,) hasta lograr una morfología uniforme.

Tipo de reconstrucción	Ventajas	Desventajas
Reconstrucción con maquinaria	Rapidez	Mayor coste Morfologías menos naturales Potencial daño al medio
Reconstrucción con captadores	Menor coste Morfologías naturales Sin daño al medio	Lentitud

Tabla 6.3. Ventajas y desventajas de los tipos de reconstrucción topográfica.

Captadores pasivos de arena

Los sistemas pasivos de captación de arenas son estructuras que consiguen formar depósitos gracias a la intercepción de la arena que el viento transporta, al reducir su velocidad por la fricción que ejercen. Estos sistemas son utilizados para 1) ayudar a rellenar huecos o brechas en las dunas, 2) crear cordones completamente nuevos y 3) crear “cordones de sacrificio” para protección de zonas interiores de elevado valor cultural o natural para su conservación.

Los captadores de arena sustituyen así la función que, de forma natural, ejerce la vegetación pionera en la construcción de cordones dunares costeros, como ya se explicó en el Capítulo 3.

La ubicación de los captadores sobre el terreno depende del objetivo perseguido y de la dinámica sedimentaria natural del sistema. Por tanto, en tramos costeros con una dinámica sedimentaria estable o progradante, se sitúan sobre lo que correspondería al cordón dunar embrionario o en posición adelantada. Mientras que en tramos costeros regresivos, se sitúan detrás, donde se ubicaría el límite del sistema al cabo de los años.

Balance sedimentario	Construcción del cordón dunar
Progradante	Siguiendo la tendencia natural se debe reconstruir avanzando hacia el mar.
Estable	Se debe reconstruir en el mismo sitio donde se sitúa el cordón dunar preexistente.
Regresivo	Se debe reconstruir avanzando hacia el interior detrás del primer frente dunar.

Tabla 6.4. Posibilidades de reconstrucción del cordón dunar en relación con el balance sedimentario del sector costero.

Los captadores de arena son empalizadas normalmente de ramas muertas de plantas (mimbre, cañas, matorrales, etc.), tablas de madera (tablestacados) u otros materiales (redes de plástico). Los dos primeros tipos son materiales biodegradables y, en el caso de las ramas muertas, aumentan el contenido en materia orgánica del suelo para la vegetación que posteriormente se instale. Su función es reducir la velocidad del viento por fricción y con ello, disminuir la carga de arena transportada, propiciando la acumulación de arena, aumentando la altura y anchura del depósito. Estos sistemas contrarrestan la erosión eólica y aportan una mayor estabilidad al depósito arenoso. La eficiencia en la acumulación de arena y la morfología de las dunas así formadas depende de la porosidad del sistema de captación, la altura, inclinación, velocidad del

viento, características de la arena, distancia entre filas de captadores, número de filas de captadores y características topográficas de la zona donde se colocan (Nordstrom, 2000). En general, los captadores porosos son más efectivos que los sólidos, ya que estos últimos producen depósitos menos estables (Ranwell y Boar, 1986).

El uso de captadores pasivos de arena está ampliamente extendido debido principalmente a su relativo bajo coste, la facilidad de construcción y su eficiencia en la formación de depósitos arenosos.

Existen dos tipos de captadores, de acuerdo con su emplazamiento y los objetivos perseguidos. Por un lado, sistemas de captadores estructurales para las zonas donde no existe vegetación y el cordón dunar está prácticamente ausente, y por otro, sistemas de captadores de apoyo a las plantaciones, para las zonas donde existe algo de vegetación y el cordón dunar mantiene todavía su estructura.

- *Sistemas de captadores estructurales*

Líneas de captadores cuyo papel principal es la formación de un cordón dunar en zonas donde éste ha desaparecido o se quiere construir uno nuevo. Están constituidos por bandas de un número variable de filas continuas de empalizadas, clavadas verticalmente en el suelo y paralelas entre ellas. La distancia entre las filas es menor en la zona central con el objeto de conseguir mayor deposición de arena en esa zona y obtener un perfil similar al que presentan los cordones dunares en estado natural. Además, las filas deben colocarse perpendiculares a los vientos dominantes para obtener una mayor eficiencia en la captación de arena.



Foto 6.4. Captadores estructurales.

- *Sistemas de captadores de apoyo*

Los sistemas de captadores de apoyo se utilizan en zonas donde el cordón dunar no está totalmente degradado y se instalan entre la vegetación natural o entre las plantaciones. Su principal objetivo es la protección de las plantaciones frente a la erosión eólica y la deposición de arena mientras las plantas alcanzan su tamaño adulto, asumiendo posteriormente éstas la función de estabilización y fijación de las zonas de arena móvil. Este tipo de captadores se puede utilizar también en las mismas zonas donde se han instalado los captadores estructurales, pero en una fase posterior, una vez



Foto 6.5. Captadores de apoyo.



Foto 6.6. Efecto de los captadores.



Foto 6.7. Instalación de los captadores. Distribución sobre el terreno.



Foto 6.8. Instalación de los captadores. Apertura de zanja y colocación.

que el nivel de arena adquiriera una elevación suficiente. Se suelen disponer en filas discontinuas al tresbolillo, es decir, cuando el vacío entre dos captadores coincide con el captador de la fila siguiente. El proceso de instalación y la disposición en el terreno es el mismo que en el caso de los captadores estructurales.

El emplazamiento del captador es determinante del perfil dunar que se pretende construir. Cuando los captadores se sitúan paralelamente al pie de la duna, se recoge directamente la arena seca que procede de la playa, aumentando el volumen de la duna embrionaria. Si los captadores se sitúan en la cresta de la duna, lo que aumenta es la altura del cordón dunar. Existen también captadores que se sitúan perpendicularmente a los paralelos a la línea de costa y que son frecuentes en algunos países de Europa. Sin embargo, éstos, al igual que los anteriores, requieren un cuidadoso emplazamiento, pues pueden provocar erosión en otras zonas. Además, el perfil que se consigue es menos aerodinámico, originando turbulencias en el viento y consecuentemente, potenciales efectos erosivos.

Con captadores flexibles, como los formados por varas de mimbre, la sedimentación tiene lugar a sotavento de las filas de captadores y en una anchura de ocho veces su altura, por lo cual, la distancia entre las filas debe ser aproximadamente de ocho metros. En el caso de las tablestacas, la sedimentación de arena ocurre tanto a barlovento como a sotavento y la acumulación es mucho más irregular que en los captadores flexibles, por lo que su funcionamiento y utilización no es similar a la de éstos.

En general, los captadores flexibles producen una acumulación más homogénea y tendida, consiguiendo una topografía mucho más aerodinámica y estable que en el caso de las tablestacas. Además, la vegetación coloniza mucho mejor las arenas estabilizadas con captadores flexibles que con tablestacas, debido a que estabilizan la superficie reduciendo la erosión por el viento.

Las tablestacas, sin embargo, son más útiles para la formación de depósitos provisionales en la playa seca y para evitar la llegada del mar en mareas vivas. Posteriormente, al retirarse, estos depósitos son transportados por el viento hacia la duna propiamente dicha.

Los captadores flexibles de mimbre son usados ampliamente en España por su relativo bajo coste, fácil adquisición y sencillo montaje. Sus efectos han sido contrastados en numerosos trabajos de restauración, en especial en las dunas de las costas cantábricas y atlánticas. Comercialmente, se encuentran desde 100 hasta 180 cm de altura. Se entierran un tercio de su longitud y la densidad más comúnmente empleada es de 3 kilogramos por metro lineal. En las costas mediterráneas, se suelen emplear captadores realizados con la planta *Spartina* (borrón), armada y tejida con cañas. Este material es fácilmente recolectable en zonas húmedas y se construyen de forma artesanal en segmentos de 1 a 2 m de longitud. Su altura es inferior a 60 cm y se entierran unos 20 cm. Su eficacia ha sido ampliamente reconocida en ambientes de escaso transporte de arena por el viento.



Foto 6.9. Efecto de las tablestacas.

Cuando los captadores de arena pierden su función al ser sepultados por éstas, es el momento de colocar encima del depósito otra línea de captadores si se desea seguir aumentando el tamaño de la duna o bien proceder a su estabilización mediante la plantación de la vegetación dunar.

Tabla 6.5. Captadores de mimbre

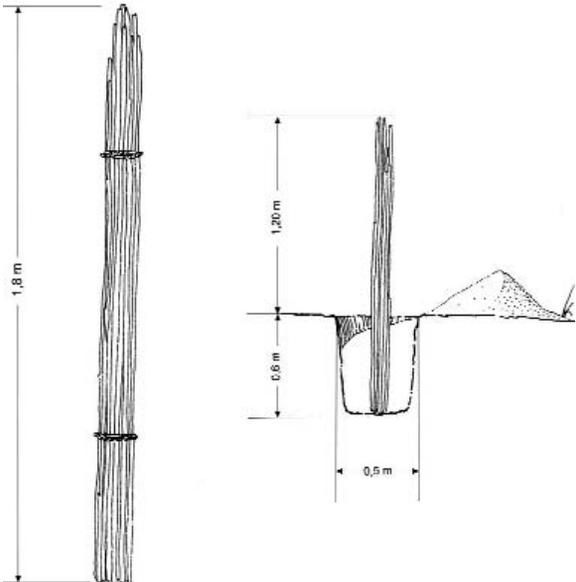
Descripción	
<p>Ramas de mimbre seco, hincadas verticalmente en el suelo, de una longitud media de 1,80 m, de los cuales 0,60 m van enterrados, quedando, por tanto, a una altura con respecto al suelo, de 1,20 m. Se disponen en filas paralelas entre ellas y separadas entre sí unos 8 metros.</p> <p>Se excava una zanja de 0,6 m de profundidad y una anchura de 0,4 a 0,6 m, en función de la cohesión de la arena, para evitar que los derrumbes laterales de la zanja tapen la excavación. Esta zanja se podrá efectuar mediante maquinaria (zanjadora, retroexcavadora, etc.), o por medios manuales.</p> <p>Los captadores se colocan en fila dentro de la zanja con una densidad de mimbre de 3 Kg/m. Se tapa la zanja manteniendo las varas de mimbre en posición vertical. Por último, se apisona la zona rellenada para dar más estabilidad a la empalizada.</p>	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Al ser porosos son más efectivos que los sólidos, ya que estos últimos producen depósitos menos estables. • Estabilizan la superficie ayudando a la colonización natural. • Su instalación es más sencilla. • Su precio es menor que las tablestacas. • Son biodegradables, aumentando el contenido en materia orgánica del suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tienen un impacto paisajístico considerable. • Son menos resistentes a fuertes inclemencias climáticas (lluvia y viento). • Son más endebles y menos resistentes en el tiempo que los de madera.
Foto	Esquema
	

Tabla 6.6. Captadores de espartina

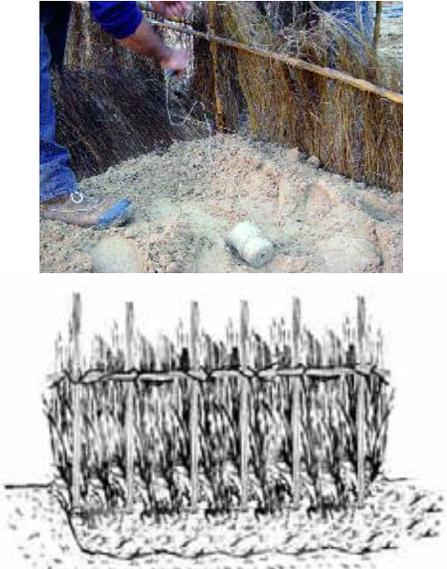
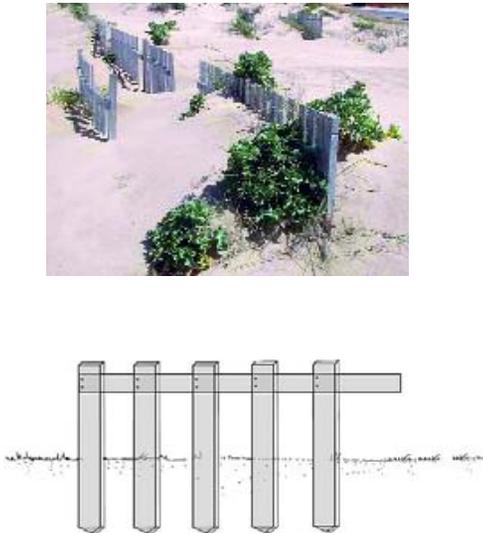
Descripción	
<p>Utilizados sobre todo en la costa Mediterránea, están contruidos con borró (<i>Spartina versicolor</i>) y armados con cañas, que se hincan verticalmente en el suelo, formando una densa empalizada. Suelen disponerse en una trama ortogonal, en la que se mantiene una separación longitudinal entre las empalizadas de 4 veces la altura de la misma.</p> <p>Permiten una permeabilidad al viento de un 40-50 % y tienen una altura variable entre 50 y 80 cm. Con el tiempo, las empalizadas se cubren de arena (2º-3º año), se pudren (4º-5º año) y desaparecen, alcanzando la duna un aspecto totalmente natural a partir del 6º-7º año.</p> <p>En la zona de sotavento, las empalizadas tardan más en degradarse y desaparecer por la menor movilidad de la arena en este sector.</p>	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Al ser porosos, son más efectivos que los sólidos ya que estos últimos producen depósitos menos estables. • Su instalación es sencilla. • Su precio es menor que el de los captadores de madera. • Son biodegradables, aumentando el contenido en materia orgánica del suelo para la vegetación que posteriormente se instale. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tienen un impacto paisajístico considerable. • Son menos resistentes a fuertes inclemencias climáticas (lluvia y viento). • El depósito de arena es muy irregular creándose un cordón dunar compuesto de montículos que tarda más en adquirir un perfil uniforme. • Son más endebles y menos resistentes en el tiempo que los de madera.
Foto	Esquema
	

Tabla 6.7. Tablaestacas de madera

Descripción	
<p>Están constituidos por listones de madera planos verticales unidos mediante listones de madera horizontales más estrechos. En su parte inferior, se insertan en el substrato de forma que la estructura quede bien anclada.</p> <p>Los tablones verticales van separados unos 25 cm. entre sí y su altura es de 1,2 metros, con uno o dos tablones horizontales.</p> <p>Se excava una zanja de 0,6 m de profundidad y una anchura de 0,4 a 0,6 m, en función de la cohesión de la arena, para evitar que los derrumbes laterales de la zanja tapen la excavación.</p> <p>Se tapa la zanja manteniendo las maderas en posición vertical y se apisona la zona rellenada para dar más estabilidad a la empalizada.</p>	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Son más útiles para la formación de depósitos provisionales en la playa seca. • Son biodegradables, pero necesitan mucho más tiempo para degradarse que el mimbre. • La deposición de arena ocurre tanto a barlovento como a sotavento. 	<ul style="list-style-type: none"> • La vegetación coloniza mucho mejor las arenas estabilizadas con captadores que con tablestacas. • La acumulación es mucho más irregular que en los captadores flexibles de mimbre. • Pueden romperse y astillarse y ser peligrosos para los usuarios de las playas. • Tienen un impacto paisajístico mayor que el mimbre.
Foto	Esquema
	



Revegetación

Una vez estabilizado el cordón dunar, se procede a su fijación mediante plantaciones de especies dunares que, en estado natural, son las responsables de la formación y mantenimiento de las dunas. Esta actuación tiene por objeto devolver al sistema la cubierta vegetal que, por diversos motivos, ha desaparecido en ciertas zonas. Esta pérdida de cobertura vegetal en el cordón dunar es una de las causas de su desestabilización y de las movilizaciones de grandes volúmenes de arena hacia el interior.

La colonización natural del cordón dunar reconstruido artificialmente es un proceso lento. Si bien la duna costera es un sistema abierto y es continua la llegada de propágulos de tramos dunares cercanos, las dunas restauradas se erosionan antes de que la vegetación se instale y ejerza la función de estabilización. Por lo tanto, la revegetación debe realizarse de forma artificial plantando especies dunares.

6.3.1 Elección de las especies

Los cordones dunares costeros poseen una biodiversidad relativamente baja. García Mora (2000) registró en un muestreo de 55 parcelas de 250 m² realizado en 300 km de la costa del Golfo de Cádiz un total de 55 especies vasculares pertenecientes a 49 géneros y 22 familias. Siendo la riqueza específica muy heterogénea, entre 3 y 25 especies por parcela.

Si bien el objetivo de la restauración ecológica es el de devolver a un ecosistema degradado los elementos necesarios para conseguir un equilibrio dinámico similar al natural, no es viable económica ni técnicamente plantear un proyecto de restauración de la cobertura vegetal contemplando la reintroducción de todas las especies que, en teoría, podrían componer el sistema. Por ello, es preciso seleccionar un número limitado de especies a introducir. Aunque todas ejercen su función dentro de este teórico equilibrio dinámico, existen especies clave que ejercen un papel fundamental sobre la dinámica eólica de un cordón dunar mientras que para otras, este papel constructor es mucho menor.

En las dunas costeras activas, las especies de plantas que tienen una función más relevante son aquellas que consiguen una acumulación y estabilización apropiada de los depósitos de arena

y que conforman y mantienen las características geomorfológicas del sistema en una situación de equilibrio dinámico. En las costas europeas y, en concreto, en las de la Península Ibérica, aparecen dos especies especialmente interesantes, la grama marina (*Elymus farctus*) y el barrón (*Ammophila arenaria*), también llamadas “estructurales” (García Mora, 2000) o constructoras de dunas (Ranwell y Boar, 1986). La primera se desarrolla especialmente en las dunas embriónicas y la segunda, sobre el primer cordón dunar. Ambas especies son gramíneas perennes, con un sistema radicular muy desarrollado, adaptadas a las condiciones ambientales del litoral, capaces de dispersarse a través del viento y del agua de mar y resistentes al enterramiento en la arena.

Estas especies son las más utilizadas en las operaciones de revegetación de los cordones dunares y las que más se cultivan para este uso. Ambas especies, no obstante, sólo pueden ser plantadas en las zonas donde existe un aporte regular de arena, necesario para su establecimiento y desarrollo (Van der Putten y Peters, 1995). En concreto, el barrón no prospera bien en zonas donde el aporte de arena es menor de 30 cm/año.

El barrón es la especie más utilizada en las regiones templadas para la estabilización de la arena (Hobbs *et al.*, 1983; van der Laan *et al.*, 1997). Su plantación se lleva a cabo en algunos países europeos, como Dinamarca, desde la Edad Media. Otras especies también utilizadas fuera de nuestro país son *Ammocalamagrostis baltica* (un híbrido entre *Ammophila arenaria* y *Calamagrostis epigejos*) en Holanda, Alemania y Escandinavia (Nordstrom y Arens, 1998). En las áreas templadas atlánticas de Norte América, se utiliza *Ammophila breviligulata* y *Uniola paniculata* (Knutson, 1978; Nordstrom y Arens, 1998). En Australia es también frecuente el uso de otra planta de la misma familia, *Spinifex longifolius*, para estabilizar depósitos arenosos costeros.



Foto 6.10. Plantación de barrón. Apertura de hoyos.

Debido a que el sistema dunar activo es un sistema abierto y que la mayoría del resto de las especies (constituyen alrededor de un 5% de la cobertura (García Mora, 2000) tienen mecanismos de dispersión adaptados a estos sistemas, se puede prescindir de utilizarlas en la plantación, ya que llegarán por sus propios medios. No obstante, si técnica y económicamente es posible, es aconsejable aumentar la biodiversidad del sistema con otras especies. Actualmente, se suelen utilizar como complemento en las restauraciones de las costas españolas especies como *Eryngium maritimum*, *Helichrysum stoechas*, *Pancratium maritimum*, *Otanthus maritimus* y *Euphorbia paralias*, principalmente. En dunas mediterráneas y del Golfo de Cádiz, también se ha ensayado con éxito con *Cakile maritima*, *Calystegia soldanella*, *Crucianella maritima*, *Lotus creticus*, *Malcolmia littorea*, *Medicago marina*, etc.

Una vez realizada la función estabilizadora de estas especies estructurales, en un breve intervalo de tiempo se produce la colonización de otras especies dunares (van der Laan *et al.*, 1997).

Sin embargo, el aumento de la diversidad de especies mediante la revegetación no se debe hacer sin un estudio previo de las características de la vegetación del entorno, ya que no todos los sistemas dunares, ni siquiera todos los tramos de un mismo sistema dunar, son igualmente ricos en especies. Además, diferencias en la disponibilidad sedimentaria y en la estabilidad del sustrato imponen diferencias en la distribución de las diferentes especies (García Mora *et al.*, 1999).

Para realizar las plantaciones de *Ammophila arenaria*, tradicionalmente se han utilizado plantas obtenidas del medio natural, y también se ha probado la siembra directa de las semillas en el campo (van der Putten, 1990; van der Putten y Kloosterman, 1991), si bien se requiere cierta estabilidad del sustrato arenoso y con fragmentos de rizomas (van der Putten, 1990). No obstante, no todos estos métodos tienen la misma efectividad, pues la siembra es poco viable en la práctica, debido a que la mayor parte de las plántulas mueren antes de llegar a adultas por la sequedad, el enterramiento o la erosión por el viento.

El método de entresaca y trasplante no es conveniente en áreas mediterráneas, ya que la densidad de plantas es comparativamente baja (80% de cobertura de *Ammophila arenaria* en Centroeuropa frente a una media de 40-50% en el Golfo de Cádiz), y por tanto, exige grandes extensiones de zonas dunares para la extracción de plantas sin causar excesivos daños. Por otro lado, la producción de plantas dunares en vivero a partir de semillas es mayor y más rentable.

Una vez obtenidas las plantas en vivero, normalmente de 1 a 2 años de edad, se plantan manualmente, excavando un hoyo de unos 25 cm de profundidad, donde se aloja la planta, procediendo posteriormente a taparla. La planta deberá quedar enterrada unos 10 cm con respecto a su nivel original en el lugar de procedencia.

Una de las condiciones indispensables para el uso de plantas procedentes de vivero es que las semillas utilizadas para la revegetación de una zona deban proceder de la misma área geográfica, para así evitar una homogeneización genética de la especie.



Foto 6.11. Plantación de barrón. Colocación de las plantas.



Foto 6.12. Plantación de barrón al cabo de un año.



Foto 6.13. La misma plantación al cabo de dos años.

6.3.2 Diseño de la plantación

Las especies dunares se distribuyen en franjas paralelas a la costa constituyendo formaciones vegetales propias. Como ya se ha explicado en anteriores capítulos, se clasifican en dunas primarias, secundarias, terciarias, dunas activas, inactivas, fijas, etc. En el diseño de la plantación habrá que tener en cuenta la distribución natural de estas especies. Las plantas deben plantarse en zonas donde existe aporte de arena por el viento o por lo menos suficiente transporte, aunque el aporte no sea perceptible. El sustrato debe ser siempre arena eólica limpia, sin materiales finos ni materia orgánica.

Además, la observación de cómo se distribuyen las especies en las zonas cercanas suele ser un elemento importante para determinar el emplazamiento exacto de la vegetación.

Respecto al patrón espacial de plantación, en el centro y norte de Europa ha sido habitual la plantación regular muy densa, ya que el objetivo principal normalmente ha sido la fijación de las dunas para impedir su avance hacia el interior o la estabilización de cordones que eviten el avance del mar. Por otro lado, en estas zonas el clima es mucho más húmedo lo que permite una mayor densidad de plantas.

Se debe evitar un patrón regular de plantación y se debe adecuar la densidad de ésta a las características climáticas de cada región costera. La densidad se debe establecer a partir de un estudio de la densidad de plantas en tramos naturales conservados. Así, en el norte de España, la densidad natural se halla alrededor del 75% y en el Golfo de Cádiz se sitúa alrededor del 45%.

6.3.3 Época de plantación

El momento más adecuado para realizar las plantaciones depende de la situación geográfica en la que se realice. En general, las plantaciones se llevan a cabo durante el otoño y el invierno; se excluyen los períodos muy fríos en las costas cantábrica y gallega. En estas épocas, existe riesgo de perder parte de las plantas debido a las bajas temperaturas y a causa de posibles temporales que puedan ocurrir. Sin embargo, si se planta demasiado tarde, se corre el riesgo de que la nueva planta no desarrolle perfectamente su nuevo sistema radical y no pueda resistir los rigores del verano.

Las mejores épocas para realizar estas plantaciones en las costas cantábricas comprenden los meses de noviembre, diciembre, febrero y marzo. En las costas andaluzas y mediterráneas, el

periodo óptimo de plantación es desde la segunda quincena de noviembre hasta finales de febrero. Estas fechas dependen, lógicamente, de la meteorología predominante y se deben ajustar a las condiciones de ese momento. En aquellos otoños anticipados y húmedos, la plantación se puede adelantar y en los períodos secos, se debe retrasar.

En cuanto a las condiciones meteorológicas en el momento de la plantación, se deben evitar momentos de máxima luminosidad solar (horas centrales del día) y situaciones de viento fuerte. Las mejores condiciones climáticas son las de cielo cubierto con humedad ambiental así como en el suelo, aspecto que por otra parte ayuda mucho en el proceso de apertura de hoyos de plantación al mantener la arena más compacta y reducir el desmoronamiento de las paredes del hoyo.

6.3.4 Cuidados posteriores a la plantación

6.3.4.1 Protección

Debido a la baja cohesión del sustrato arenoso, la vegetación dunar es muy sensible al pisoteo. El barrón (*Ammophila arenaria*) presenta unas raíces muy quebradizas, por ello las plantaciones deben ser protegidas contra el pisoteo.

Dado que, los sistemas dunares degradados han sufrido una presión turística demasiado elevada, los proyectos de restauración deben incluir sistemas de protección que se comentan en los apartados siguientes.

6.3.4.2 Riegos

En general, si las plantaciones se realizan dentro de su período óptimo, no es necesario proceder a realizar riegos. No obstante, en los casos en los que se requiera un establecimiento más rápido de las plantaciones o en plantaciones tardías, los riegos aceleran el arraigo y desarrollo de la vegetación.

El sustrato dunar es altamente permeable, por lo que la cantidad de agua a administrar debe ser lo suficiente como para que llegue a las raíces pero sin que el agua percole hacia capas más profundas. Por otro lado, la infraestructura necesaria para realizar riegos descarta las actuaciones en zonas extensas, limitándose a zonas puntuales que necesiten un cuidado específico. Es mejor realizar riegos más frecuentes y menos copiosos que en terrenos normales. El sistema de riego más efectivo en dunas es el de aspersión.

6.3.4.3 Abonados

Aunque en la mayor parte de los casos no se considera necesario proceder a fertilizar las plantaciones de vegetación dunar, en determinadas ocasiones puede resultar conveniente, ya que favorece el establecimiento de la vegetación en zonas que necesitan ser rápidamente estabilizadas. Por otro lado, tanto el barrón como la grama marina responden muy bien a la fertilización.

De todas formas, existen dos condicionantes importantes a la hora de fertilizar las plantaciones:

- Debido a que la planta necesita haber desarrollado suficientemente el sistema radicular para poder absorber el fertilizante, no es conveniente abonar las plantaciones antes de un año.
- Dado que el sustrato arenoso es altamente permeable, durante los meses de lluvia se produce un lavado y pérdida del fertilizante hacia el subsuelo.

Para resolver este problema, se recurre a la utilización de fertilizantes de liberación lenta.

En cuanto a la formulación, el elemento más importante para la nutrición de la vegetación dunar y en especial, de las gramíneas, es el nitrógeno, que constituye un factor de crecimiento para dichas plantas.

El fósforo también puede cumplir un importante papel nutricional en el caso de arenas pobres en dicho elemento, como las provenientes de litologías silíceas.

En cuanto al potasio, en general, no es un elemento carente en los sustratos arenosos costeros por el aporte procedente del mar.

Por tanto, se recomienda la aplicación de fertilizantes de liberación lenta con una elevada proporción de nitrógeno.

Entre los más útiles para las zonas dunares está el “Osmocote pro 18-9-10 + microelementos” con un período de liberación de hasta 14 meses. Su aplicación deberá realizarse a principios de la primavera al cabo de un año de haberse realizado la plantación.

Las dosis recomendadas son algo menores de las aconsejadas para suelos normales (no arenosos) y oscilan entre 500 y 1.000 Kg/ha.

Los fertilizantes convencionales (de liberación rápida) deben administrarse en varias dosis fuera de las estaciones muy lluviosas. Lo ideal es tres o cuatro veces al año, preferentemente desde principios de primavera hasta finales del otoño.

Cuadro 6.1. Fertilizantes de liberación lenta

El término “liberación lenta” se utiliza para fertilizantes que no liberan todos los nutrientes disponibles en el momento de su aplicación. La liberación de los nutrientes es variable según el producto y depende de los niveles de humedad del suelo, la temperatura y/o la actividad microbiológica. Básicamente existen dos tipos, los de nitrógeno de solubilidad lenta y los recubiertos.

El objetivo final de los FLL es liberar nutrientes al mismo ritmo que los demande de la planta y de esa forma, evitar pérdidas. Esto conlleva una mejor eficiencia en su utilización al optimizar la calidad de la planta, disminuyendo la frecuencia en la fertilización y las pérdidas por lixiviación.

PRODUCTOS A BASE DE NITRÓGENO DE BAJA SOLUBILIDAD

Se elaboran mediante reacciones químicas de un componente nitrogenado soluble en agua y aldehídos y consisten en una estructura molecular compleja de baja solubilidad. Una vez aplicados en el terreno se liberan y se transforman lentamente en formas químicas disponibles para la planta.

Urea-formaldehído. La “Urea-formol” es uno de los fertilizantes que se obtienen de la reacción de urea y formaldehído. Estos productos están compuestos por polímeros de monometilol-urea de diverso tamaño y solubilidad. Los compuestos de mayor tamaño son menos solubles que los de menor tamaño, por lo que el tiempo de liberación es más largo. Urea-formol es la menos soluble y contiene al menos un 35% de N total, del cual al menos un 15% es urea no reactiva. Urea-formol es un sólido blanco, que carece de olor y su descomposición está regulada principalmente por la actividad microbiológica en el suelo. Por lo tanto, la liberación de nutrientes dependerá de factores ambientales que regulan la actividad microbiológica en el suelo (temperatura del suelo, humedad, pH y aireación).

Se comercializan con las marcas “Agriform” y “Nitroform”. Las formas más solubles de ureas metilizadas se pueden encontrar con las marcas “Scotts” y “Nutralene”.

Isobutilidendiurea (IBDU). Como la urea-formol, se consigue a partir de la reacción de urea y aldehídos y tiene una solubilidad en agua menor a un 0,1%, y cerca de un 30% de N. La IBDU es un sólido blanco y cristalino. A diferencia de la urea-formol, el N en los compuestos IBDU se libera a través de hidrólisis. La tasa de liberación del nutriente depende del tamaño de los gránulos de IBDU y el contenido de agua en el suelo. Este proceso de liberación se puede acelerar en condiciones de acidez y altas temperaturas.

PRODUCTOS RECUBIERTOS

A diferencia de los productos nitrogenados de baja solubilidad, los fertilizantes recubiertos permiten la liberación controlada de otros nutrientes además del N. Los FLL recubiertos consisten en un concentrado de nutrientes soluble recubierto por una capa insoluble al agua. Los materiales para recubrir los fertilizantes incluyen ceras, aceites, azufre, plásticos y resinas. Las más comunes son las cubiertas polimeradas. El grosor de la cubierta determina su tasa de liberación; cuanto más gruesa, más lenta.

Urea recubierta con azufre. Fueron los primeros fertilizantes de liberación lenta. Estos fertilizantes liberan nutrientes por medio de la disolución de la urea en el agua que atraviesa la cubierta.

Fertilizantes recubiertos con polímeros. Son los de mayor avance tecnológico debido a su alta eficiencia en el control de la liberación de nutrientes y la duración del producto, por lo que han reemplazado a los productos recubiertos con azufre. La liberación de nutrientes depende tanto del grosor y composición de la cubierta como de las características del sustrato.

El período de liberación de estos fertilizantes oscila entre 3 y 18 meses en condiciones controladas de temperatura en laboratorio (aprox. 21°C), aunque la liberación real en condiciones naturales varía mucho en función del tipo de fertilizante. La mayoría libera una mayor cantidad inmediatamente después de su aplicación. El resto se libera en función del tiempo, temperatura y la humedad del suelo. El mecanismo de liberación ocurre en dos etapas. En la primera, el vapor se infiltra en los gránulos y se condensa en las sales de fertilizante soluble, aumentando la presión osmótica dentro del gránulo. En una segunda etapa, la presión dentro del fertilizante origina el escape de la solución hacia el suelo. A medida que la solución en el gránulo disminuye, la liberación de fertilizantes también disminuye.

La liberación de los productos recubiertos aumenta con la abrasión de la cubierta y por almacenaje. Los gránulos de fertilizantes almacenados son susceptibles de la acción de la humedad, temperatura y de la propia manipulación. Los fertilizantes almacenados, especialmente en contenedores abiertos, pueden comenzar a hidratarse y liberan nutrientes rápidamente inmediatamente después de su aplicación.

Nutricote. La cubierta es una resina termoplástica altamente impermeable. En este caso, se incorporan agentes de control de liberación como el etileno-vinil acetato y diversos surfactantes. La cantidad presente en la cubierta del fertilizante determinará la tasa de entrega. En este caso, la descarga está controlada principalmente por la temperatura del suelo.

Osmocote. Es uno de los más comúnmente utilizados. Consiste en un fertilizante soluble, cubierto por un copolímero termosensible de dicitopentadieno y un éster-glicerol disuelto en un solvente alifático de hidrocarbano. Se comercializan muchos tipos de "Osmocote", con gran variedad en su composición y velocidad de liberación.

Polyon. Corresponde al grupo de los fertilizantes recubiertos con poliuretano, distribuidos bajo el nombre de Apex. El fertilizante se libera por difusión a una velocidad que depende del grosor del recubrimiento. Este producto presenta varias capas reactivas en las cuales los monómeros son polimerizados a medida que entran en contacto con el sustrato. Son los menos reactivos a temperaturas extremas porque el poliuretano se mantiene rígido, intacto y no se expande.

Ventajas

Las ventajas de los fertilizantes de liberación lenta sobre los fertilizantes solubles de liberación rápida son las siguientes:

- Capacidad de suministrar nutrientes a las plantas durante períodos de tiempo prolongados en sólo una aplicación, por lo que su eficacia es mayor.
- Debido a su lenta descarga, las posibilidades de daños a las plantas causados por elevadas concentraciones de nutrientes se reducen.
- Disminución de las pérdidas de nutrientes por lixiviación.
- Aunque los FLL son más caros que los fertilizantes solubles en agua, la mayor frecuencia de aplicaciones requeridas hace que, a la larga, sean más costosas.

Desventajas

La principal desventaja de los fertilizantes de liberación lenta consiste en la posibilidad de que se produzca una liberación de nutrientes descontrolada de manera accidental. A diferencia de los fertilizantes convencionales, los FLL no pueden ser ajustados una vez aplicados, incrementando las pérdidas por lixiviación.

6.4

Eliminación de la vegetación invasora

La eliminación de la vegetación invasora es un aspecto fundamental en la restauración de los ecosistemas dunares costeros. Su erradicación ha de ser completa, ya que si se dejan restos de vegetación o semillas, al cabo de poco tiempo, volverán a expandirse sobre el sistema dunar, haciendo inútiles los esfuerzos de eliminación realizados.

Las campañas de eliminación deben ser prolongadas en el tiempo siendo aconsejable que, después de la primera eliminación, se realicen nuevas campañas anuales o bianuales durante al menos cinco años, para garantizar la desaparición total de las plantas y semillas.

La eliminación de la vegetación invasora puede llevarse a cabo mediante métodos físicos, como el arranque directo o mediante la aplicación de herbicidas. El primer método sólo es conveniente en el caso de superficies colonizadas lo suficientemente pequeñas como para asegurar la eliminación de la totalidad de la planta. La aplicación de herbicidas se considera lo más adecuado para los sistemas dunares, siempre que se apliquen correctamente. Exigen menor coste y son más eficaces puesto que se translocan a la totalidad de la planta evitando rebrotes. Además, la eliminación física frecuentemente aumenta los procesos erosivos en la duna.

Los herbicidas más utilizados para la eliminación de especies invasoras son los que tienen como sustancia activa el “Glifosato”, ya que además de su gran eficacia dentro de los herbicidas no hormonales, son los que presentan menor toxicidad tanto para el hombre como para la fauna terrestre y acuática y no son corrosivos ni inflamables.

Para lograr su máxima efectividad, la aplicación debe realizarse cuando la planta comienza su actividad en primavera (desde mediados de febrero hasta mediados de mayo en las costas andaluzas y desde marzo a junio en las costas cantábricas). La aplicación se realiza por microaspersión, procurando mojar toda la planta y evitando la vegetación autóctona. La dosis recomendada es de 160 ml de sustancia activa en una superficie de unos 100 m².

En cualquier caso, para reducir los riesgos de las plantas invasoras es imprescindible evitar la plantación de especies no autóctonas de un sistema dunar concreto.



Sistemas de protección

Una de las causas más importantes de la degradación y desaparición de la cubierta vegetal es el pisoteo de los usuarios de la playa sobre la vegetación. La afluencia masiva, especialmente durante los meses de verano a las costas, origina la pérdida de la vegetación, sobre todo en las zonas próximas a los aparcamientos, chiringuitos, etc.

Para lograr una restauración exitosa es indispensable eliminar la afluencia de público al área donde se realiza la actuación. Para ello, es necesario realizar una serie de obras para proteger el cordón dunar, dentro de las que se incluyen cerramientos, adecuación de accesos, construcción de pasarelas y carteles informativos.

6.5.1 Cerramientos

Para proteger las zonas plantadas y las zonas que, aunque no hayan sido objeto de plantación, necesitan limitar la afluencia de visitantes, se considera necesaria la instalación de un cerramiento.

Existen muchos tipos de cerramiento para proteger los cordones dunares en función de la presión de visitantes que soporta y de la estética que se pretenda conseguir, pero los más efectivos son los que evitan el paso de al menos el 90% de los usuarios que entraban antes de cerrar el paso.

Los tipos de cerramientos más comúnmente empleados se detallan a continuación:

Tabla 6.8. Cerramiento de madera y malla metálica

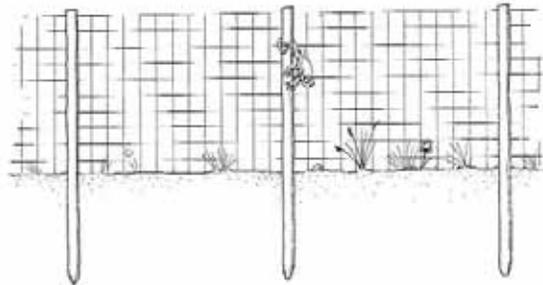
Descripción				
De tipo rústico, formado por postes de madera tratada separados 2 m entre ellos y unidos mediante una malla metálica.				
Ubicación	Disposición	Materiales	Tipo de malla	Tipo de poste
Incrustado en el terreno.	En el perímetro de la zona de actuación.	Postes de madera de 2,50 m. de alto 10 cm. de diámetro. Enterrados hasta una profundidad de 1 m. Altura sobre el nivel del terreno de 1,5 m.	Simple torsión galvanizada. Simple torsión plastificada verde. Triple torsión galvanizada.	Cremallera galvanizado. Cremallera galvanizado plastificado. Cilíndrico de madera.
Instalación	Tiempo de vida	Malla metálica de alambre galvanizado, reforzado triple de 1,5 m de altura, fijada a los postes verticales con grapas metálicas separadas unos 30 cm.	Ganadera anudada galvanizada.	Madera plástica.
Necesita maquinaria.	Permanencia en el medio durante mucho tiempo sin biodegradarse.		Electrosoldada plastificada verde. Alambre de espino.	
Ventajas			Inconvenientes	
<ul style="list-style-type: none"> • Precio (20 € / ml). • No necesita cimentación. • Carácter rural con menor impacto paisajístico. • No son fácilmente franqueables. • Muy efectivos. 			<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro y posibilidad de rotura de la malla metálica. • Rotura de la madera, astillas, etc. • Susceptibilidad de ser escalado por la malla y deteriorado por actos vandálicos. • En caso de enterramiento, la malla metálica es muy difícil de extraer de la arena. 	
Foto			Esquema	
				

Tabla 6.9. Cerramiento de madera o madera plástica

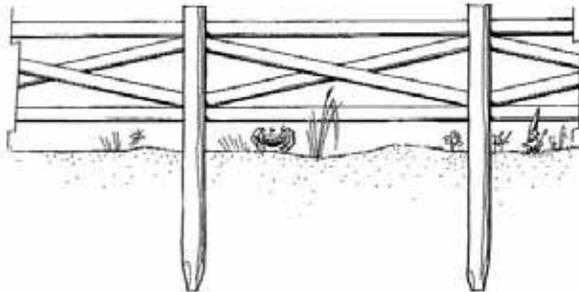
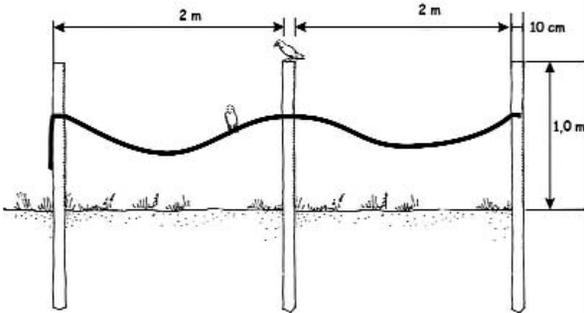
Descripción				
De tipo rústico, formado por rollizos de madera tratada separados 2 m entre ellos y unidos mediante diagonales formadas de rollizos de madera.				
Ubicación	Disposición	Materiales	Tipo de poste	Características
Incrustado en el terreno.	En el perímetro de la zona de actuación.	Postes de madera de 10 cm. de diámetro, enterrados 1 m, quedando el extremo superior del poste a una altura de 1 m.	Postes cilíndricos de madera. Postes de madera plástica (Material 100% reciclado que proviene de desechos plásticos).	Madera: más biodegradable, menor precio y menos resistente que la de plástico. Plástico: Mayor resistencia a la intemperie que la madera, mayor flexibilidad y aguante ante rotura, no le afecta el ambiente salino, no se astilla, no se agrieta, no le afectan los hongos ni las bacterias, poca o nula deformación ante cambios de temperatura, fácil limpieza, no es biodegradable.
Instalación	Tiempo de vida	Con postes cada 2 m. con 1 m. de altura libre y diagonales de poste a poste, y pasamanos, también de madera.		
Necesita maquinaria.	Permanencia en el medio durante mucho tiempo sin biodegradarse.			
Ventajas			Inconvenientes	
<ul style="list-style-type: none"> No necesita cimentación. Su carácter rural y su menor altura tiene menos impacto paisajístico. En caso de enterramiento, es más sencillo de extraer. 			<ul style="list-style-type: none"> Su menor altura permite franquearlo sin problemas y acceder a las zonas de actuación. Precio mayor que el vallado con malla metálica (40 €/ ml). Rotura de la madera, astillas, etc. Susceptibilidad de ser deteriorado por actos vandálicos. 	
Foto			Esquema	
				

Tabla 6.10. Cerramiento de madera y cuerda

Descripción				
De tipo rústico, formados por postes de madera tratada separados 2 m entre ellos y unidos mediante una cuerda.				
Ubicación	Disposición	Materiales	Tipo de poste	Tipo de cuerda
Incrustado en el terreno.	En el perímetro de la zona de actuación.	Postes de madera de 10 cm. de diámetro, separados cada 2 metros, enterrados hasta una profundidad de 1 m, quedando el extremo superior del poste a una altura de 1 m. Cuerda: La cuerda de poste a poste puede ir o bien atada a cada poste o bien se perfora el poste y la cuerda atraviesa el poste.	Postes cilíndricos de madera.	Sisal de 18 mm de diámetro.
Instalación	Tiempo de vida		Postes de madera plástica (Material 100% reciclado que proviene de desechos plásticos).	Polipropileno. Cuerda cableada. Cuerda trenzada.
No necesita maquinaria.	Permanencia en el medio durante mucho tiempo sin biodegradarse.			
Ventajas			Inconvenientes	
<ul style="list-style-type: none"> • No necesita cimentación. • Su carácter rural y su menor altura tiene menos impacto paisajístico. • En caso de enterramiento, es más sencillo de extraer. • Precio menor que el vallado con malla metálica o sólo de madera (10 €/ ml) 			<ul style="list-style-type: none"> • Su menor altura permite franquearlo sin problemas y acceder a las zonas de actuación. • Rotura de la madera, astillas, etc. • Susceptibilidad de ser deteriorado por actos vandálicos. 	
Foto			Esquema	
				

En zonas de mucho uso, para evitar conflictos con los intereses de los bañistas, es aconsejable evitar el cierre de áreas demasiado extensas dejando pasillos.

El área a proteger es un elemento clave para conseguir una protección efectiva del sistema dunar en su conjunto. Dado que la formación de las dunas tiene lugar desde el lado del mar hacia el interior, es en esta franja más próxima al mar donde la protección debe ser más efectiva. En éste área debería incluirse, siempre que sea posible, además de la zona activa (dunas primarias y secundarias), la zona de la playa seca donde se desarrolla un tipo de vegetación más adaptada a las condiciones impuestas por su cercanía al mar.

Un problema frecuente en los cerramientos y en especial, en los que se realizan en las zonas más móviles (por cercanía al mar o por la inestabilidad del sustrato con respecto al viento), es su enterramiento o su descalce. Es muy importante tener en cuenta este problema en los planes de mantenimiento de las áreas dunares restauradas pues, en caso contrario, dejarían de ser eficaces, por el enterramiento del cerramiento en zonas de mucho aporte, o por la caída de tramos en zonas de erosión.

Con respecto al equilibrio sedimentario que presente el sistema, la distancia entre el cerramiento y el cordón dunar es también variable. En zonas de acreción, y en previsión de un avance de la duna hacia el mar, esta distancia debe ser mayor. Mientras que si se trata de zonas erosivas, la distancia puede ser menor y más condicionada, por los problemas que pudiera causar el oleaje.

Muy frecuentemente, los cordones dunares, aunque no presenten un balance sedimentario negativo, están sujetos a cambios a pequeña escala causados por la acción del oleaje por lo que se observan tendencias erosivas y progradantes alternas durante periodos de pocos años. En zonas que han sufrido erosión basal del cordón recientemente por efecto del oleaje, es conveniente prever la readaptación del perfil dunar alejándose de la base de la duna, aunque el riesgo de deterioro por el oleaje directo sea mayor.

6.5.2 Pasarelas

Para evitar el pisoteo es recomendable habilitar pasarelas transversales al cordón dunar que canalicen el paso entre ambos lados del cordón. La morfología de los sistemas dunares suele ser de tipo cordón dunar con una estructura de la vegetación continua. Estos cordones, al estar situados en la zona trasera de la playa, interrumpen el acceso natural de los usuarios a la misma, por lo que es frecuente la aparición de caminos a través del cordón. Como el sustrato dunar es muy



Foto 6.14. Pasarela de acceso a la playa.

suelto y no existe apenas vegetación que lo retenga, el viento erosiona estos pasillos y transporta la arena hacia el interior, generando taludes laterales muy inestables en los pasillos. Éstos se van ensanchando por acción del viento y por el pisoteo hasta que el cordón dunar queda fragmentado y reducido a montículos más o menos separados entre sí, que sufren una erosión muy fuerte y que, al final, si este proceso continúa, terminan desapareciendo. Los sistemas más recomendables para evitar estos procesos de degradación consisten en pasarelas de madera, elevadas sobre el suelo y soportadas mediante pilotes, ya que al quedar un espacio suficiente entre la estructura y la duna permiten el establecimiento de la vegetación y no interfieren en el transporte de arena por el viento.

6.5.2.1 Dimensiones

Las dimensiones de las pasarelas vienen determinadas por varios factores. En primer lugar, el carácter de la zona, es decir, si es el correspondiente a una playa urbana o rústica, si es una zona muy urbanizada o no, de los valores paisajísticos y naturales que posea, de la densidad de usuarios que cruzan las pasarelas, de la necesidad de protección del sistema dunar, etc.

En general, dado que en las zonas urbanas los sistemas dunares han desaparecido, los que persisten hoy se sitúan en zonas más o menos naturales, por lo que la afluencia de público no es tan masiva como en playas muy turísticas.

En estos casos, la anchura de la pasarela debe permitir el cruce de dos personas con coche de niños, es decir, entre 1,5 y 2,5 metros.

6.5.2.2 Trazado

El objeto de estas pasarelas es el de impedir o reducir el efecto negativo de las pisadas humanas y de otros animales, especialmente caballos, sobre la vegetación dunar. Por otro lado, al facilitar al usuario cruzar la duna sobre un terreno arenoso e incómodo para caminar, son generalmente bien aceptadas por la sociedad. No obstante, en el diseño del trazado se debe tener en cuenta tanto la protección de la duna como la utilidad para el transeúnte.

Como norma general, las pasarelas de protección suelen conducir a los usuarios desde el interior hasta la playa, cruzando el sistema dunar. Por tanto, deben cubrir toda la anchura de la duna.

Deben ser sobreelevadas para reducir el efecto negativo de las estructuras frente a la dinámica eólica de transporte y para permitir una cobertura vegetal suficiente. Se recomienda una altura mínima de un metro y máxima de dos. Mayores elevaciones implican problemas de diseño y alto impacto visual.

Un error que se suele cometer en el trazado de las pasarelas es el de atravesar el cordón dunar por un pasillo de deflación. Muchas veces se actúa así con el intento de aprovechar un camino existente para dañar lo menos posible la vegetación, pero normalmente los caminos de acceso a playas que atraviesan cordones dunares, originan un pasillo de deflación por el paso de los usuarios, especialmente en el frente (foredune).

En estos casos, en la zona correspondiente a la duna activa, se debe atravesar el cordón dunar por una zona de altura normal, es decir, no por una depresión o pasillo de deflación, pues de otro modo, no se podrá restaurar dicho pasillo.

A continuación, se detallan los tipos de pasarelas más comúnmente utilizados:

Tabla 6.11. Pasarelas llanas de madera sin barandilla

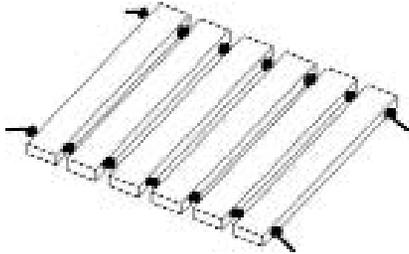
Descripción	
<p>Situadas sobre el cordón dunar con un trazado ligeramente sinuoso, están compuestas de tablones de madera tratada, apoyados sobre rastreles del mismo material. Pueden situarse directamente sobre la arena o discurrir sobreelevadas con respecto al suelo mediante pilotes que se entierran en la arena.</p> <p>En ocasiones, en el último tramo, ya en la playa, se utilizan unas pasarelas especiales enrollables apoyadas directamente sobre la arena (que pueden retirarse al acabar la temporada de baños) y que están realizadas con madera o plástico reciclado, y unidas por cordón.</p>	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Su montaje es más sencillo que el resto de las pasarelas. • Su precio es menor que el resto de las pasarelas. • En caso de enterramiento, es más sencillo de extraer. • Su carácter rural y su menor altura tiene menos impacto paisajístico. • Permite su utilización a discapacitados físicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sólo pueden utilizarse en zonas con una topografía muy suave y sin grandes desniveles, ya que la falta de barandilla puede dar origen a accidentes. • Aunque algunas pueden ir algo sobreelevadas, en general, debajo de ellas carecen de espacio suficiente para permitir el establecimiento de la vegetación e interfieren en el transporte de arenas por el viento. • Escasa reducción del acceso de los viandantes hacia el cordón dunar.
Foto	Esquema
	

Tabla 6.12. Pasarelas llanas de madera con barandilla

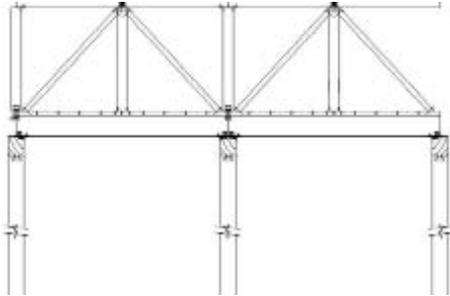
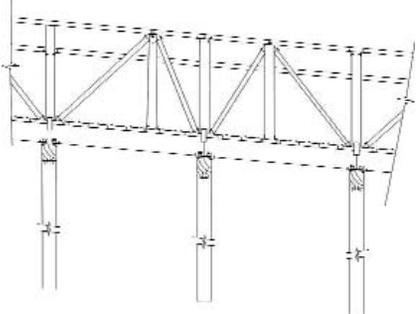
Descripción	
<p>Al igual que las pasarelas llanas sin barandilla, están situadas sobre el cordón dunar con un trazado ligeramente sinuoso, compuestas de tabloncillos de madera tratada y apoyados sobre rastreles del mismo material.</p> <p>Sobreelevadas con respecto al suelo mediante pilotes de madera que se entierran en la arena, están provistas de barandillas a ambos lados, y se accede a ellas mediante tramos en rampa o en escalera en función de la topografía concreta de la zona. En ocasiones, se instalan miradores o lugares de descanso techados utilizando el mismo material.</p>	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Pueden utilizarse en zonas con una topografía más irregular y con cierto desnivel ya que la barandilla evita accidentes. • Su montaje es más sencillo y su precio menor que el de las pasarelas en escalera. • Su carácter rural tiene menor impacto paisajístico. • Las barandillas reducen la salida de los viandantes hacia el cordón dunar. • Al estar algo sobreelevadas, en general, debajo de ellas existe el espacio suficiente para permitir el establecimiento de la vegetación y no interfieren en el transporte de arenas por el viento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su precio es mayor que el de las pasarelas sin barandilla. • En caso de enterramiento, es más difícil de extraer. • Su mayor altura tiene mayor impacto paisajístico. • Su montaje es más complejo y su precio mayor que el de las pasarelas sin barandilla. • No siempre es accesible a discapacitados físicos.
Foto	Esquema
	

Tabla 6.13. Pasarelas de madera en escalera con barandilla

Descripción	
<p>Cuando la topografía dunar no permite instalar una pasarela inclinada porque la pendiente es muy elevada, entonces se recurre a instalar tramos en escalera. En todos los casos están provistas de barandillas a ambos lados.</p>	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Pueden utilizarse en zonas con una topografía más irregular y con mayor desnivel . • Su carácter rural tiene menor impacto paisajístico. • Las barandillas reducen la salida de los viandantes hacia el cordón dunar. 	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de enterramiento, es más difícil de extraer. • Su mayor altura tiene mayor impacto paisajístico. • Su montaje es más complejo y su precio mayor que el de las otras pasarelas. • Aunque algunas pueden ir algo sobreelevadas, en general, debajo de ellas no existe el espacio suficiente para permitir el establecimiento de la vegetación e interfieren en el transporte de arenas por el viento. • Es infranqueable para los discapacitados físicos.
Foto	Esquema
	

Tabla 6.14. Pasarelas de madera adaptadas a discapacitados físicos

Descripción	
<p>Condiciones de diseño que recoge el Plan de Accesibilidad a las playas españolas, de mayo de 2001:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pendiente menor del 8 % y sin tramos inclinados de longitud superior a 10 m sin meseta intermedia. • Ausencia de tramos en escalera que siempre serán sustituidas por rampas. La directriz de la rampa será recta o ligeramente curva, con radio mayor o igual a 50 m. • Ancho libre de las rampas de 1,20 m. En las zonas de acceso a las rampas, así como en las mesetas o descansillos intermedios, se podrá inscribir un círculo libre de obstáculos de 1,50 m de diámetro. • Provistas de un doble pasamanos a ambos lados, preferentemente de sección circular formada por un rollizo de madera de 5 cm de diámetro, localizado a una altura de 70 cm. 	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Pueden utilizarse en las zonas con una topografía más irregular y con mayor desnivel. • Su carácter rural tiene menor impacto paisajístico. • Las barandillas reducen la salida de los viandantes hacia el cordón dunar. • Al estar algo sobreelevadas, en general, debajo de ellas existe espacio suficiente para permitir el establecimiento de la vegetación y no interfieren en el transporte de arenas por el viento. 	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de enterramiento, es más difícil de extraer. • Su mayor altura tiene mayor impacto paisajístico. • Su montaje es más complejo y su precio mayor que el de las otras pasarelas.
Foto	Esquema
	

ras fases de establecimiento de la vegetación por su efecto protector frente al viento. En el caso de los recubrimientos orgánicos, con el paso del tiempo estos materiales se degradan incorporándose al sistema en forma de nutrientes.

Se utilizan especialmente en áreas extensas y muy móviles, como por ejemplo, en las zonas donde la vegetación no se ha desarrollado lo suficiente como para estabilizar el sistema. A diferencia de los captadores, que también tienen un efecto protector, no atrapan tanta arena, por lo que la topografía apenas cambia y no se entierran las plantaciones.

Son frecuentes en el suroeste de Francia, en la zona de Las Landas, donde se han llevado a cabo numerosos trabajos de restauración dunar y consisten, básicamente, en colocar sobre la arena tallos de arbustos de tipo retama que protegen la superficie y quedan muy planos. Bajo estos recubrimientos, las condiciones microclimáticas son más suaves y la colonización vegetal y el establecimiento de las plantaciones se ve mejorado.

Aunque estas técnicas no están muy desarrolladas en España, son aplicables a la mayoría de las zonas a restaurar y en especial, a zonas con fuertes vientos como en el sur de Cádiz o Galicia.

El “**mulch**” es un tipo de recubrimiento protector que se extiende sobre una superficie y que consigue mantener mejor la humedad, regular la temperatura, reducir la erosión eólica y mejorar las características nutricionales del sustrato.

Existen muchos tipos de mulch, inorgánicos y orgánicos, que son muy utilizados en jardinería tradicional. En el caso de las restauraciones de sistemas dunares, son poco utilizados entre otras razones, por su elevado precio, por alterar las características del sustrato arenoso y por limitar la capacidad de colonización de las especies naturales, por lo que su uso queda restringido a zonas muy puntuales sin vegetación natural, como playas urbanas con problemas erosivos que impiden la regeneración natural y el establecimiento de las plantaciones.

Seguimiento de las obras de restauración

En las obras de restauración dunar, los efectos no se manifiestan inmediatamente, cosa que ocurre en la mayor parte de las obras de construcción, sino que se necesita un cierto tiempo para que los captadores actúen, se establezca la vegetación y los elementos naturales se autoregeneren gracias a las medidas de protección realizadas.



Por otro lado, no existe una experiencia sistematizada ya que depende de muchas variables, entre otras, la gran variedad de los sistemas dunares, el clima, características de la dinámica sedimentaria y eólica, etc.

La utilización de sistemas pasivos, como los captadores de arena, producen una respuesta no siempre igual en los ecosistemas dunares restaurados, pues depende del régimen de vientos y de otros factores, como la humedad de la arena o la superficie de playa seca erosionable.

Además, la utilización de seres vivos y el objetivo mismo de la restauración, que es ayudar al sistema a recuperar los procesos físicos y ecológicos, implica muchas interacciones con las variables físicas, las cuales producen diferentes respuestas en cada caso determinado.

Estas particularidades introducen en la sistemática de la restauración dunar un componente elástico que es necesario abordar para perfeccionar y optimizar las técnicas. Para ello, es útil la realización de seguimientos desde el comienzo de las obras o incluso antes, durante el replanteo del estado del sistema dunar en el momento de la actuación hasta varios años después de terminada la obra.

6.6.1 Seguimiento en la etapa preoperacional

La función básica del seguimiento en esta etapa consiste en establecer un procedimiento que garantice la correcta ejecución y cumplimiento de las actuaciones que se describen en el proyecto adaptado a la situación de la zona a regenerar en el momento.

En la etapa preoperacional se incluye el reconocimiento del terreno para comprobar el estado actual y los cambios que haya podido sufrir, así como un replanteo de las actuaciones proyectadas para comprobar su conveniencia y oportunidad. Dados los condicionantes climáticos y administrativos que concurren en las obras de restauración ecológica, es conveniente revisar el plan de actuación y optimizar su calendario.

En general, los aspectos de las obras de restauración más importantes son los siguientes:

Efecto de los captadores de arena

En la mayor parte de la costa española se deben realizar a principios de otoño, antes de los temporales equinocciales, para que cuando se realicen las plantaciones exista ya un cúmulo de arena.

Plantaciones

La época apropiada para realizar las plantaciones está comprendida entre mediados de octubre y mediados de marzo, excluyendo los momentos muy fríos (normalmente entre mediados de diciembre y mediados de febrero). Esto implica que existen dos meses en otoño y un mes a finales del invierno, en los cuales se puede plantar.

Cerramientos

La protección mediante cerramientos debe realizarse simultáneamente a la plantación, pues es imprescindible preservarlos de la afluencia masiva de visitantes.

6.6.2 Seguimiento durante las obras

Los seguimientos o controles desarrollados durante la fase de obras tienen por objeto ayudar en la adecuada ejecución de las actuaciones definidas en el proyecto, así como asesorar sobre posibles cambios en las mismas, especialmente aquellos que impliquen incidencias en las plantaciones de especies vegetales (variación de las mediciones, modificaciones en el diseño, etc.).

A este respecto, con objeto de garantizar el cumplimiento de esta vigilancia y establecer el control de calidad, la vigilancia ambiental deberá operar a pie de obra, realizar mediciones sobre las actuaciones que se realicen y mantener contacto con el contratista y la dirección de obra durante el transcurso de la misma.

El seguimiento en esta fase debe incluir todas las unidades de obra a ejecutar. Se desarrolla mediante visitas periódicas en las que se evalúan las actividades realizadas y se planifican las nuevas actuaciones a acometer. Además, incluye un asesoramiento en los aspectos que se necesiten de cara a optimizar los trabajos y conseguir una ejecución del proyecto de la manera más eficaz posible. Se debe orientar además sobre otros aspectos, como lugares de aprovisionamiento de los materiales, ubicación de la maquinaria y elementos auxiliares, etc. y sobre problemas o situaciones nuevos, no contemplados en el proyecto.

6.6.3 Seguimiento posterior a la obra

El seguimiento durante la etapa posterior a la realización de las obras de restauración de los sistemas dunares es un aspecto muchas veces infravalorado pero fundamental para compren-

der los procesos y mejorar las técnicas, pues permite una visión objetiva y crítica de los objetivos establecidos y de los resultados obtenidos en las actuaciones realizadas.

Los aspectos más importantes a monitorizar deben incluir la evolución general del sistema, el perfil dunar, el establecimiento, desarrollo y capacidad fijadora de la nueva vegetación establecida, la colonización de especies dunares, la aparición de especies invasoras, la eficacia de las medidas protectoras, los cambios que pudieran ocurrir por causas naturales o antrópicas, etc.

Para obtener la mayor información, la duración de los seguimientos posteriores a las obras debe ser, al menos, de tres años intensivos, dos años más periódicos y cinco puntuales. Todos estos aspectos son decisivos para el conocimiento y mejora de las técnicas de restauración dunar. Con ello, se pretende estudiar con una visión de conjunto el comportamiento natural y la respuesta de los sistemas dunares ante este tipo de obras de restauración, así como definir las actuaciones que en el futuro sean necesarias.

6.7

Mantenimiento

Las obras de restauración dunar que utilizan sistemas de regeneración ecológicos necesitan, a diferencia de la obra civil, un tiempo a partir de la ejecución durante el cual van actuando los procesos naturales. Por otro lado, estas actuaciones están influenciadas por múltiples factores ambientales que determinan unos procesos dinámicos no siempre predecibles. Estos factores ambientales como son los temporales, el viento, etc., condicionan el éxito y la homogeneidad de los resultados.

Además, durante los períodos estivales, la afluencia de visitantes se hace masiva y como consecuencia, se incrementan los deterioros de las instalaciones y otras infraestructuras, lo que conlleva la necesidad de prever, durante un plazo no inferior a tres años, diversas tareas de mantenimiento y reparación que garanticen la viabilidad de los resultados.

Las labores de mantenimiento consisten fundamentalmente en controlar y en promover la adecuada evolución y desarrollo vegetal de las plantaciones realizadas, con la reposición de las marras producidas y comprobando que se adquieren las coberturas y portes deseables con el paso del tiempo, manteniendo unas condiciones de conservación y dinámica adecuadas.

También será necesario realizar, de modo continuado, un seguimiento del estado de los captadores de arena durante su fase funcional (unos dos años), y del estado general de conservación de las instalaciones como pasarelas, cerramiento, carteles, etc., reparando los desperfectos en la medida que puedan surgir, para permitir en todo momento el uso y disfrute del área.

Se considera que anualmente se producen deterioros, marras, etc. en aproximadamente el 10% de las labores de restauración realizadas.

Los aspectos que se deben incluir son los siguientes:

Replantaciones

Se realizarán en áreas que presentan pérdida de vegetación dunar por deterioro o pisoteo, en zonas donde se hayan dado unas marras superiores al 30% y donde aparezcan procesos erosivos nuevos o en áreas no contempladas originalmente en el proyecto, pero que necesiten mayor estabilización.

Reposición de captadores de arena

Se llevarán a cabo donde presentan deterioros, si están derribados o rotos por el viento, o por la entrada de personas a las zonas en recuperación, etc. y en zonas donde se hayan enterrado con mayor rapidez de la esperada, si se considera necesario elevar la altura del cordón dunar.

Reparación y/o reposición del vallado

Donde el vallado haya quedado tirado o enterrado, deteriorado o su funcionalidad no sea la adecuada.

Reparación de las pasarelas peatonales

Se deberán reponer lo antes posible para permitir el acceso a la playa y evitar el paso por las zonas restauradas.

Reposición de los sistemas de información

Dado que constituyen un elemento importante de cara a la aceptación, comprensión y respeto a las obras por parte de la población, se deben reponer cuando se deterioren.

Eliminación de vegetación invasora

La eliminación de la vegetación invasora es un proceso que requiere un esfuerzo continuado en el tiempo para eliminar los rebrotes, nuevas colonizaciones y la germinación de semillas latentes a lo largo de los años. Las labores de mantenimiento deben dirigirse a la prospección de posibles rebrotes y a su eliminación urgente, con el objeto de impedir la rápida expansión que caracteriza a este tipo de vegetación