

Restauración ambiental de las instalaciones de la Compañía Logística de Hidrocarburos (CLH) en el estuario del río Barbadún en Musquiz/ Muskiz (Vizcaya/Bizkaia)

¹Asier Saiz Rojo,

²Beatriz de la Parra Peral,

³Jaime Olaizola Suárez

¹Ingeniero Técnico Forestal e
Ingeniero de Montes
Director de Ingeniería

ECM INGENIERÍA AMBIENTAL

²Ingeniera Técnico Forestal e
Ingeniera de Montes. Gerente

ECM INGENIERÍA AMBIENTAL

³Ingeniero Técnico Forestal
y Dr. Ingeniero de Montes

Gerente. ID FOREST

BIOTECNOLOGÍA FORESTAL

El estuario del río Barbadún en el término municipal de Muskiz constituye un entorno de gran valor natural por su biodiversidad. Sin embargo, también supone una zona muy intervenida. En el presente artículo se describen las actuaciones llevadas a cabo para la recuperación ambiental de una zona de 18 ha ocupada por unas instalaciones industriales durante más de cuatro décadas y que han sido recientemente desmanteladas. Se describen las actuaciones y los métodos innovadores empleados para la recuperación de las condiciones naturales estableciendo tres tipos de ecosistemas diferentes: marisma, sistema dunar y zona de vegetación continental.

INTRODUCCIÓN

El Barbadún es un río corto, de aguas continuas, con una cuenca pequeña pero de gran pluviosidad, como gran parte de los cauces en el País Vasco. En su desembocadura, en el término municipal de Muskiz (Vizcaya/Bizkaia), forma un estuario de gran valor natural por su biodiversidad, refugio de gran número de especies vegetales y de fauna de carácter litoral.

A pesar de su valor natural, supone un entorno altamente modificado. A menos de 2 km se encuentra la entrada al puerto de Bilbao, actualmente en fase de ampliación. Al sur, aún en la zona de influencia mareal del río Barbadún, se localiza una refinería petrolífera y transversalmente lo cruza la autovía A-8 mediante un gran viaducto. Además, la playa de La Arena, que abarca el sistema dunar de este estuario, es un entorno muy transitado y de gran interés turístico, con una gran afluencia de visitantes durante todo el año, aunque en mayor medida en verano. A todo esto hay que sumar la cercanía de viviendas de núcleos como Sopena, una depuradora de aguas residuales, una pasarela peatonal y varios encauzamientos en el Barbadún.

Hasta el año 2007, a todas estas infraestructuras se sumaba la presencia de las instalaciones industriales de la empresa Compañía Logística de Hidrocarburos (CLH) en el margen derecho del río Barbadún. Constituía una parcela de 18 ha de superficie dedicada al almacenamiento de hidrocarburos mediante grandes depósitos metálicos.

Entre 2007 y 2011 la empresa CLH ha llevado a cabo el desmantelamiento de estas instalaciones con objeto de recuperar ambientalmente la parcela.

ESTADO INICIAL

Las instalaciones industriales de CLH en el estuario del río Barbadún se construyeron sobre las propias marismas en el margen derecho del cauce, colindantes con el sistema dunar, hace cuatro décadas.

La construcción de las instalaciones se realizó sobre una plataforma de rocas y material granular apoyada en la propia zona de marisma desbrozada, con una altura de ente 2 y 3 m. El material se consiguió con la apertura de un hueco de explotación en roca en una zona colindante a la parcela, que aún hoy se puede observar. Sobre

esta explanada se construyeron los depósitos de combustible, las tuberías necesarias para su funcionamiento, los viales de acceso y comunicación, un edificio de oficinas y el resto de instalaciones auxiliares.

En 2007, la empresa CLH comenzó el desmantelamiento de estas instalaciones. En primer lugar se realizó el derribo de las estructuras y posteriormente la descontaminación de los suelos de toda la parcela. En este momento comenzaba la restauración ambiental de los terrenos.

OBJETIVO Y CONDICIONANTES

El objetivo principal del proyecto fue la recuperación ambiental completa de la zona afectada por las instalaciones industriales. Para ello se establecieron dos fases bien diferenciadas: por un lado, la descontaminación del suelo, y por otra parte, la recuperación morfológica y vegetal de la zona.

La descontaminación del suelo se realizó mediante la excavación selectiva de la parcela, llegando a gestionar un volumen de 360.000 m³ de material. Los trabajos para el tratamiento del suelo contaminado se realizaron con el empleo del método *soil flushing*, la preparación de acopios, la excavación selectiva, el tratamiento de suelos y el relleno de celdas verificadas con material procedente de la excavación selectiva o tratado en planta.

La recuperación ambiental presentó numerosos condicionantes. En la fase de redacción del proyecto, el principal limitante consistió en alcanzar un equilibrio en el movimiento de tierras. Se estableció la necesidad de evitar el traslado de materiales de excavación a vertedero o la posibilidad de incorporar préstamos. Esto suponía que la geomorfología se debía adaptar no solo al volumen de material existente sino también a sus características. Por un lado, el volumen de material era muy superior al original por el aporte realizado durante la construcción de la plataforma. Por otro lado, resultaba muy complicada la estructuración de materiales tan diversos como los limos y arcillas propios de una zona de marisma, la arena del complejo dunar y todo el material granular y rocas aportados para la construcción de las instalaciones varias décadas antes.

Otro condicionante fue la necesidad de recuperar la mayor cantidad posible del ecosistema de marisma, optimizando la arcilla y los limos obtenidos. Asimismo se planteó la importancia de la utilización de plantas autóctonas de la zona, e incluso la obtención de material vegetal del propio estuario.

Los condicionantes de esta actuación se pueden agrupar en ambientales, sociales, técnicos, específicos de la vegetación y aquellos influenciados por el tiempo (Véase tabla 1).

TIPO	CONDICIONANTE
AMBIENTAL	Clima. Sustrato disponible Orientación y cercanía del mar.
SOCIAL	Necesidades sociales de la zona: turismo. Recursos paisajísticos.
TÉCNICO	Necesidad de emplear todo el volumen de material existente. Evitar préstamos de materiales. Características del sustrato descontaminado. Accesibilidad y maniobrabilidad. Recuperación de la máxima superficie posible de marisma. Permitir el dinamismo natural de este tipo de ecosistemas.
VEGETACIÓN	Uso de especies autóctonas. Dificultad de obtención de algunas especies de marisma.
TEMPORAL	Adaptación de las actuaciones a los horarios de las mareas. Coordinación con las labores de mantenimiento.

Tabla 1. Condicionantes del proyecto. Fuente: Propia

4.- DESCRIPCIÓN DE LAS ACTUACIONES

Las actuaciones de restauración se pueden estructurar en tres partes: la recuperación geomorfológica o remodelación del terreno, la restauración vegetal del entorno y otras actuaciones auxiliares (construcción de una senda peatonal e instalación de bolardos perimetrales).

Recuperación morfológica del terreno

La restauración de zonas de marisma no es función tanto de las plantaciones como de la adecuada recuperación morfológica del entorno. Establecer adecuadamente las cotas del terreno y su forma influye en la recuperación de las condiciones hidrológicas, de la dinámica fluvial y mareal, estableciendo un entorno lo más estable posible respecto a los procesos hidro-sedimentológicos de este tipo de ecosistemas.

En muchos casos supone una actuación muy compleja, dado el dinamismo de este tipo de formaciones. Los arenales y ecosistemas formados por dunas evolucionan y se desplazan en función de factores como el viento y

las mareas. Las marismas son zonas donde predomina la sedimentación de partículas arrastradas por las avenidas fluviales y las mareas, constituyendo procesos reiterados de erosión y sedimentación a pequeña escala, que se repiten en el tiempo. Por ello, aunque resulta muy complejo establecer una morfología completamente estable, es de gran importancia definir un entorno en equilibrio que favorezca su dinámica natural.

Las actuaciones para conseguir la remodelación del entorno se basaron en la definición de cinco elementos bien diferenciados, cada uno de ellos con un objetivo (Véase tabla 2).

De toda la actuación, la parte más frágil y compleja de ejecutar fue la zona de marisma. Constituía una plataforma que requería una estratificación de los materiales en función de su granulometría: una capa superior de material limo-arcilloso sobre una capa de arena. Esta plataforma debía situarse a una cota de entre 1,5 y 2 m de altitud que permitiese su inundación durante las mareas vivas, que llegan a alcanzar cotas aproximadas de 3 m.

Asimismo, la zona de marisma debía permitir la excavación de canales mareales. Por un lado, los que se denominaron “canales principales”, constituidos por cauces de gran influencia mareal que surgen del Río Barbadún y son perpendiculares a su trazado e inundables en bajamar. Por otro lado, los “canales secundarios”, que son ramificaciones de los principales en cotas más altas y son cauces inundados únicamente en pleamar.

Sin embargo, durante el diseño de la recuperación de la zona de marisma se identificaron dos aspectos técnicos que debían ser resueltos: la estabilidad de los canales durante el periodo inicial y el riesgo de que las primeras mareas tras la ejecución de las obras afectasen al material extendido.

Para asegurar la estabilidad de los márgenes de los canales se colocaron mantas de coco ancladas al terreno para evitar procesos erosivos derivados de la variación mareal. Se instalaron empleando estacas de madera para evitar el uso de grapas metálicas que perdurasen en la zona una vez recuperada. Asimismo, las pendientes de los canales y sus anchuras se basaron en

ELEMENTO	OBJETIVO/FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
SISTEMA DUNAR	Aprovechar la arena obtenida de la descontaminación del suelo. Servir de transición entre la marisma y la playa de La Arena.	Consiste en un cordón dunar que sirve de transición entre la playa de La Arena y la marisma recuperada, transversal a los pasillos dunares formados por los temporales.
TERRENO ALOMADO	Utilización del excedente de material en la parcela empleado en la construcción de las instalaciones. Conseguir un efecto barrera entre la marisma y la zona urbanizada de los accesos de la playa.	Terraplén de 6 a 9 m de altura sobre la marisma que se revegetará con especies de carácter continental para su integración paisajística.
ZONA DE MARISMA	Recuperación del ecosistema original de la zona. Incremento de la superficie de vegetación de marisma en el estuario del río Barbadún. Aporte de un hábitat de gran interés para la fauna del estuario.	Plataforma de marisma formada por los elementos finos recuperados que supone la restauración del ecosistema original de la parcela.
CANALES INTERMAREALES	Recuperar las características hidrológicas y el dinamismo mareal en la zona de marisma recuperada.	Canales excavados en la marisma para permitir los flujos de agua intermareales. Están formados por canales inundables de forma continua y cauces inundables únicamente de forma periódica.
CAUCES FLUVIALES	Recuperar las condiciones hidrológicas del entorno. Dar continuidad a la escorrentía natural que recibe la zona de actuación.	Cauce excavado recuperando en lo posible su trazado original.

Tabla 2. Elementos empleados en la recuperación morfológica de la parcela. Fuente: Propia

las características geomorfológicas del margen contrario del estuario, donde presentaban una situación estable.

Por otro lado, para asegurar la estabilidad de la zona una vez recuperada desde el punto de vista geomorfológico se propuso la apertura progresiva del terraplén perimetral de la parcela que ocupaban las instalaciones. Esto es, se conservó un dique perimetral que evitase la entrada masiva de agua durante la ejecución de los trabajos en los primeros meses, con lo que se pudo realizar completamente la recuperación morfológica en el interior de marisma y las labores de revegetación. Una vez consolidadas las actuaciones de marisma, se procedió a la apertura progresiva del dique retirando todo el material y dando salida a los canales y cauces fluviales construidos. La ventaja de esta secuencia de trabajo permitió mejorar la consolidación de las actuaciones, evitar el riesgo de deterioro por avenidas extraordinarias y mareas vivas y facilitar la ejecución de las obras.

También fue necesaria la construcción de dos cauces que drenasen la escorrentía superficial que llegaba a la parcela. El diseño de estos “nuevos ríos” se basó en su trazado original, empleado fotografías aéreas anteriores a la construcción de las instalaciones. Asimismo, se analizaron sus características de caudal y granulometría, estableciendo un trazado meandriforme con una sección inicial trapezoidal adecuado a zonas arenosas, con el talud del canal dispuesto para evitar deslizamientos con una pendiente 3:1 (H:V).

Para su diseño se analizaron los valores límite de velocidad de flujo no erosivo, velocidad (v) a la que debe circular el agua en un cauce de arena, que oscila entre 0,3 y 0,6 m/s. En este caso se empleó el valor más conservador de 0,3 m/s y se dimensionó el cauce para un periodo de retorno de 25 años.

Recuperación vegetal

La revegetación se estructuró de acuerdo a la recuperación morfológica, estableciendo tres tipos de ecosistemas: sistema dunar, terreno alomado y zona de marisma.

Las plantaciones en el sistema dunar se realizaron mediante la selección de material vegetal obtenido del vivero de plantas dunares de Loredo (Cantabria), propiedad de la Dirección



Figura 1. Recuperación de marisma y realización de canales mareales. Fuente: A. Saiz



Figura 2. Actuaciones en los márgenes de los canales principales. Fuente: A. Saiz

NOMBRE	NOMBRE CIENTÍFICO	CANTIDAD (Ud.)
Barrón	<i>Ammophilila arenaria</i>	17.000 unidades
Gramma marina	<i>Elymus farctus</i>	25.500 unidades
Azucena marina	<i>Pancratium maritimum</i>	42.500 unidades

Tabla 3. Especies vegetales de dunas obtenidas de vivero

General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino). Se emplearon tres especies diferentes (Véase tabla 3).

La plantación se realizó con una densidad de plantación de unas 10 plantas/m².

Durante la ejecución de las obras se apreció que en la zona del dique perimetral y en las zonas auxiliares existían ejemplares de especies autóctonas de interés que posteriormente iban a ser afectadas por el desarrollo de las actuaciones. Por ello se decidió trasplantar todas estas plantas sirviendo la propia parcela de actuación como vivero provisional. Para el entorno del sistema dunar se extrajeron y trasplantaron las siguientes especies:

- *Sarcocornia fruticosa*. Se retiró de forma mecanizada empleando una retroexcavadora y un dúmper de obra. El material extraído se trasladó y trasplantó en el límite noroeste de la nueva duna.
- *Elymus pycnanthus*. Se extrajo de forma manual y se trasplantaron en las zonas bajas de la duna resultante.

Para evitar el pisoteo de las plantaciones por parte de las personas que visitan la cercana playa de La Arena se instaló un vallado formado por postes de madera y una sogá.

Para la revegetación de los terrenos alomados se emplearon especies de carácter continental, ya que esta zona no presentaba influencia de las mareas. Se establecieron tres tipos de formaciones vegetales (TA-1, TA-2 y TA-3) en función de su localización (Véase tabla 4).

Se empelaron por lo general plantas de dos savias con cepellón.

En los arroyos de nuevo trazado, además de la vegetación arbórea y arbustiva se instalaron en primera línea del cauce especies macrófitas (*Iris pseudoacorus* y *Scirpus maritimus*). También se revegetaron los huecos de escollera con *Salix atrocinerea* y plantas de hiedra (*Hedera helix*).

Asimismo, en toda la superficie de terreno alomado, con una extensión de más de 10 ha, se realizó una hidrosiembra para facilitar el establecimiento de la cobertura herbácea.

Por último, la revegetación de la marisma se realizó con material vegetal de la propia zona, obtenido tanto de la parcela de actuación como de otras masas vegetales del estuario. De esta forma se asegura la adaptación del material vegetal a la zona, se evita el riesgo de incorporar especies invasoras o patógenos y se obtienen las especies más adecuadas sin depender de la disponibilidad de los viveros comerciales. Para conseguir este objetivo se realizaron dos tipos de actuaciones:

- Obtención de plantas y esquejes para su trasplante de la propia zona.
- Obtención de semillas para su extendido mediante hidrosiembra.

Las especies vegetales empleadas fueron: junco (*Juncus maritimus*), *Sarcocornia fruticosa*, *Plantago maritima*, *Limonium vulgare* y *Halimione portulacoides*.

Las plantas de junco se obtuvieron de los propios acopios temporales de arcilla creados en obra. En las zonas de arcilla descontaminadas y acopiadas en obra durante 1-2 años, surgieron masas mono-específicas de junco que se empelaron como “viveros provisionales”. Estas plantas se aprovecharon antes de extender la arcilla trasplantándolas a la zona de marisma. Se trasplantaron en la zona más alta de esta, ya que son plantas que pueden servir de transición entre la marisma y la zona alomada. Constituyen la marisma alta, con una menor influencia de las mareas. Se estableció un marco de plantación de 2,5 x 2,5 m.

Por otra parte se realizó la extracción de material vegetal vivo de plantas de *Halimione portulacoides* del margen izquierdo del río Barbadún. Se instalaron a lo largo de los canales y arroyos que surcan la zona de marisma, en el talud, a media altura, ya que son plantas que soportan una mayor influencia mareal. Se estableció un marco de plantación lineal de 1,5 m.

Por otra parte se realizó una recolección de semillas de las siguientes especies: *Sarcocornia fruticosa*, *Plantago maritima* y *Limonium vulgare*.

Para comprobar la calidad de la semilla recogida se realizó un estudio de viabilidad en un laboratorio especializado. En primer lugar se introdujeron las semillas en cámaras húmedas con papel de filtro humedecido. Después se colocaron 100 semillas de cada especie en su correspondiente porción de papel de filtro y se mantuvieron a 22 °C durante 15 días, observando el número de semillas que habían germinado.

NOMBRE	ESPECIES	DENSIDAD
TA-1: zonas sin influencia fluvial o mareal, con exposición predominante sur y suroeste, lo que implica una mayor insolación.		
TA-1	Tilo: <i>Tilia platyphyllos</i>	5 plantas/200 m ²
	Arce: <i>Acer pseudoplatanus</i>	5 plantas/200 m ²
	Endrino: <i>Prunus spinosa</i>	8 plantas/200 m ²
	Bardaguera: <i>Salix atrocinerea</i>	7 plantas/200 m ²
TA-2: zonas sin influencia fluvial o mareal, con una menor insolación.		
TA-2	Roble: <i>Quercus robur</i>	4 plantas/200 m ²
	Fresno: <i>Fraxinus excelsior</i>	4 plantas/200 m ²
	Arce: <i>Acer campestre</i>	5 plantas/200 m ²
	Cornejo: <i>Cornus sanguinea</i>	7 plantas/200 m ²
	Endrino: <i>Prunus spinosa</i>	5 plantas/200 m ²
TA-3: zonas con influencia fluvial, y una capa freática elevada: margen del río Barbadún, márgenes de los arroyos y zonas cercanas a las marismas.		
TA-3	Avellano: <i>Corylus avellana</i>	5 plantas/200 m ²
	Aliso: <i>Alnus glutinosa</i>	5 plantas/200 m ²
	Abedul: <i>Betula celtiberica</i>	3 plantas/200 m ²
	Durillo: <i>Viburnum opulus</i>	5 plantas/200 m ²
	Bardaguera: <i>Salix atrocinerea</i>	6 plantas/200 m ²
	Saúco: <i>Sambucus nigra</i>	6 plantas/200 m ²
	Avellano: <i>Corylus avellana</i>	5 plantas/200 m ²

Tabla 4. Características de las especies instaladas en la zona alomada



Figura 3. Ejecución de la hidrosiembra manual en la marisma. Fuente: A. Saiz

Para la revegetación completa de la marisma se realizó una hidrosiembra de forma manual, dado que no podía acceder maquinaria a esta zona restaurada. El equipo de hidrosiembra consistió en un tractor estacionado en el borde de la marisma que bombeaba la mezcla a un depósito intermedio situado en el centro de la misma. Desde aquí, mediante otra bomba se distribuía la mezcla por medio de tuberías de polietileno que dirigían varios operarios.

Otras actuaciones

Como complemento al resto de la restauración ambiental se realizaron dos actuaciones con objeto de conseguir la integración social del proyecto en el entorno: la construcción de una senda peatonal con un mirador y la instalación de bolardos perimetrales para evitar el acceso de los vehículos a la zona restaurada.

Se construyó una senda peatonal de 2,5 m de anchura con un trazado que discurre por la zona alomada concentrando el tránsito de los peatones por la zona recuperada. El objetivo de la misma es dirigir a los usuarios de este entorno y evitar el pisoteo masivo de los terrenos revegetados, evitando asimismo y en lo posible las molestias a la fauna.

RESULTADOS

Los resultados del proyecto han sido muy positivos. Se ha conseguido recuperar más de 40.000 m² de marisma en el margen derecho del estuario del río Barbadún. Se ha ampliado la

superficie dunar en el límite sur de la playa de La Arena y se ha revegetado con especies autóctonas el resto de la parcela, consiguiendo una adecuada integración paisajística en el entorno.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que debido al dinamismo y la complejidad de este tipo de ecosistemas, en los próximos años su propia evolución natural finalizará la recuperación ambiental. Se establecerá el equilibrio necesario entre los flujos mareales y los canales y las zonas de marisma. Asimismo, las condiciones del viento y las mareas moldearán el sistema dunar de reciente creación, estableciendo las

pendientes adecuadas o modificándolas periódicamente.

Por último, este proyecto nos debe servir como ejemplo de la capacidad actual para la recuperación ambiental de zonas muy intervenidas en entornos tan frágiles como este. Existen técnicas y alternativas suficientes para devolver a nuestra naturaleza las condiciones que cogimos prestadas, sean cuales sean su localización y sus características.

AGRADECIMIENTOS

Un proyecto como este no puede llevarse a cabo sin la participación y el apoyo de mucha gente, por lo que tenemos que agradecer su trabajo a Jesús Roldán, Ingeniero Técnico Forestal (ITF), por su participación en el proyecto, a Roberto García (ITF), por los trabajos de inventario vegetal, a Javier Sanz Ronda, por su asesoramiento, a Sara López, Elena Pacho y Carmen Marcos, por su trabajo técnico, a Aitor Leiza y Antonio del Campo, por sus conocimientos botánicos, a Patricia Nieto (ITF), Cristian Casado (ITF), Carlos Rojo (ITF) y Daniel Rodríguez (ITF), por los trabajos de recolección vegetal, a Pedro Renuncio y Neftalí Pérez, por los trabajos de restauración, a Francisco Martínez y a Fernando Herreno, por su confianza, y a Inés Ríos, por el día a día de la obra. **F**



Figura 4. Marisma restaurada a falta de la revegetación