

La restauración de ecosistemas. Integración de los factores de presión ecológicos y socioeconómicos en los modelos conceptuales para una gestión adaptativa

JULIA TOJA¹

¹ Facultad de Biología, Universidad de Sevilla, España

E-mail: jtoja@us.es

RESUMEN. La restauración de ecosistemas, lo mismo que cualquier gestión de los mismos, tiene un alto grado de incertidumbre, debido a la gran cantidad de procesos implicados que actúan con distintas escalas espacio-temporales. Por lo tanto, es necesario aplicar un método de manejo adaptativo, que permita reaccionar de forma efectiva y, así, poder avanzar de forma continuada en la comprensión de las condiciones que se van dando en el ecosistema, para conseguir una gestión que se vaya adaptando de forma flexible a cambios. Se pueden construir modelos conceptuales que sirvan de base para el desarrollo de un plan adaptativo. Este modelo debe incluir: una introducción de la dinámica y de los problemas del ecosistema; una descripción de los impulsores del cambio, de los factores de tensión y de los atributos; los efectos ecológicos, incluyendo la descripción de las principales relaciones ecológicas afectadas por los factores de tensión y la integración del hombre como un elemento más. Pero en muchos casos, se plantea la cuestión de hasta dónde debe llegar la restauración. ¿Hasta reproducir el ecosistema original? En muchos casos, o no hay datos de cómo era el ecosistema original o la transformación ha sido tan importante o es tan grande la resistencia de la población humana implicada, que es imposible su consecución. Por lo tanto, actualmente se habla más de ecosistemas “emergentes”, es decir, construir un ecosistema que mantenga una serie de procesos, funciones y elementos estructurales de alto valor intrínseco e utilitario, capaces de hacer frente a un entorno hostil. Para conseguirlo se precisa la actuación conjunta de los investigadores que informen sobre el funcionamiento del ecosistema, de los habitantes de la zona que acepten el cambio y de las distintas administraciones implicadas.

Palabras Clave: Ecosistemas emergentes, manejo adaptativo, restauración.

ABSTRACT. The restoration of ecosystems, as well as any management of them, has a high degree of uncertainty, due to the large number of processes involved that act with different spatio-temporal scales. Therefore, it is necessary to apply an adaptive management method, which allows reacting effectively and, thus, being able to progress continuously in the understanding of the conditions that are occurring in the ecosystem, to achieve a management that adapts in a flexible manner to changes and surprises. For the development of an adaptive plan, you can build conceptual models that serve as the basis for this. This model should include: an introduction to the dynamics and problems of ecosystems; a description of the drivers of change, stress factors and attributes; the ecological effects, including the description of the main ecological relationships affected by stress factors and the integration of man as one more element. But in many cases, the question arises of how far the restoration should go as far as to reproduce the original ecosystem. In many cases, there is no data on what the original ecosystem was like or the transformation has been so important or the resistance of the human population involved is so great that it is impossible to achieve it. Therefore, we now talk more about “emerging” ecosystems, that is, an ecosystem that maintains a series of processes, functions and structural elements of high intrinsic and utilitarian value, capable of facing a hostile environment. To achieve this, the joint action of researchers who report on the functioning of the ecosystem, the inhabitants of the area that accept the change and the different administrations involved is required.

Keywords: Adaptive management method, emerging ecosystems, restoration.

INTRODUCCIÓN

La restauración de ecosistemas, lo mismo que cualquier gestión de los mismos, tiene un alto grado de incertidumbre, debido a la gran cantidad de procesos implicados que actúan con distintas escalas espacio-temporales. Por lo tanto, es necesario aplicar un sistema de manejo adaptativo, que permita reaccionar de forma efectiva y, así, ir avanzando de forma continuada en la comprensión de las condiciones que se van dando en los ecosistemas, para conseguir una gestión que se vaya adaptando de forma flexible a cambios y sorpresas.

Día a día el deterioro de los ríos está aumentando a pasos agigantados en todo el mundo, perdiendo así gran parte de sus servicios ecosistémico. El deterioro puede alcanzar distintos grados de modificación y, en la mayoría de los casos redunda en una reducción del espacio fluvial, contaminación de las aguas, regulación de caudales y alteraciones morfológicas del cauce y de las riberas. Revertir estas situaciones es tanto más complejo cuanto mayor sea el grado de deterioro alcanzado.

En primer lugar hay que tener en cuenta qué es una restauración. En muchos casos (si no en la mayoría de ellos) las actuaciones se encaminan a jardinar o “parquizar” la zona degradada. Pero esto no tiene nada que ver con la restauración.

Cualquier actuación sólo tendrá una respuesta positiva si se conoce el funcionamiento natural del ecosistema a restaurar. Pero, aun si se utilizan criterios ecológicos, en primer lugar hay que hacer un estudio de las alternativas de actuación. A grandes rasgos estas son tres:

Restauración ecológica:

Restablecimiento de los procesos y funciones ecológicas y las interacciones bióticas y abióticas, que permitan el mantenimiento de un ecosistema autosuficiente integrado en el territorio. El mantenimiento del “sistema es autónomo”.

Rehabilitación:

Recuperación de uno o varios elementos del ecosistema degradado que permitan la conservación de especies o procesos de interés conservacionista. Son sistemas donde la regulación del sistema se mantiene de forma “artificial”.

Recreación:

Construcción de hábitats distintos a los preexistentes, diseñados para el mantenimiento de determinadas especies. Pueden requerir una “intensa intervención humana”, sobre todo los orientados a la educación ambiental, pero no tiene por qué ser así, como se comentará más adelante.

Restauración de ecosistemas fluviales:

¿Qué es la restauración fluvial? Es el conjunto de actividades encaminadas a devolver al río su estructura y funcionamiento como ecosistema, de acuerdo a unos procesos y una dinámica equivalentes a las condiciones naturales, o que se establezcan como de “referencia del buen estado ecológico” o del “mejor estado ecológico potencial”. Por ejemplo, en el caso de los ríos hay que tener en cuenta que son sistemas en los que los factores fisicoquímicos que determinan su funcionamiento y las comunidades biológicas asociadas guardan una relación entre sí que responde a diversas escalas espaciales: región biogeográfica, cuenca, segmento fluvial, zonas de rápidos y/o remansos y microhábitats dentro de cada uno de estos últimos. Cada una de estas escalas determina distintos factores que influyen en el funcionamiento del río. A nivel de región biogeográfica los factores son el clima, relieve, geología y tipos de suelos. Los factores de la cuenca hidrográfica serían: tamaño, vegetación, usos del suelo y gestión de los recursos hídricos. Al segmento fluvial le caracterizan: el régimen de caudales, calidad de las aguas, morfología del cauce, estado de las riberas y dimensiones

de la llanura de inundación. Los factores que caracterizan el microhábitat son: las condiciones hidráulicas y el sustrato fluvial. Teniendo en cuenta estos factores se podrá planificar una restauración que debe seguir una secuencia: 1) Conservación de los tramos en buen estado ecológico; 2) Protección de los tramos todavía en buen estado pero amenazados por futuras actuaciones; 3) Restauración y/o rehabilitación de tramos degradados; 4) Revalorización de los atributos naturales en el ámbito geográfico y 5) Establecimiento de “condiciones de referencia”. (González del Tánago, 2007).

Pero en todo caso hay que respetar los atributos que caracterizan el buen estado ecológico. Los ríos no son sólo el cauce por donde discurre el agua, sino que hay que mantener, además de la continuidad longitudinal a lo largo del curso, la conectividad transversal con la vegetación de ribera y con las llanuras de inundación y, además, la conexión vertical con el acuífero asociado. Estos tres atributos son los que determinan tanto la estructura biológica como la capacidad de regeneración natural. Ambas surgen como consecuencia de los procesos fluviales y las organiza y mantiene el propio río a través de su funcionamiento ecológico.

Los ríos están en “constante proceso de ajuste” a las variaciones del caudal de agua y de sedimentos. Los procesos de erosión y sedimentación permiten alcanzar en los ríos un estado de “equilibrio dinámico”. La pendiente longitudinal es una de las variables hidráulicas de mayor importancia en la “energía del río”. Los ríos necesitan un “espacio de movilidad fluvial” donde desbordar el agua en crecidas y disipar su energía. Los sistemas riparios necesitan los desbordamientos para la “regeneración natural” del hábitat y de la vegetación.

En la Figura 1 se muestra la dependencia jerárquica entre los factores físicos y biológicos. Si se quiere llegar a conseguir una buena estructura biológica, hay que actuar en los distintos elementos del marco fisicoquímico. Si no se hace así las actuaciones están abocadas al fracaso.

Al planificar cualquier restauración, hay que plantearse hasta dónde se quiere llegar o hasta dónde se puede llegar. Muchas veces, si no las más, hay que mirar al futuro y diseñar nuevos ecosistemas, nuevos paisajes que soporten o tengan internalizada una alta presión de explotación, como es el caso de las interacciones que producen las actividades del hombre (Figura 2). El ideal sería el llegar a

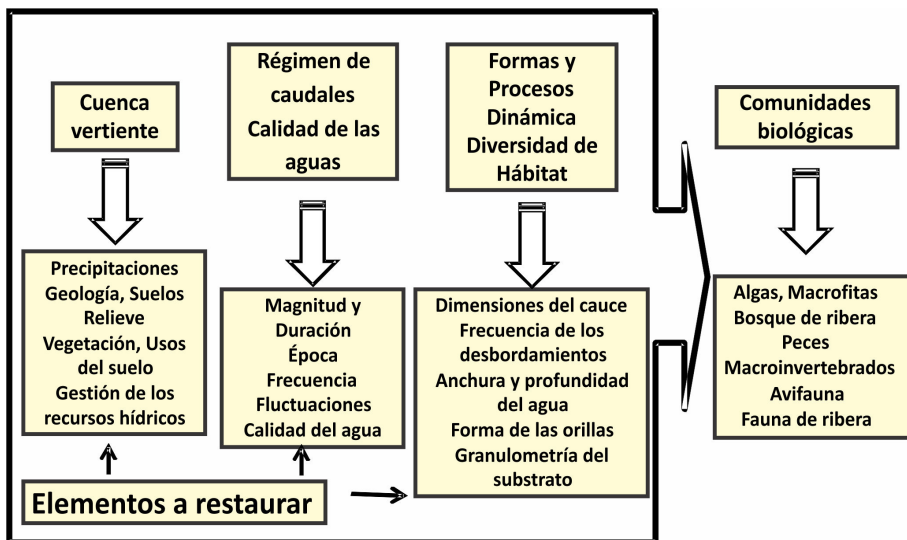


Figura 1. Dependencia jerárquica entre los factores fisicoquímicos y los biológicos (González del Tánago, 2007)

recuperar el ecosistema original. Pero ¿cuál era éste? En Europa, fuertemente intervenida por el hombre desde el neolítico, es casi imposible saber cómo era antes de esta influencia. Como mucho se puede tener idea de cómo eran los sistemas antes del fuerte impacto de la revolución industrial y agraria, es decir, cómo eran los sistemas a mediados del siglo pasado. Aunque en vastas zonas de América el impacto, aparentemente es menor, en los ríos más deteriorados este impacto también ha sido severo y no hay muchos datos de cómo eran originalmente. Por lo tanto, como mucho se puede tomar como referencia el estado de estos sistemas hace unos 100 años. Aunque entonces los sistemas estaban algo perturbados tenían un funcionamiento más cercano al

Teniendo en cuenta todos los factores que pueden intervenir de diferente forma en un proceso de restauración, para realizar ésta hay que implementar un sistema dinámico de manejo y control, es decir una “gestión adaptativa” (Figura 3). O sea, un manejo adecuado de los ecosistemas dependerá de lo que se aprenda del sistema mientras se maneja.

Para que un modelo conceptual sea adecuado y consiga los objetivos planificados, debe tener bien definidos los diferentes elementos: 1) Impulsores de cambio, 2) Factores de tensión, 3) Los efectos ecológicos, 4) Los atributos ecológicos y 5) Los efectos socioeconómicos, es decir, hay que integrar al hombre como un elemento más de los modelos conceptuales (Gallego, 2008).

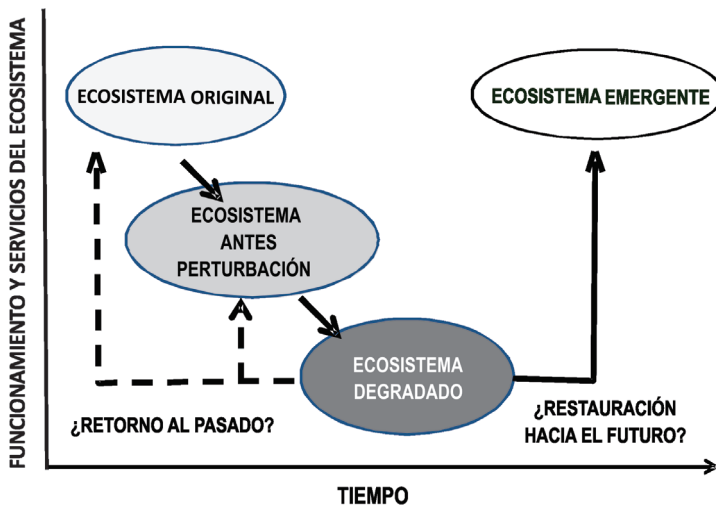


Figura 2. Esquema de la secuencia de decisiones que hay que tomar a la hora de planificar una restauración, regeneración o recreación (Gallego, 2008, modificado de Arenson & Adel, 2002).

original. Posteriormente a esta situación en muchos ríos se han producido fuertes perturbaciones, determinando un sistema muy degradado. En este caso, el retorno al pasado, aunque sólo sea a la situación de ligera perturbación, es imposible y hay que pensar en una “restauración” hacia el futuro, hacia la recreación de un ecosistema emergente que mantenga una serie de procesos, funciones y elementos estructurales de alto valor intrínseco y utilitario, capaces de hacer frente a un entorno hostil.

La presentación de cada modelo incluye: a) Una presentación de la dinámica y problemas del sistema; b) Una descripción específica de los impulsores del cambio, de los factores de tensión y de los atributos; c) Los efectos ecológicos, incluyendo una descripción de las principales relaciones ecológicas afectadas por los factores del cambio y d) Un conjunto inicial de medidas y objetivos de restauración de los atributos. Pero estas medidas son sólo factibles y efectivas si tienen el consenso de los habitantes de la zona a restaurar. Es decir, si

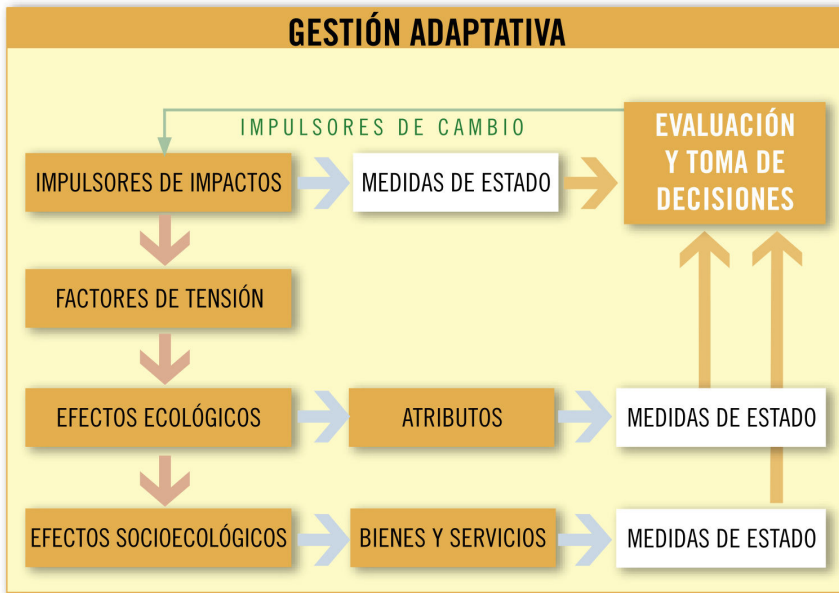


Figura 3. Modelo conceptual para una gestión adaptativa en la restauración de un ecosistema (Gallego, 2008).

aumentar los bienes y servicios que ya les prestaba el ecosistema a restaurar.

Es imprescindible alcanzar un consenso sobre los componentes y sus relaciones para aumentar los bienes y servicios que ya les prestaba el ecosistema a restaurar.

Es imprescindible alcanzar un consenso sobre los componentes y sus relaciones para establecer el modelo conceptual. Hay que llegar a establecer criterios específicos sobre qué medidas hidrológicas, ecológicas, biológicas y sociales. Si no, la restauración no tendrá éxito. Por lo tanto deben trabajar en conjunto todos los actores implicados: científicos y técnicos, gestores, todas las Administraciones con competencia en la zona a restaurar y los habitantes y/o usuarios de la zona. Es decir, para una gestión adecuada de los ecosistemas es necesario definir cuáles van a ser las relaciones o vínculos utilitarios que unan a las personas con los ecosistemas, considerando cuáles son los valores intrínsecos de los ecosistemas que se quiere mantener, restaurar o recrear. Esta confluencia de todos los actores implicados se da muy pocas veces y es una de las razones por la que la mayor parte de las restauraciones fracasan. Pero, a veces se produce el milagro, como ocurrió en el caso de las actuaciones realizadas tras el accidente minero ocurrido en el río Guadamar (S.O de España).

El accidente minero de las minas de Aznalcollar, su impacto en el estado ecológico del río Guadamar y la creación del corredor verde del Guadamar:

Este es un caso que puede subtitularse con varios refranes: “Querer es poder” “Más vale tarde que nunca” o “No hay mal que por bien no venga”.

El río Guadamar es el último afluente del río Guadalquivir por su margen derecha (Figura 4). En la actualidad su curso natural que, antiguamente se derramaba en la marisma de Doñana, se recondujo hacia una zona limitada entre dos diques separados por 1 km (denominada zona de Entremuros), dirigiendo las aguas a desembocar directamente en el río Guadalquivir. Respondiendo al clima mediterráneo dominante en la zona, este río tiene grandes fluctuaciones de caudal, siendo éste normalmente muy bajo, pero de vez en cuando se producen grandes avenidas que inundan una amplia zona a ambos lados del cauce principal (entre 500 y 1000 m).

Este río es el nexo de unión entre los Parques Nacional y Natural de Doñana y el Parque Natural de la Sierra Norte (Ambas zonas declaradas reserva de la Biosfera por la UNESCO). Desde hacía varias décadas, los científicos habíamos pedido que se protegiera



Figura 4. Mapa del Río Guadamar con las estaciones de muestreo para el control de la calidad del agua y de los organismos acuáticos (algas planctónicas y bentónicas, microinvertebrados y macroinvertebrados). La zona encuadrada señala la zona del río más afectada por la contaminación minera.

el río y su llanura de inundación como un corredor ecológico entre las dos zonas (Figura 5). Pero no se había conseguido debido a los grandes intereses económicos (sobre todo agrícolas) centrados en esta zona. Desde 1956 las fotografías aéreas del valle del río denotan una transformación radical del paisaje de los ecosistemas terrestres aledaños

por su aprovechamiento agrícola cultivando (principalmente por frutales) hasta el borde del cauce principal, invadiendo las llanuras de inundación, incluso los terrenos de dominio público hidráulico. El destino principal de estas frutas era el mercado europeo. Además, la otra explotación importante era la minera. La zona de la Sierra está enclavada en una franja pirítica que se ha venido explotando, en distintas zonas, desde hace unos 3.000 años. En la zona situada en el borde de la Sierra, estaba la Mina de Aznalcóllar. La explotación se hacía a cielo abierto y el objetivo era la extracción de diversos metales. Los áridos procedentes de la explotación se acumulaban en un enorme depósito. Debiera haberse almacenado sólo áridos. El agua tenía que tratarse en una depuradora antes de verse al arroyo Agrio cerca de su confluencia con el Guadamar. Los científicos también habíamos avisado desde los años 70 que ese depósito era una bomba que podía estallar en cualquier momento.

En la madrugada del sábado 25 de abril de 1998 se rompió el muro de contención del depósito de estériles mineros de la mina de Aznalcóllar, ocasionando una de las mayores catástrofes ecológicas de las últimas décadas en Europa. Unos 6 millones de metros cúbicos de lodos piríticos y aguas ácidas con altas concentraciones de metales pesados y otros elementos traza como el arsénico, procedentes de los procesos de flotación de la pirita, se vertieron a los cauces de los ríos Agrio y Guadamar. En el interior del depósito



Figura 5. Paisaje protegido del Corredor Verde del Guadamar. LIC son Lugares de Interés Comunitario de la Unión europea (Pinto *et al.*, 2008)

permanecieron unos 20 millones de metros cúbicos de materiales que no llegaron a ser arrastrados por las aguas en su salida y que, finalmente pudieron ser contenidos y sellados definitivamente. Al estar las piritas mezcladas con agua, se distribuyeron fácilmente a lo largo de todo el cauce (cerca de 60 km) y se desbordaron en toda la llanura de inundación correspondiente a las grandes avenidas (Figura 6). Por lo tanto quedaron inundadas vastas extensiones de frutales. La riada se pudo detener con un dique construido a la altura del punto 8 de la Figura 4. De esta forma no entró

suelos de amplias plantaciones de frutales, había que asegurar al resto de Europa que de la zona contaminada no salía ningún producto hacia los mercados. Por lo tanto se inició un programa de rescate de todas las tierras contaminadas, comprando las Administraciones incluso las zonas invadidas de dominio público. El objetivo es que todos los terrenos pasaran a ser dominio público inmediatamente, sin que los agricultores plantearan ningún pleito. De esta forma se liberaron terrenos destinándolos a una regeneración y a la recreación de un Corredor Verde.



Figura 6. Vista aérea de parte del valle del Guadimar tras el vertido. (Arenas *et al.*, 2008).

en el Parque Nacional de Doñana, pero si en el Parque Natural, ya que Entremuros tiene esta figura de protección.

Dos factores contribuyeron a la rápida intervención y a la colaboración de todas las administraciones implicadas. Por un lado la afición directa e indirecta al Parque Nacional de Doñana, por lo que los residuos empezaron casi inmediatamente a retirarse. Pero, si sólo hubiera esta circunstancia, sólo se hubiera limpiado y no se habría creado el corredor ecológico (denominado Corredor Verde). Pero dado que habían quedado contaminados los

Pero, además, tanto el planteamiento de los objetivos y de las acciones en todo momento estuvieron asistidos por una comisión científica, que abarcaba prácticamente todos los elementos y procesos implicados (más de 800 investigadores estuvimos implicados). Se creó la Oficina de Corredor Verde, que coordinó tanto las informaciones de los estudios científicos, como las actuaciones técnicas de limpieza y restauración y la comisión de participación ciudadana (Figura 7).

La retirada del lodo tóxico, dada la extensión afectada, hubo de realizarse con



Figura 7. Estructura organizativa creada en el seno de la Consejería de Medio Ambiente para el desarrollo de las distintas líneas de trabajo y programas de actuación establecidas en la estrategia del Corredor Verde (Arenas *et al.*, 2008).

maquinaria pesada, que, además de los lodos, retiraba también el suelo agrícola adyacente, sólo en algunos casos se hizo una limpieza manual, para poder preservar algunos árboles interesantes. Todo el material retirado está depositado en una de las cortas abandonadas de la mina, que había sido excavada bastantes metros por debajo de la base de los acuíferos de la zona. Lógicamente el suelo resultante, aunque se consiguió una reducción casi total de los elementos tóxicos biodisponibles, quedó totalmente empobrecido. Por esta razón hubo que regenerarlo. Se utilizaron todos los residuos con alto contenido en materia orgánica procedentes de diversos orígenes: espumas de las azucareras, lodos de depuradoras de aguas residuales, restos vegetales de la transformación

de productos agropecuarios. Posteriormente, se intentó favorecer la regeneración natural, con pocas intervenciones, aunque plantando en algunas zonas bosquetes conteniendo especies de árboles y arbustos típicos del bosque mediterráneo (que, posiblemente, era la vegetación originaria de la zona). Se crearon hondonadas que se llenaban de agua con las lluvias, para facilitar la reproducción de los anfibios. Se construyeron algunos refugios para reptiles (con piedras y troncos) y, en el cauce del río se limpió, se quitaron algunas estructuras transversales y se dejó que se restaurara el bosque en galería. Todo esto se hizo siguiendo un modelo conceptual de gestión adaptativa (Gallego, 2008) que seguía un organigrama de trabajo (Figura 8): para la

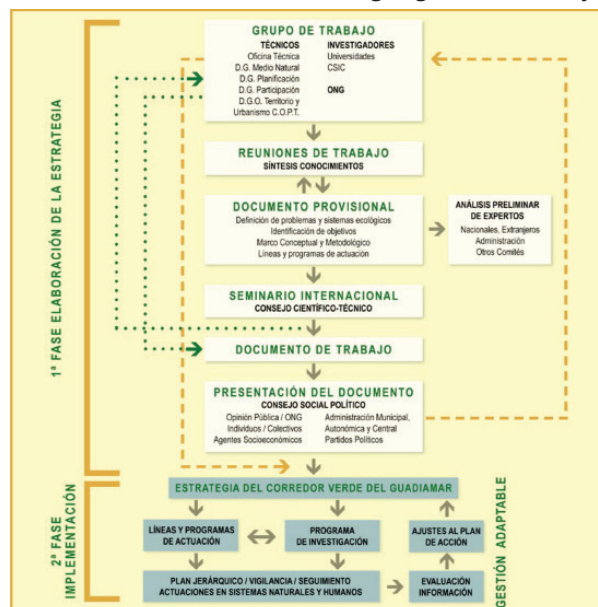


Figura 8. Organigrama de trabajo para la elaboración e implementación de la Estrategia del Corredor Verde del Guadiamar (Pinto *et al.*, 2008).

primera fase de la elaboración de la estrategia los estudios científicos realizados. Cada uno de los equipos de investigadores diseñó para su parte del trabajo un modelo ecológico conceptual identificando los factores de tensión, los efectos ecológicos y los atributos. Como ejemplo, se recoge el modelo elaborado para los aspectos relacionados con la degradación de la calidad del agua (Figura 9). Los ítems que se investigaron son los que se reflejan en la Figura

9. Lógicamente era imposible analizar todas las variables (como, por ejemplo, el contenido en tóxicos), se eligieron algunas especies características (Figura 10).

Siguiendo estas premisas se realizaron las actuaciones. Aunque no se puede decir que se consiguieran todos los objetivos, se puede considerar que el proceso fue exitoso. Diez años después, pocas personas podrían decir, al acercarse a la zona que allí había ocurrido

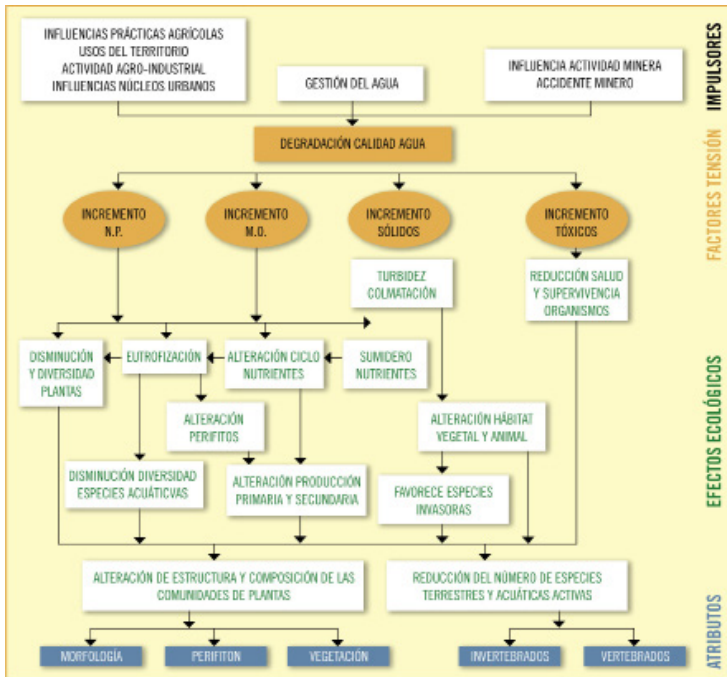


Figura 9. Diagrama del modelo ecológico conceptual para el conjunto de factores de tensión relacionados con la degradación de la calidad del agua (Gallego, 2008).



Figura 10. Propuesta de atributos para el seguimiento de los efectos ecológicos relacionados la degradación de la calidad del agua (Gallego, 2008).

un desastre tan notorio. Los resultados más importantes de la investigación previa y de la construcción del corredor verde, pueden verse en dos libros editados por la Consejería de medio Ambiente de la Junta de Andalucía y que pueden bajarse íntegramente de la red (Arenas *et al.*, 2003; Redondo *et al.*, 2008). Pero nada hubiera podido hacerse si los habitantes de la zona no hubieran tenido su contrapartida. Por esta razón, la margen izquierda de la zona afectada y restaurada (es la más estrecha y la más cercana a los pueblos más grandes) se dedica a multitud de actividades recreativas y educativas (Figura 11). De esta forma, se reserva la margen derecha exclusivamente como Corredor Verde.

parte de la marisma, etc. Además, una parte importante del agua que la marisma recibía estaba seriamente contaminada por aguas residuales urbanas (la mayoría sin depuración) y excedentes de aguas agrarias contaminadas por diversos agroquímicos. A esto se añadía la contaminación minera que se ha comendado anteriormente que, si bien no afectaba al Parque Nacional, si lo hacía al Parque Natural. Precisamente la mejoría del Guadiamar hacía pensar que era factible devolver a la marisma parte del agua de este río, que se había derivado por la construcción de Entremuros.

También en este caso, los planes de actuación tuvieron un apoyo científico y una relativa coordinación de las Administraciones

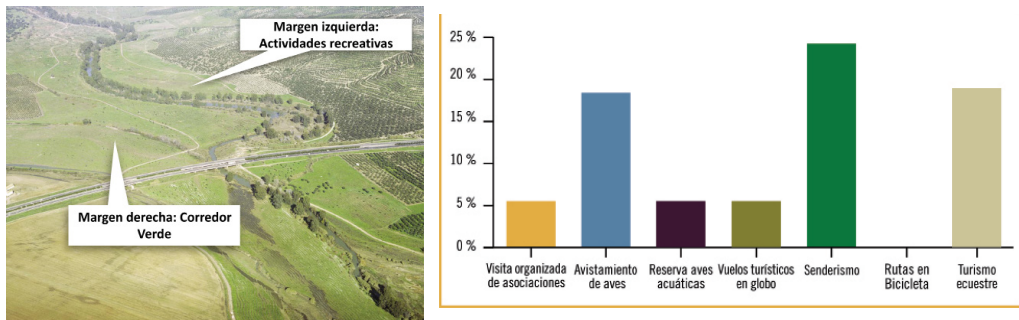


Figura 11. Aspecto de la zona afectada, después de acometerse los trabajos de limpieza. Se observa ya un inicio de regeneración del bosque ripario. Se señalan las zonas dedicadas a actividades sociales y a Corredor Verde. Derecha: porcentaje sobre el total de las actividades recreativas y educativas que se desarrolla actualmente en el corredor.

El proyecto Doñana 2005. Restauración del humedal más emblemático de Europa

Este es un ejemplo de que aunque la planificación sea correcta, las cosas no siempre salen bien. Los intereses particulares no siempre coinciden y esto hace fracasar algunas actuaciones. Esto es lo que ha ocurrido con el ambicioso proyecto destinado a la regeneración hídrica y restauración de zonas desecadas de la marisma de Doñana.

Al abrigo de corrientes favorables a la restauración de ecosistemas degradados, originada por la catástrofe del Guadiamar, resurge la idea, largamente acariciada por los científicos, de la restauración de la marisma de Doñana. Por diversas circunstancias, desde mediados del siglo pasado, los aportes de agua a la marisma se habían reducido sensiblemente: desviación de ríos, diques, desecaciones de

implicadas. Pero los resultados finales no se han conseguido totalmente, aunque si ha habido actuaciones exitosas.

El proyecto consideraba 11 aplicaciones, de las que la 9, 10 y 11, estaban destinadas a la investigación y el seguimiento de la mayor o menor efectividad de las otras ocho, que si implicaban obras de diversa intensidad. Estas actuaciones de seguimiento e investigación se han llevado a cabo con bastantes buenos resultados. Los trabajos los han realizado, sobre todo miembros de la estación Biológica de Doñana del CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). En la Figura 12 se señalan las zonas donde se han realizado actuaciones. Como puede verse, estas actuaciones se sitúan en la frontera entre los Parque Nacional y Natural de Doñana. Para el conocimiento de estas actuaciones puede consultarse distintos documentos Colmenar (2004)

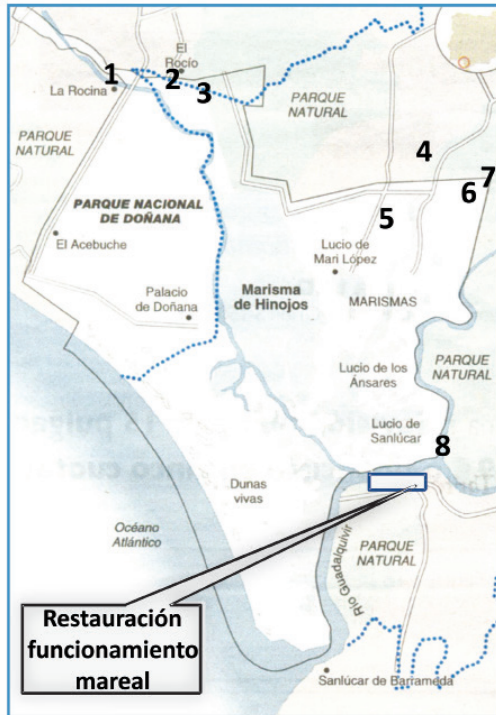


Figura 12. Parque Nacional de Doñana con las ocho zonas afectadas por las actuaciones del proyecto Doñana 2005 y la localización de la zona en que se han desarrollado las actuaciones para la restauración que se comentan en el tercer caso.

presenta la descripción del proyecto, y en las sucesivas memorias anuales elaboradas por la estación biológica de Doñana. Por ejemplo la del año 2005 (año en que tendrían que haber estado terminadas todas las actuaciones) hay un informe de la Estación Biológica de Doñana (2006). Hay otros informes hasta el año 2009. También existe información de la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente (2007). Según estos documentos puede deducirse la situación de cada una de estas actuaciones. Aunque los últimos resultados aquí recogidos datan de 2009, las cosas no han cambiado mucho. En 2016 la ONG Ecologistas en Acción reclamaban la reanudación de las obras (<https://www.ecologistasenaccion.org/?p=31586>). Este parece que es el estado de la cuestión:

Actuación 1. "Restauración de los Arroyos de Soto Grande y Soto Chico y del Arroyo de la Laguna de Los Reyes". Esta actuación está terminada y, funcionó bien al principio, pero parece que recientemente hay algunos

problemas que hacen que no sea totalmente efectiva.

Actuación 2: Instalación de una depuradora de aguas residuales en las proximidades de la aldea de El Rocío. Terminada y parece que funcionando correctamente.

Actuación 3. "La Restauración del arroyo Partido". Está inacabada. Los resultados no son concluyentes. Ha chocado con numerosos intereses particulares.

Actuación 4. "Restauración de la Marisma Gallega". Concluida la obra. Se han permeabilizado diques, pero los resultados no han sido satisfactorios.

Actuación 5. "Recuperación de la funcionalidad del caño Guadiamar". No se ha llevado a cabo por numerosos conflictos de intereses.

Actuación 6. "Restauración de la Finca de Caracoles y del Caño Travieso a su paso por ella". La fase I está acabada y los objetivos cumplidos. La fase II se unió posteriormente a la actuación 7.

Actuación 7. "Recuperación de la funcionalidad del Brazo de la Torre, del caño Travieso". En términos generales la obra se puede considerar inacabada y, por lo tanto, no cumple los objetivos previstos.

Actuación 8. "Control y permeabilización de la marisma frente al río, al Brazo de la Torre y a Entremuros (actualmente incorporada a la actuación 7). Parada y, además, hay dudas entre los expertos sobre su idoneidad.

Para conseguir una restauración efectiva ¿es preciso acometer grandes y caras obras?

En los dos casos anteriormente expuestos, para conseguir resultados, ha sido necesario emprender costosas actuaciones. En el caso del Guadiamar, no se acometieron obras importantes, pero la compra de los terrenos afectados y las labores de limpieza y enmienda de suelos costaron 125 millones de euros y el total de las actuaciones más de 185 millones de euros y, posiblemente fueron necesarios. En el caso del proyecto Doñana 2005, no sé el costo, pero las obras fueron importantes. Pero, en muchos casos, posiblemente con actuaciones mucho menos intervencionistas

pueden conseguir los mismos resultados. Esto se ha demostrado en la restauración del funcionamiento mareal de parte de la marisma de la Algaida, situada en la margen izquierda del estuario del Guadalquivir, dentro del Parque Natural de Doñana (Figura 12). Esta zona se había colmatado y, por lo tanto, perdido su funcionalidad mareal debido a que se había ido rellenado con los sedimentos resultantes del dragado del canal de navegación del estuario del Guadalquivir desde la desembocadura hasta el puerto de Sevilla (Figura 13). La Junta de Andalucía decidió restaurar el funcionamiento natural, diseñando la construcción de una serie de canales, isletas y zonas más profundas. Solicitaron la asesoría del Dr. Francisco García

Novo y el Dr. Juan Bautista Gallego, profesores de Ecología de la Universidad de Sevilla que sugirieron que, posiblemente no hacía falta acometer unas obras tan costosas. Sugirieron delimitar una zona a restaurar y dividirla en dos mitades. El sector norte tendría una gran intervención con maquinaria pesada.

Pero en la zona sur, sólo se escavarían tres canales transversales a través de la banda de *Spartina densiflora* que separaba la zona a recuperar del estuario. La idea era que, aunque tardara un poco más, la entrada del agua mareal iría excavando y modelando el terreno de forma natural. El costo de los trabajos de la zona Norte fueron de 6.000 euros por ha, mientras que el sector sur fue de 60 euros por ha. Los resultados

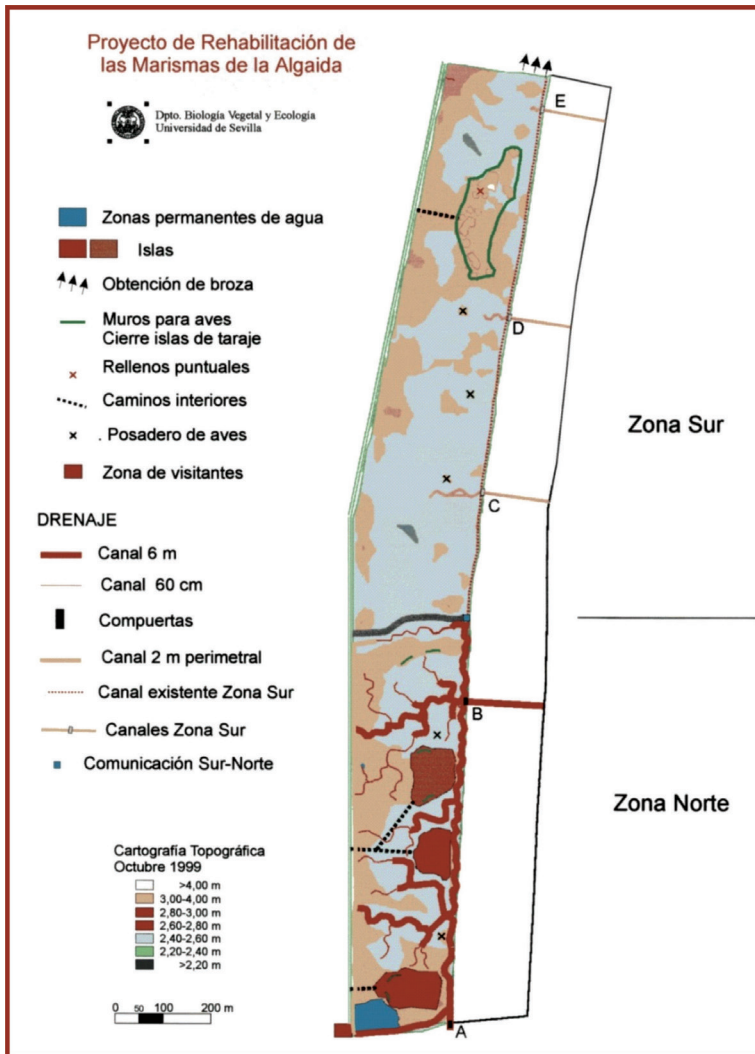


Figura 13. Diseño de las actuaciones en la Marisma de la Algaida (Gallego-Fernández y García Novo, 2007)

fueron espectaculares (Gallego-Fernández & García-Novo, 2007). Las obras se realizaron en el año 2002 y tres años después prácticamente no se observaban diferencias entre ambas zonas. Un ejemplo puede ser la evolución de la vegetación de la zona, usando como referencia la de marismas mareales cercanas (Figura 14).

Las conclusiones de este trabajo son: a) Rápida colonización de organismos en muy poco tiempo, b) Tras cinco años, la riqueza, cobertura y biomasa de plantas alcanzó niveles similares a las marismas naturales de referencia, c) La

marisma restaurada ha recuperado sus funciones de zona de cría, engorde y protección de juveniles de peces, d) La especie de pez dominante en situaciones de patrón de inundación artificial es una invasora (*Fundulus heteroclitus*), e) Tras la instauración de un patrón de inundación natural la abundancia de *F. heteroclitus* ha descendido a niveles mínimos.

Es decir, es preferible pararse a pensar si (conociendo el funcionamiento del sistema) es suficiente una mínima intervención una vez que se han eliminado las presiones degradadoras.

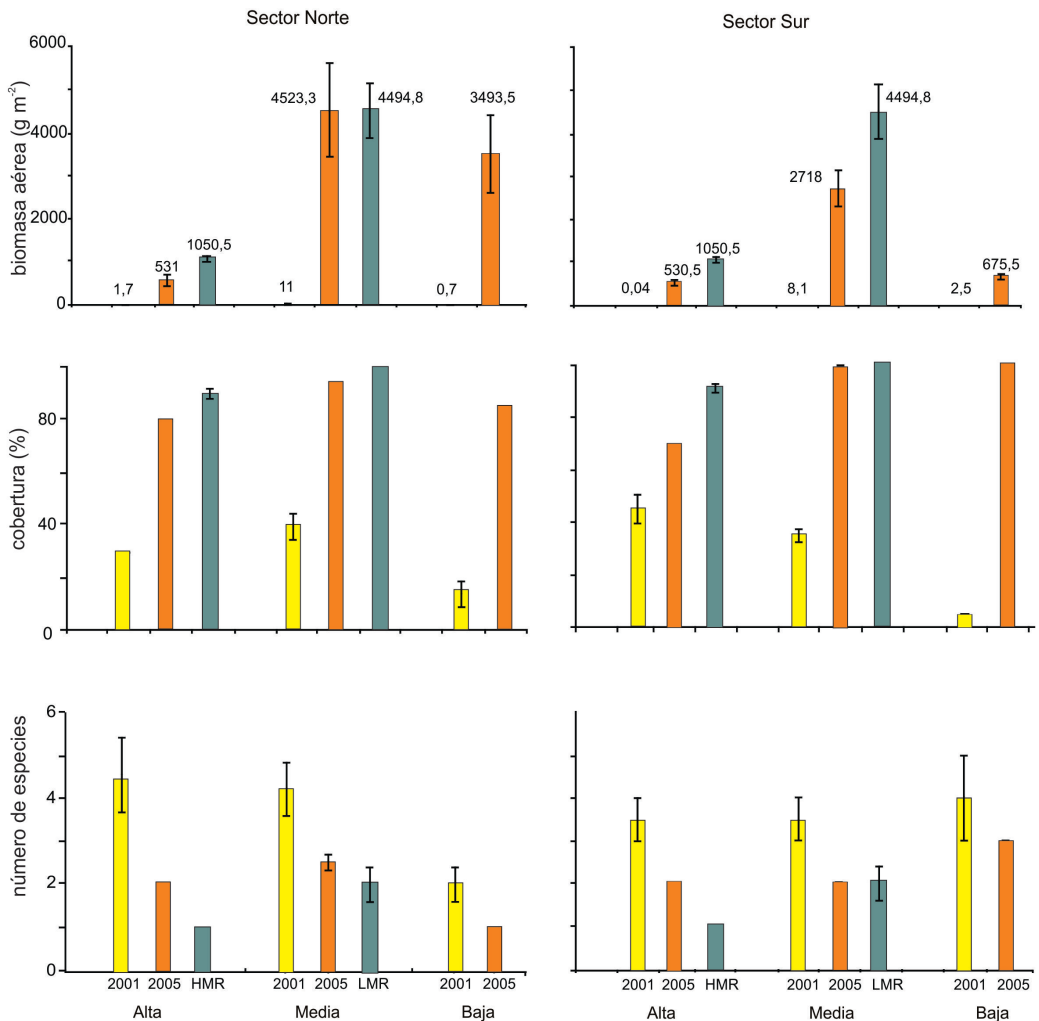


Figura 14. Evolución desde 2001 (histograma amarillo) hasta 2005 (histograma anaranjado) de diversas variables de la vegetación instaurada en distintas zonas de la marisma en cada uno de los sectores Norte y Sur, en comparación con lo normal en marismas mareales cercanas (histograma verde).

BIBLIOGRAFÍA

- Arenas, J.M., F.R. Martínez Faraco, A. Mora, C. Montes, F. Borja (Eds). 2003.** *Ciencia y restauración del río Guadiamar*. PICOVER 1998-2002. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Arenas, J. M., Carrascal, F., Gil, A. y Montes, C. (2008).** Breve historia de la construcción del Corredor Verde del Guadiamar. En I. Redondo, C. Montes y F. Carrascal (eds). *La restauración ecológica del río Guadiamar y el proyecto del Corredor Verde. La historia de un ecosistema emergente* (29-64). Sevilla: Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- Colmenar, E. (2004).** *Proyecto Doñana 2005. Restauración del humedal más emblemático de Europa*. Recuperado en: http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM/AM_2004_29_22_27.pdf.
- Equipo de Seguimiento de Procesos Naturales. (2007).** *Plan Integrado de evaluación ambiental (vegetación, fauna y paisajes) del proyecto Doñana 2005. Memoria del año hidrológico 2006.2007*. Recuperado en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/65066/1/Seguimiento%20Donana%202005_2006-2007.pdf.
- Estación Biológica de Doñana (2006).** Resultados de la investigación en el Parque Nacional de Doñana 2005. Recuperado en: <http://web.ebd.csic.es/Website1/Parque/Documentos/Resultados2005.pdf>
- Gallego-Fernández, J. B. & García-Novo, F. (2007).** High-intensity versus low-intensity restoration alternatives of a tidal marsh in Guadalquivir estuary. *Ecological Engineering*, 30 (2): 112-121.
- Gallego, J. B. (2008).** Seguimiento de la restauración de los ecosistemas del río Guadiamar: propuesta de un modelo conceptual. En: I. Redondo, C. Montes y F. Carrascal (eds). *La restauración ecológica del río Guadiamar y el proyecto del Corredor Verde*. La historia de un ecosistema emergente (pp.191-202). Sevilla: Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Recuperado en: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Patrimonio_Natural._Uso_Y_Gestion/Espacios_Protegidos/publicaciones_renpa/restauracion_ecologica_rio_guadiamar/09_seguimiento.pdf.
- González del Tánago, M. (2007).** *Propuesta de guía metodológica para la restauración de los ríos*. Recuperado en: http://www.mapama.gob.es/es/agua/formacion/Marta_G_Tanago_guia_metodologica_tcm30-214274.pdf.
- Pinto, R., Arenas, J. M., Carrascal, F. (2008).** El corredor verde del Guadiamar en el contexto de la RENPA. En: I. Redondo, C. Montes y F. Carrascal (eds). *La restauración ecológica del río Guadiamar y el proyecto del Corredor Verde*. La historia de un ecosistema emergente (65-87). Sevilla: Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- Redondo, I., Montes, C. y Carrascal, F. (eds). 2008.** *La restauración ecológica del río Guadiamar y el proyecto del Corredor Verde*. La historia de un ecosistema emergente. Sevilla: Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.