

## Informes

### *Lecciones aprendidas en tres años de restauración de ecosistemas en el corredor verde del Guadiamar.*

**Carlos Montes**

**Departamento Interuniversitario de Ecología, Universidad Autónoma de Madrid.**

*El vertido minero de Aznalcóllar ha tenido una gran repercusión nacional e internacional por su impacto sobre el Parque Nacional de Doñana y su entorno. Un plan de medidas urgentes permitió retirar gran parte de los lodos y emprender un ambicioso proyecto de gestión y restauración integral de la cuenca del Guadiamar basado en la ecología de sistemas. Dicho proyecto lleva asociado un plan de investigación aplicada, otro de seguimiento, y una campaña de información a los habitantes de la comarca. El proyecto pretende evitar las visiones parciales que han potenciado las políticas sectoriales no coordinadas sobre el mismo territorio (agrícola, forestal, turística, conservación), teniendo como objetivo la gestión integrada y unitaria de este singular sistema ecológico-económico.*

#### **El accidente minero de Aznalcóllar como origen y justificación del proyecto de restauración**

El 25 de Abril de 1998 se produjo una brecha en la gran balsa de estériles del complejo minero suco-canadiense de *Boliden-Apirsa*, ubicado en el pueblo sevillano de Aznalcóllar, en las proximidades del cauce del río Guadiamar. Seis millones de hectómetros cúbicos de lodos piríticos y aguas ácidas con una elevada concentración de metales pesados (zinc, plomo, arsénico, cobre, antimonio, talio, cadmio) recorrieron 62 km. del río Guadiamar y contaminaron una superficie de 4.634 ha de su cauce, llanura aluvial y marismas del Guadalquivir. De la superficie afectada por los lodos tóxicos, 2.656 ha pertenecían al Parque Natural de Doñana y 98 ha al Parque Nacional (**Figura 1**).

El vertido minero tuvo trascendencia internacional por su proximidad a uno de los espacios naturales más importantes de Europa (Doñana). Ello contribuyó a que las administraciones central y autonómica no escatimaran medios para minimizar los impactos ambientales y socioeconómicos generados. El Plan de Medidas Urgentes permitió la retirada de la mayor parte de los



**Figura1.** Mapa que muestra las áreas afectadas por lodos piríticos y aguas ácidas procedentes de la rotura de la balsa de estériles del complejo minero de Aznalcóllar ocurrido en Abril de 1998. La zona de la que se han retirado y descontaminado los suelos afectados son objeto de un programa de restauración ecológica de los ecosistemas de la llanura aluvial, y la zona donde se depuraron las aguas ácidas es objeto de un programa de restauración ecológica de ecosistemas de marisma.

lodos sedimentados y la vegetación contaminada, la depuración de las aguas ácidas retenidas en la marisma y la compra de todos los terrenos afectados. Posteriormente, la Junta de Andalucía, a través de su Consejería de Medio Ambiente, puso en marcha un **proyecto de gestión integrada de cuenca** denominado el **Corredor Verde del Guadiamar**. Sus objetivos fundamentales son, por un lado, evitar la dispersión y remediar la contaminación producida por el vertido minero sobre el río Guadiamar y la marisma afectada, y por otro, crear un corredor ecológico que permita recuperar el flujo de especies y procesos naturales que existía entre los ecosistemas de Sierra Morena y de los arenales del litoral de Doñana.

La Consejería de Medio Ambiente entendió desde un principio que las soluciones tenían que situarse en una escala de análisis y gestión mucho más amplia que la del cauce y el sector de la llanura aluvial afectado por la contaminación. Una respuesta eficaz y viable a largo plazo debía considerar la cuenca en su conjunto. De hecho, la ausencia de una planificación territorial de la zona explica, que no justifica, la presencia de un importante complejo minero en la cuenca media del Guadiamar sin un programa de seguimiento ambiental y un plan de emergencia. Desde los años setenta se venían denunciando las filtraciones y la posibilidad de la ruptura de la balsa. Al no considerarse ni respetarse las tramas territoriales de los flujos de las aguas superficiales y subterráneas de los acuíferos se produjo un fuerte impacto ambiental, a una distancia y extensión muy superior a la que le hubiera correspondido si la balsa hubiera contado con un programa de seguridad dentro de un plan de gestión integrada de la cuenca del Guadiamar.

Para el desarrollo del Proyecto del Corredor Verde, una comisión científico-técnica multidisciplinar elaboró un **Plan de Acción** denominado **La Estrategia del Corredor Verde del Guadiamar**, en donde se establecieron los fundamentos teóricos, las líneas de trabajo y los procedimientos metodológicos a llevar a cabo por la administración autonómica para gestionar el Patrimonio Natural y Humano de la Cuenca del Guadiamar.

De las cuatro grandes líneas de trabajo que comprende este Plan de Acción (Seguimiento, Control y Remediación de la contaminación, Diseño del Corredor Ecológico, Integración entre Sistemas Naturales y Humanos) la de restauración de los ecosistemas de ribera y marismas degradados por el vertido minero es la más importante, tanto por su cuantía económica (3.000 millones de pesetas), como por la superficie de actuación (4.634 ha). Durante los últimos tres años la zona de ha convertido en un gran laboratorio natural donde se están ensayado distintos programas de restauración que se explican someramente en este trabajo.

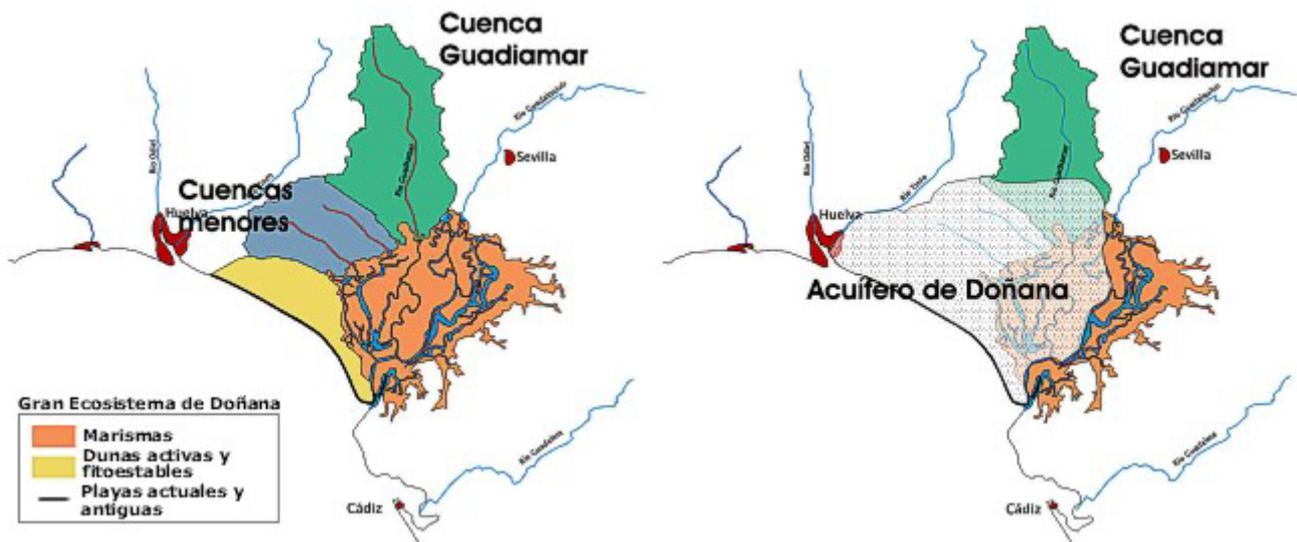
## **La necesidad de tener un marco conceptual de referencia para evitar un listado de actuaciones**

Debido a la tendencia de conceptuar la naturaleza de forma sectorial y fragmentada, los objetivos de la restauración no suelen quedar suficientemente claros. Muchos de los proyectos actualmente vigentes están condicionados por modas, influencias sociopolíticas, corrientes de opinión y juicios estéticos, que dan lugar a importantes asimetrías en el reparto de recursos y en la priorización de actuaciones. Una consecuencia de estos puntos de vista parciales es que el conocimiento científico en los procesos de toma de decisiones sobre la restauración de los sistemas naturales se va diluyendo frente a propuestas de esencia claramente tecnócrata. En este contexto, como ocurrió en el caso de la catástrofe de Aznalcóllar, toman fuerza propuestas o planes de actuación basados casi exclusivamente en un catálogo o fichas de obras sin un hilo conductor ni una base científica clara.

Sin una trama conceptual de referencia, los programas de restauración pueden dispersarse y divagar, limitando sensiblemente la viabilidad de los objetivos globales propuestos. Para superar los problemas derivados de una concepción fragmentada del territorio, la Consejería de Medio Ambiente consideró un

marco conceptual y espacial de referencia amplio, incluyendo al ser humano y sus actividades. Como marco espacial de las actuaciones se adoptó la cuenca del Guadimar. Y como trama conceptual la gestión/restauración de ecosistemas que, bajo un enfoque integrador, busca la coexistencia entre la conservación de los procesos biofísicos de los ecosistemas y la explotación sostenible de los múltiples servicios que estos ofrecen a los humanos.

Los programas de restauración se han diseñado enmarcándolos en un territorio definido por unos límites con significado ecológico: El Gran Ecosistema Litoral de Doñana, un territorio en el que su origen y evolución están íntimamente ligados a la dinámica del litoral del Abalario-Doñana (**Figura 2**). La cuenca del Guadimar, otras menores, y el acuífero de Doñana (como hidrosistemas de referencia) junto con las marismas y el cauce del Bajo Guadalquivir, constituyen la unidad funcional. Desde ésta perspectiva, los programas de restauración no se han definido considerando sólo los límites administrativos (parques Nacional y Natural, municipales, provinciales), sino los establecidos por los procesos claves que determinan la integridad de sus ecosistemas. Se promueve por tanto una gestión integrada y unitaria de este singular sistema ecológico-económico que es el **Gran Ecosistema de Doñana** y sus **Hidrosistemas de referencia**.



**Figura 2.** La conservación de Doñana pasa por una gestión racional de sus cuencas vertientes y acuífero, ya que forman parte de la misma unidad territorial. Para evitar los errores del pasado es necesario gestionar este singular y valioso sistema ecológico-económico como una entidad integrada y unitaria.

Desde este marco conceptual general se exige a los programas de restauración que:

- Se basen en el conocimiento científico de la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas a restaurar y en la relaciones establecidas entre éstos y los sistemas humanos. No se puede gestionar/restaurar correctamente lo que no se conoce.
- Se elaboren por un equipo multidisciplinar formado por científicos y técnicos de diferentes áreas de conocimiento de las ciencias de la naturaleza, sociales y tecnológicas, que compartan objetivos y un marco conceptual y metodológico común.

Por ésta razón, los proyectos de restauración deben ir acompañados de un **programa de investigación aplicada** que, acoplado a un plan de seguimiento de las actuaciones, suministre el conocimiento científico necesario para una toma de decisiones con un mínimo de incertidumbres. En el caso del Corredor Verde se ha promovido el programa de investigación aplicada de mayor alcance que se haya establecido nunca en nuestro país. Con un presupuesto de más de 800 millones de pesetas y casi 300 científicos de

todas las universidades andaluzas y centros del CSIC pertenecientes a áreas de investigación de las ciencias de la naturaleza, sociales, tecnológicas y de la salud, se generan conocimientos suficientes para que las distintas líneas de trabajo y programas de actuación estén fundamentadas científicamente.

Según lo expuesto, podemos extraer como primeras enseñanzas que los proyectos de restauración:

- Nunca pueden ser una alternativa a un modelo de gestión preventivo que se anteponga a lo problemas, frente a uno curativo que implique actuaciones de restauración.
- Nunca deberían ser un fin en sí mismo sino una herramienta dentro de la planificación integrada de cuencas hidrográficas y acuíferos.
- Nunca tendrían que ser considerados como un problema técnico de ingeniería, sino como un plan de actuación basado en el conocimiento científico multidisciplinar de la integridad ecológica de los ecosistemas a restaurar. Es muy difícil elaborar un proyecto de restauración desde una vertiente puramente técnica (ingeniería hidráulica o forestal) y después querer darle una dimensión ecológica. Hay que diseñar el proyecto desde el principio por un equipo multidisciplinar.

En este contexto, se le debería exigir a cualquier proyecto de restauración que antes de implementarse se compruebe que incluye acciones encaminadas a cumplir de una forma secuencial y jerárquica los siguientes **requisitos**: 1) viabilidad científica, 2) viabilidad territorial, 3) viabilidad técnica, 4) viabilidad económica, 5) viabilidad legislativa, 6) viabilidad Social y 7) viabilidad política.

## Fundamentos teóricos para diseñar los programas de restauración

A la hora de elaborar cualquier proyecto de restauración es necesario tener en cuenta una serie de principios establecidos, desde la década de los 80, en el cuerpo de conocimientos de la Restauración Ecológica, que se articula alrededor de la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica ([www.ser.org](http://www.ser.org)).

Dentro de la línea de trabajo sobre restauración de ecosistemas del proyecto del Corredor Verde era necesario distinguir entre:

- **Restauración Ecológica:** se refiere a un programa coordinado de actuaciones a corto, medio y largo plazo, que intenta restablecer la organización y funcionamiento de un ecosistema degradado o destruido tomando como referencia las condiciones dinámicas más parecidas a las que le corresponderían si no hubiera sido afectado por perturbaciones de origen antrópico. Implícita a esta definición está que:
  - Los ecosistemas restaurados deben mantener de forma autosuficiente sus funciones hidrogeomorfológicas y biogeoquímicas. El diseño técnico de los proyectos de ejecución son objeto de la **Ingeniería Ecológica** ([www.iees.ch](http://www.iees.ch)), una rama de la Tecnología Ambiental que actúa sobre los procesos biofísicos claves que han sido destruidos o degradados buscando la sostenibilidad de las actuaciones de restauración, por lo que se actúa en las causas y no sólo en los efectos del proceso de degradación.

- No se potencia ningún elemento particular de su estructura, como las especies emblemáticas de aves o mamíferos. Se intenta restaurar y gestionar la trama de relaciones biofísicas que define la integridad de los ecosistemas degradados, focalizando las actuaciones en los procesos ecológicos más que en la estructura. En este sentido, se le concede una especial atención a la recuperación de la biodiversidad funcional relacionada con las especies de organismos ecológicamente esenciales (especies ingenieras, especies claves).

- La **Ecología de Sistemas**, junto con la Geografía Física y la Hidrología Ambiental, son las disciplinas fundamentales desde las ciencias de la naturaleza que suministran el conocimiento científico necesario para la elaboración y seguimiento de los programas de restauración ecológica. Exige por tanto la creación de equipos científico-técnicos multidisciplinares.

- **Rehabilitación:** se refiere a los proyectos de restauración que no pretenden recuperar las funciones alteradas del sistema ecológico, sino a uno o varios elementos singulares de su estructura que, en general, suelen coincidir con especies incluidas en leyes y convenios nacionales e internacionales de conservación.

Este tipo de proyectos es promovido desde modelos de gestión biocéntricos que conceptúan los sistemas naturales como un conjunto de hábitats de especies singulares y/o emblemáticas que pueden manipularse de forma compartimentada con el fin de mantener la viabilidad de sus poblaciones. Suelen implicar que los ecosistemas rehabilitados no se mantienen de forma autosuficiente. Su diseño se realiza a través de las técnicas de la **Ingeniería Ambiental**. Se centran en la recuperación de las especies, a través de la zoología, la botánica o las ciencias forestales. Los proyectos de rehabilitación suelen implicar un gran coste económico a corto y largo plazo, ya que no generan sistemas ecológicos sostenibles. No necesita equipos multidisciplinares para llevarlos a cabo.

- **Recreación:** se refiere a proyectos cuyas actuaciones incluyen la creación de ecosistemas o hábitats que no existían antes de la perturbación de origen antrópico. Suelen centrarse en la reproducción de determinados escenarios visuales emblemáticos (humedales, bosques) aproximándose más a los objetivos de los parques temáticos de naturaleza o de los zoológicos o jardines botánicos que a los de una restauración de ecosistemas.

Desde una perspectiva científica, siempre que se pueda hay que tender hacia los proyectos de restauración ecológica de ecosistemas y, si no es posible, hacia proyectos multidisciplinares de rehabilitación de algunas de sus funciones. Pero siempre **hay que evitar las falsas restauraciones que promueven la rehabilitación biocéntrica y especialmente la recreación.**

Por último, cualquier proyecto de restauración debe incluir:

- **Objetivos de restauración.** Es necesario definir unos objetivos particulares claros, patentes y operativos, que clarifiquen y den solidez a cada una de las actuaciones propuestas. Tienen que formularse de manera que sean cuantificables mediante un sistema de indicadores, de tal forma que los programas de actuación puedan ser seguidos fácilmente para evaluar su grado de cumplimiento. En último término, los objetivos deben dirigirse hacia la restauración y

conservación de los procesos biofísicos claves, ya que se entiende que ésta es la única fórmula de asegurar un flujo sostenible de bienes y servicios hacia los sistemas humanos.

- **Ecosistemas de referencia.** Es necesario detectar ecosistemas bien conservados, similares al que se pretende restaurar, para determinar unas condiciones de referencia.
- **Programa de seguimiento.** Antes de iniciarse el proyecto de restauración es prioritario tener el diseño y los fondos económicos necesarios para hacer un seguimiento y evaluación de los aciertos y errores de las actuaciones, y así poder realizar los reajustes. **No deberían promoverse proyectos de restauración que no incluyan un programa de seguimiento desde el inicio de las actuaciones.**

## De los planteamientos teóricos a las actuaciones de restauración en el Corredor Verde. Eliminando factores de tensión

Los proyectos de restauración incluidos en el proyecto del Corredor Verde del Guadiamar consideran a las áreas de la llanura aluvial y de la marisma afectada por el vertido minero de Aznalcóllar como ecosistemas, es decir, unidades funcionales complejas y dinámicas. El objetivo general de todos los proyectos de restauración de estos humedales ribereños y de marisma es recuperar los procesos hidrogeomorfológicos y biogeoquímicos que determinan su integridad ecológica.

Se pretende devolver a estos ecosistemas un funcionamiento lo más cercano posible a las condiciones dinámicas que deberían tener de no haberse visto afectados por los impactos de las últimas décadas. Se potencia una visión holista al centrarse en la recuperación de todo el sistema de relaciones biofísicas, y no de sus elementos aislados (hidrología, fauna, flora).

**La capacidad de autodiseño** que poseen todos los sistemas naturales, y en particular los ecosistemas mediterráneos, es el principio que articula los proyectos de restauración. Esto quiere decir que, una vez eliminados los factores de tensión que impiden al sistema natural recuperar su estado ecológico de referencia, si éste permanece abierto al flujo de materiales y propágulos de organismos (semillas, huevos, esporas, etc.), el sistema, en un proceso sucesional de autoorganización, optimizará su diseño al seleccionar el ensamblaje de microorganismos, plantas y animales mejor adaptado a las nuevas condiciones.

EL PROYECTO DE RESTAURACION DE ECOSISTEMAS EN EL CORREDOR VERDE DEL GUADIAMAR ES CONSIDERADO COMO UN EXPERIMENTO, QUE ES EVALUADO MEDIANTE UN PROGRAMA DE SEGUIMIENTO QUE APORTA INFORMACION PARA AJUSTAR OBJETIVOS Y PROCEDIMIENTOS



Figura 3. Gestión adaptable

De esta forma, los proyectos de restauración ecológica del Corredor Verde implican dos fases. Una primera de **Restauración Activa**, en la que los objetivos fundamentales de las actuaciones se centran en eliminar los impactos que desviaban al sistema de su cuadro ecológico de referencia (canalizaciones, caminos, drenajes, etc.) para, a continuación, realizar una reconstrucción de los elementos hidrogeomorfológicos (cauces, vetas, bancos laterales, barras, etc.) que habían sido destruidos por las transformaciones agrícolas antes del vertido minero.

Posteriormente, una fase de **Restauración Pasiva** que se orienta alrededor de un modelo de **Gestión Adaptable (Figura 3)**, o estrategia para disminuir incertidumbres y situaciones no esperables. Por este motivo, se ha puesto en marcha un programa de seguimiento de los puntos finales establecidos, y en el que el programa de investigación del Corredor Verde (PICOVER) juega un papel fundamental. De esta forma se obtiene, controla y procesa información para perfeccionar el proyecto continuamente, y de ser apto para tomar decisiones en cualquier momento del proceso de restauración. En este procedimiento las nuevas tecnologías de la información que incorpora la Red de Información Ambiental de Andalucía de la Consejería de Medio Ambiente juegan un papel fundamental tanto en la fase de definición o diseño, como en la de levantamiento, almacenamiento, análisis y evaluación de la información generada.

Para la restauración de los ecosistemas de la llanura aluvial del río Guadiamar se ha tomado como referencia la recuperación del equilibrio dinámico del sistema fluvial. Se han considerado como actuaciones prioritarias aquellas relacionadas con:

- La restauración del sistema hidrogeomorfológico sobre el que sustenta el corredor fluvial del Guadiamar. Se ha considerado más importante recuperar los procesos de su dinámica fluvial (balance entre los procesos de erosión/transporte/sedimentación) que intentar reconstruir su estructura morfológica. Se ha dejado al Guadiamar un *espacio fluvial* o *espacio de libertad*, libre de actuaciones donde el río pueda desplazar su cauce sin restricciones recuperando su perfil longitudinal y adquiriendo sus atributos característicos de sinuosidad, heterogeneidad y conectividad.
- La restauración de la continuidad del corredor fluvial del Guadiamar como sistema ecológico de morfología lineal que procesa flujos laterales y longitudinales de materia y energía. Se considera esencial eliminar todas aquellas estructuras lineales transversales a su cauce que interrumpen su continuidad.

Se considera que las perturbaciones naturales a las que están sometidos tanto los ecosistemas de marisma como de la llanura aluvial (periodos de riadas, sequías, herbivorismo, etc.), lejos de desestabilizar el sistema, forman parte de su funcionamiento. Es fundamental conseguir que se conserve la intensidad, frecuencia y amplitud de las perturbaciones naturales. Es básico para una restauración del corredor fluvial y la marisma conservar su hidroperiodo natural de caudales, algo fácil dado que el Guadiamar es uno de los pocos ríos andaluces con menor regulación hidrológica. Este modelo de restauración basado en el autodiseño de los ecosistemas y la conservación del régimen de perturbaciones genera proyectos mucho más baratos que los definidos por la rehabilitación y sobre todo la recreación.

## Participación de la población local en los proyectos de restauración

Es necesario contar con un fuerte **apoyo social** para hacer viable un proyecto de restauración de la envergadura del planteado por el Corredor Verde (alrededor de 3.000 millones y casi 5.000 ha). Por esta razón, antes de comenzar las actuaciones de restauración se inició un intenso **proceso de información**, especialmente dirigido a la población local (circular del Corredor, pagina *web*, folletos, publicaciones, jornadas informativas) para comunicar los objetivos y procedimientos. Se han puesto en marcha una serie de **programas de participación activa**, entre los que destacan uno de Voluntariado Ambiental, que pretende



**Foto1.** El vertido minero de Aznalcóllar ha creado la oportunidad de poner en marcha el gran proyecto de restauración ecológica Corredor Verde del Guadiamar.

inculcar la participación directa de asociaciones y colectivos de la comarca en los trabajos de restauración. Se está prestando especial atención a la puesta en marcha del programa Adopta un Tramo del Guadiamar dirigido a centros escolares, asociaciones y grupos juveniles locales. Este programa trata de implicar a docentes y alumnos en un proceso de seguimiento en el que juegan un especial interés los registros de las **especies paraguas**. Estas especies gozan de "gancho social" y tienen requerimientos de desplazamiento, hábitats o relación con algún proceso biofísico muy restringido. Así, estas especies aparecen e incrementan sus efectivos numéricos, cabe esperar que también lo hagan otras especies con requerimientos ecológicos menos exigentes.

## Conclusión

Paradójicamente el vertido minero de Aznalcóllar ha creado la oportunidad de realizar importantes cambios en el modelo de gestión actual de Doñana a través del desarrollo de dos grandes proyectos de restauración con importantes implicaciones territoriales. El primero es un proyecto de restauración ecológica en el marco de la gestión integrada de cuencas, promovido por la Consejería de Medio Ambiente: El Corredor Verde del Guadiamar. El segundo, de más envergadura que el primero (16.000 millones de pesetas), denominado Doñana 2005, desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente a través de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, es un proyecto de rehabilitación funcional que pretende recuperar básicamente el funcionamiento hidrológico de la marisma protegida de Doñana a través de técnicas de ingeniería hidráulica y forestal. Desafortunadamente ambos proyectos no están todavía suficientemente coordinados, aunque se ha iniciado recientemente un proceso de cooperación entre ambas administraciones para ajustar sus marcos conceptuales y aproximaciones metodológicas a la gestión de sus sistemas naturales y humanos. Sin duda estamos en un momento clave para definir el modelo de gestión de la Doñana del siglo XXI. Para evitar los errores del pasado es necesario pasar de las visiones fragmentadas que potenciaron políticas sectoriales no coordinadas sobre el mismo territorio (agrícola, forestal, turística, conservación) hacia la gestión integrada y unitaria de este singular sistema ecológico-económico.

**Para obtener mas información sobre el proyecto, pueden consultarse las siguientes publicaciones en Internet:**

Web del Corredor Verde.

<http://www.cma.junta-andalucia.es/guadiamar/indguadiamar.html>

CMA.1999. *La Estrategia del Corredor Verde del Guadiamar*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

CMA. 2000. *El Programa de Investigación del Corredor Verde*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

CMA. 2001. *El Corredor Verde del Guadiamar. Abril 1998-Abril 2001*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Para consultas y obtener publicaciones puede contactarse con la **Oficina Técnica del Corredor Verde del Guadiamar** ([otcv.guadiamar@cma.junta-andalucia.es](mailto:otcv.guadiamar@cma.junta-andalucia.es)), Consejería de Medio Ambiente, Avda. de la Innovación s/n, Edificio Minister 3ª planta, 41020 Sevilla.



