



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADIANA O.A.



Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana



Revisión de antecedentes: análisis coste-beneficio y gestión, control y erradicación de especies invasoras

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

Índice

1. Introducción.....	1
1.1. Las especies exóticas invasoras y sus efectos económicos	1
1.2. Objeto del estudio.....	2
2. Análisis coste-beneficio: una herramienta para la toma de decisiones.....	4
2.2. Análisis coste-beneficio financiero y análisis coste-beneficio social: de los flujos de caja al bienestar de la sociedad.....	8
2.3. El precio del tiempo: la tasa de descuento	11
3. Gestión, control y erradicación de especies exóticas invasoras	14
3.1. Alternativas de gestión, control y erradicación de especies exóticas invasoras	16
3.2. Gestión del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenta del río Guadiana.....	18
4. Economía de la gestión, control y erradicación de especies exóticas invasoras: costes, beneficios y análisis coste-beneficio.....	29
5. Conclusiones	35
6. Referencias bibliográficas	36

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

1. Introducción

1.1. Las especies exóticas invasoras y sus efectos económicos

En los últimos veinte años ha emergido una conciencia, tanto en el plano académico como político y, en el mejor de los casos, también ciudadano, sobre la problemática asociada a la presencia de especies exóticas invasoras, esto es, especies que, debido a sus especiales características y/o a la modificación del ecosistema hospedador, consiguen implantarse fuera de su área original de distribución con tanto éxito que llegan a afectar al entorno que las acoge.

De hecho, esta conciencia emergente no se origina tanto por la simple existencia de especies en ecosistemas ajenos a su distribución original sino por la capacidad de algunas de estas especies alóctonas de convertirse en agente de cambio, amenazando a la diversidad biológica nativa y, en su caso, generando problemas sobre la economía, la salud y, en general, el bienestar de la sociedad. Una parte importante de los cultivos o de las especies utilizadas para jardinería, por ejemplo, son especies exóticas, pero la incapacidad de gran parte de ellas para establecerse en los ecosistemas sin intervención humana hace que no puedan considerarse un agente de cambio, quedando por ello estas especies alejadas de la problemática asociada a las especies exóticas invasoras.

En definitiva, las especies exóticas invasoras lo son por los efectos que ocasiona su presencia más que por el hecho de que sean especies alóctonas. Estos efectos pueden tener una incidencia muy directa sobre la actividad económica (presencia masiva de plantas en cauces que dificultan la navegabilidad o la pesca comercial), por lo que la presencia de la especie captará rápidamente la atención de la sociedad, pero también pueden existir efectos menos evidentes (entre los más comunes, la alteración de los equilibrios ecológicos del entorno) o, incluso, efectos positivos (ictiofauna exótica de interés para la pesca deportiva). La legislación nacional y comunitaria establecen la obligatoriedad de las administraciones públicas de actuar frente a la presencia de especies exóticas invasoras, pero existe tanto margen en la definición de esta actuación, en la concreción de su naturaleza y/o de su intensidad, que las administraciones públicas necesitan de más información para adecuar su actuación a las características de la invasión.

De forma adicional, vivimos en un entorno de escasez de recursos (restricciones presupuestarias) y diversidad de objetivos y necesidades (usos del agua, distintas especies exóticas invasoras, etc.), por lo que no es posible hacer todo con la máxima intensidad, a veces ni siquiera con la intensidad necesaria. De este entorno de restricciones nace la necesidad de ordenar prioridades, escalar actuaciones y, en definitiva, tomar de decisiones respecto a qué, cómo y dónde se hace, decisiones que serán tan acertadas como buena sea la información sobre la que se basan. En este sentido, y sin vocación de exclusividad, con la intención de que sea un criterio más a tener en cuenta, la ciencia económica proporciona herramientas de indudable valor para informar este tipo de decisiones que las administraciones competentes han de tomar en relación con las especies exóticas invasoras. De hecho, la legislación ya establece la necesidad de actuar contra las especies exóticas invasoras sin tener en cuenta un criterio económico, por lo que la ciencia económica no tendría por qué informar sobre si actuar o no (aunque lo puede hacer y puede resultar interesante escuchar su voz) y sí en relación, por ejemplo, a sobre qué especies conviene actuar primero o sobre qué combinación de medidas permiten alcanzar mejor, o más pronto, o de forma más segura, determinado objetivo.

La utilización de herramientas proporcionadas por la ciencia económica para informar la toma de decisiones es una práctica ampliamente consolidada, establecida incluso normativamente desde distintas

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

instituciones: por ejemplo, la Comisión Europea, mediante el Reglamento (UE) N° 1303/2013¹, establece la obligatoriedad de realizar un “análisis coste-beneficio, incluidos un análisis económico y financiero y una evaluación de riesgos” para que un “gran proyecto” (coste subvencionable superior a 50 o 75 millones de euros, dependiendo del tipo de proyecto) pueda ser aprobado. Aunque esta obligación se establece para estos grandes proyectos, su presencia explícita en la legislación comunitaria no puede sino entenderse como un potente indicador del potencial de estas herramientas económicas para informar la toma de decisiones.

Además, la práctica del análisis coste-beneficio, especialmente en su perspectiva social, precisa de herramientas complementarias propias de la ciencia económica, como los distintos métodos de valoración económica de cambios en la calidad ambiental (costes evitados/inducidos, precios hedónicos, valoración contingente, etc.) que permiten incorporar al análisis coste-beneficio efectos, ya sean positivos o negativos, que, por no ser objeto de intercambio en los mercados, correrían serio peligro de no ser tenidos en cuenta en el proceso de toma de decisiones.

En definitiva, existen suficientes motivos para incorporar al proceso de toma de decisiones estas herramientas proporcionadas por la ciencia económica, no tanto para que se erijan como criterio principal en dicho proceso de toma de decisiones sino por su capacidad para completarlo, para incorporar al análisis elementos quizás olvidados o no tenidos en cuenta adecuadamente.

1.2. Objeto del estudio

En este entorno institucional y académico de preocupación alrededor de la extensión de las especies exóticas invasoras en distintos ecosistemas, del impacto económico que producen y de la necesidad e interés de tomar decisiones informadas al respecto, la Confederación Hidrográfica del Guadiana encargó a Tragsatec la realización del estudio *Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana*. Este encargo abordará la problemática de dos especies exóticas invasoras concretas (camalote y nenúfar mejicano) en el río Guadiana desde una perspectiva económica, recopilando y analizando los costes en los que se ha incurrido y los beneficios que se derivan de su gestión, control y posible erradicación y ofreciendo información y criterios respecto a la racionalidad económica de las acciones realizadas hasta la fecha y de las acciones a realizar en el futuro para alcanzar, en el mejor de los casos, la erradicación de estas dos especies en la cuenca del río Guadiana.

A efectos prácticos, en encargo se ha dividido en tres informes distintos, a saber:

- Revisión de antecedentes: análisis coste-beneficio y gestión, control y erradicación de especies invasoras.
- Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana.
- Elementos de aprendizaje para el análisis coste-beneficio de la gestión, control y erradicación de otras especies invasoras en la cuenca del río Guadiana.

¹ Reglamento (UE) N° 1303/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de diciembre de 2013, por el que se establecen disposiciones comunes relativas al Fondo Europeo de Desarrollo Regional, al Fondo Social Europeo, al Fondo de Cohesión, al Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural y al Fondo Europeo Marítimo y de la Pesca, y por el que se establecen disposiciones generales relativas al Fondo Europeo de Desarrollo Regional, al Fondo Social Europeo, al Fondo de Cohesión y al Fondo Europeo Marítimo y de la Pesca, y se deroga el Reglamento (CE) no 1083/2006 del Consejo

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

El presente informe se corresponde con el primero de estos trabajos, en el que se procederá a una revisión si no exhaustiva sí extensa y lo suficientemente comprensiva para conocer el estado del arte y construir el análisis a partir de las mejores referencias.

En este sentido, el conocimiento y análisis de los ejercicios, experiencias y ejemplos desarrollados previamente por distintos agentes en relación con un determinado objeto de estudio permite, al menos, orientar los trabajos a realizar y conocer de forma previa los retos y las dificultades a las que determinado trabajo habrá de enfrentarse, cuando no, en el mejor de los casos, identificar los elementos en los que el estudio puede mejorar o complementar los trabajos realizados hasta la fecha.

A la hora de emprender el análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación del camalote y del nenúfar mejicano en el río Guadiana resulta obligada la lectura de estudios publicados hasta la fecha sobre análisis coste-beneficio, sobre gestión de especies exóticas invasoras y sobre análisis coste-beneficio de especies exóticas invasoras. La exposición de esta lectura y análisis se desarrollará en el presente informe, presentándose dicha revisión según la siguiente estructura.

En primer lugar, se procede a realizar una revisión de la literatura más relevante en relación con el análisis coste-beneficio, identificando el objetivo de esta herramienta, los criterios para su aplicación y las perspectivas con las que se puede aplicar. Un parámetro importante de cualquier análisis coste-beneficio es la tasa de descuento, que merece de un análisis y estudio particular.

A continuación, se procederá a realizar un recorrido, no necesariamente exhaustivo ni de carácter excesivamente técnico, sobre la gestión y control de las especies exóticas invasoras, identificando las distintas medidas disponibles, su efectividad, ejemplos de aplicación, etc. En este sentido, identificar y reconocer el marco de actuación en que se desarrollan las actividades de gestión, control y posible erradicación del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana resulta imprescindible para un estudio como el que va a desarrollarse en posteriores fases del encargo.

En tercera instancia, se revisarán distintos ejercicios sobre análisis coste-beneficio de la gestión de especies exóticas invasoras y, especialmente, de la gestión del camalote y del nenúfar mejicano, aterrizando el análisis de la herramienta (el análisis coste-beneficio) en el caso concreto que ocupa a este estudio (la gestión de especies exóticas invasoras y, en concreto, del camalote y del nenúfar mejicano). Esta última revisión de literatura debe identificar enfoques, exigencias documentales, fuentes y posibles retos para abordar con mejores garantías el posterior análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

2. Análisis coste-beneficio: una herramienta para la toma de decisiones

A la hora de tomar cualquier decisión (qué película ir a ver al cine, qué coche comprar, cualquiera), siquiera de forma implícita e informal, y de manera inconsciente en muchos casos, se procede a sopesar las ventajas e inconvenientes de las diferentes opciones disponibles, para elegir finalmente aquélla que mejor cumple determinados criterios. El análisis coste-beneficio no es otra cosa que la metodología formal y sistemática para realizar esta comparación entre inconvenientes (costes) y ventajas (beneficios) de una decisión, proyecto o alternativa de inversión: mediante esta metodología se podrá identificar la idoneidad, incluso la intensidad de dicha aptitud, de ejecutar determinada acción, comparándola ya sea consigo misma o con otras alternativas y una vez definidos los criterios por los que se valoran dichas alternativas.

Existen varios conceptos importantes a los que se refiere el marco analítico detrás del análisis coste-beneficio, de cuya comprensión y asunción emergen posteriormente las distintas etapas de esta metodología (EC, 2015):

- **Coste de oportunidad.** El coste de oportunidad de un bien o servicio se define como la ganancia potencial respecto a la mejor alternativa perdida. Una evaluación parcial de un proyecto (teniendo únicamente en cuenta el lucro y los mecanismos de fijación de precios) puede llevar a repercusiones sociales no deseadas, por lo que resulta necesaria una valoración, en términos de costes de oportunidad sociales, de todos los beneficios y costes asociados al proyecto (intangibles, efectos externos, etc.).
- **Perspectiva a largo plazo.** Resulta más adecuada una perspectiva a largo plazo, cuya extensión dependerá del sector al que pertenece el proyecto, lo que implica establecer un horizonte temporal de evaluación, una previsión a futuro de costes y beneficios, identificar una tasa de descuento apropiada e incorporar al análisis la incertidumbre.
- **Cálculo de indicadores de rendimiento económico expresados en términos monetarios.** El análisis coste-beneficio exige que los costes y beneficios estén expresados en unidades monetarias para que, una vez adecuadamente descontados en el tiempo, pueda obtenerse el beneficio total neto, generalmente expresado por el Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actualizado Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).
- **Aproximación microeconómica.** Se recomienda no incluir en el marco del análisis coste-beneficio efectos indirectos (mercados secundarios) o efectos más amplios (empleo, crecimiento regional, etc.), debido a las dificultades metodológicas de su incorporación y al riesgo de incurrir en doble contabilidad.
- **Enfoque incremental.** El análisis coste-beneficio compara un escenario (aquel en el que se ejecuta el proyecto o la inversión) con un escenario de referencia (en el que no se ejecuta la inversión). De esta forma, para el análisis coste-beneficio no resulta tan relevante los costes y beneficios de cada uno de estos escenarios como la diferencia de costes y beneficios de cada escenario (es decir, pueden ignorarse para el análisis aquellos costes o beneficios, si los hubiera, que no varían entre el escenario de referencia y aquel en el que se ejecuta el proyecto).

Esta misma fuente (EC, 2015) establece un conjunto de siete etapas en las que podría estructurarse un análisis coste-beneficio:

- a) Descripción del contexto.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

- b) Definición de objetivos.
- c) Identificación del proyecto.
- d) Viabilidad técnica y sostenibilidad ambiental.
- e) Análisis financiero.
- f) Análisis económico.
- g) Evaluación del riesgo.

Sin embargo, por su planteamiento más general (no estrictamente relacionado con la evaluación de proyectos financiados por los Fondos de Cohesión de la Unión Europea) y más didáctico, se ha decidido presentar a continuación con mayor detalle las etapas del análisis coste-beneficio planteadas por Azqueta (2002):

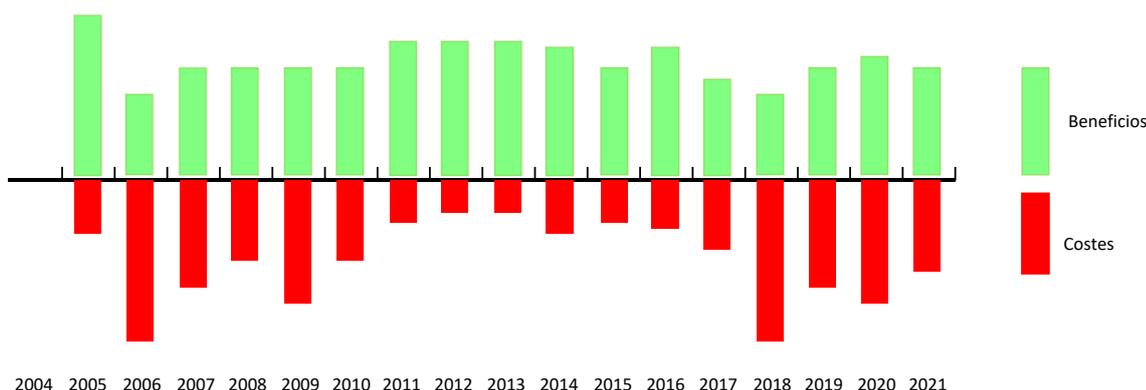
- a) **Identificación de las alternativas relevantes.** El análisis coste-beneficio es siempre un análisis comparativo, por lo que el analista ha de esforzarse en identificar correctamente las alternativas relevantes. Entre estas alternativas ha de considerarse también la llamada *opción cero*, es decir, no hacer nada, que por su especial relevancia para el análisis puede diferenciarse en el denominado escenario de referencia.
- b) **Diseño de un escenario de referencia.** Cada una de las alternativas planteadas ha de compararse con la evolución natural de los acontecimientos, es decir, con la llamada anteriormente *opción cero* o escenario de referencia. Sería un error, por ejemplo, ignorar para el análisis que el dinero con el que se va a crear un negocio, en caso de no destinarse a él, se quedaría en el banco (proporcionando determinados rendimientos económicos) o se invertiría en Letras del Tesoro, por ejemplo (quizás otorgando en este caso algún interés adicional); en el análisis coste-beneficio, en este caso, debería tenerse en cuenta como escenario de referencia alguna de estas alternativas a la inversión, no siendo correcto comparar la situación *anterior* al negocio con la situación *posterior* a la inversión.
- c) **Identificación de los costes y beneficios.** Una vez definidas las alternativas (incluyendo el escenario de referencia), es necesario identificar para cada una de ellas los aspectos que le acercan al objetivo (beneficios) o que le alejan de él (costes). En el caso del análisis coste-beneficio *financiero*, esta identificación es, generalmente, sencilla: aquellos que tienen impacto sobre los flujos de caja, es decir, sobre las entradas y salidas de dinero. Sin embargo, esta fase es significativamente más complicada en el caso del análisis coste-beneficio *social*, en el que, además de los flujos de caja (o, más precisamente, como se desarrollará posteriormente, de algunos flujos de caja), es necesario incorporar los costes y beneficios con influencia en el bienestar social, que no se reflejan necesariamente en los flujos de caja del decisor; para ello, puede ser útil, por ejemplo, identificar quiénes se oponen al proyecto y quiénes lo apoyan, procediendo posteriormente a estudiar los posicionamientos públicos alrededor del proyecto a evaluar.
- d) **Valoración de los costes y los beneficios.** En esta etapa, se procede a expresar en un numerario común cada uno de los costes y beneficios identificados en la etapa anterior. En el análisis coste-beneficio *financiero*, el numerario común es inmediato: la unidad monetaria (euros, dólares, etc.). En el caso del análisis coste-beneficio *social*, el numerario común es el bienestar social, para el cual resulta más complicado *a priori* expresar en una unidad de medida concreta; en la práctica, y siguiendo distintas metodologías que permiten expresar el bienestar social en unidades monetarias (métodos de valoración de cambios en la calidad ambiental), es posible emplear como numerario común en el análisis coste-beneficio *social* también las unidades monetarias, cuya incorporación en el marco contable de un análisis coste-beneficio resulta más sencillo.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

En Azqueta (1994) puede encontrarse una descripción de estos métodos de valoración de los cambios en la calidad ambiental que permiten la expresión del bienestar social mediante un numerario concreto: una unidad monetaria.

- e) **Actualización.** El flujo de los costes y de los beneficios de un proyecto o inversión se desarrolla a lo largo de un perfil temporal concreto, en función de la naturaleza del proyecto, de la alternativa que se esté analizando y de los propios costes y beneficios (ver, a modo de ejemplo, el Gráfico 1). Como se desarrollará en páginas posteriores, el presente no vale lo mismo que el futuro, por lo que es necesario convertir el flujo de costes y beneficios a un único valor presente en el que se refleje que los costes (o los beneficios) en el futuro no tienen el mismo valor que los costes (o los beneficios) en el presente. Esto se realiza mediante la operación denominada actualización, en la que se incluye la tasa de descuento como medida de esa importancia distinta de los costes y beneficios en función del momento temporal en el que se manifiestan.

Gráfico 1. Perfil temporal hipotético de beneficios y costes asociados a un proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

- f) **Riesgo e incertidumbre.** Como se desprende de la descripción realizada de las fases identificadas anteriormente, una parte importante del análisis coste-beneficio se construye sobre estimaciones de lo que el analista cree que va a suceder, así como de parámetros (por ejemplo, la tasa de descuento o, incluso, el horizonte temporal del análisis) sobre los que existe o puede existir un elevado nivel de incertidumbre. Con el fin de que el análisis esté informado respecto a estos elementos de incertidumbre, el analista puede proceder a realizar, por ejemplo, un *análisis de sensibilidad*, identificando aquellos elementos que mayor influencia pudieran tener en el resultado final del análisis, calibrando su influencia e identificando umbrales en los que el resultado del análisis pudiera cambiar de signo.
- g) **Criterios de selección.** El resultado del análisis coste-beneficio se concreta en la obtención de una serie de indicadores de rentabilidad del proyecto evaluado. Entre estos indicadores pueden mencionarse el Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actualizado Neto (VAN), por ser quizás el indicador de rentabilidad más empleado y transparente, y la Tasa Interna de Retorno (TIR). En función del signo del VAN, el proyecto resultará rentable o no: si el VAN es negativo, los costes superan a los beneficios y, por tanto, el proyecto no es rentable, y viceversa. La ecuación para el cálculo del VPN o VAN es la siguiente:

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

VAN = Valor Actualizado Neto

t = año

T = vida útil del proyecto

B_t = beneficio esperado en el año t

C_t = coste esperado en el año t

r = tasa de descuento

Otra medida de la rentabilidad de la inversión es la Tasa Interna de Retorno (TIR), que busca qué rentabilidad tendría que tener una alternativa de inversión para ser tan rentable como la que se está analizando. En otras palabras, es la tasa de descuento que hace que el VAN sea 0:

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

Existen otras muchas medidas de rentabilidad (período de recuperación, relación beneficio-coste, etc.), pero las más utilizadas son las dos mencionadas más arriba y, de ellas, el VPN o VAN, el más robusto (Azqueta, 2002).

Los análisis coste-beneficio suelen realizarse *a priori* o *ex ante* para identificar la conveniencia de proceder a realizar determinada inversión, aunque también pueden realizarse *a posteriori* o *ex post*. CSIL y DKM Economic Consultats (2011), CSIL y Ramboll Management Consulting (2020) y de Jong *et al.* (2020) son algunos ejemplos de análisis coste-beneficio *ex post* de los que pueden extraerse algunas conclusiones interesantes (la más evidente, pero no por ello menos relevante, que pueden realizarse y resultan muy útiles estos análisis coste-beneficio *ex post*), aunque en estos casos citados se haya optado por un enfoque cualitativo.

Entre las conclusiones que pueden extraerse de estos análisis coste-beneficio *ex post*, y de su comparación con los análisis coste-beneficio *ex ante*, es que en estos segundos se suelen sobreestimar los beneficios e infraestimar los costes (Flyvbjerg, 2007; Eliasson y Fosgerau, 2013). Las razones detrás de esto podrían tener un carácter (1) técnico (que pueden reducirse mediante el desarrollo de mejores modelos predictivos, mejores datos y más experiencia de los pronosticadores); (2) psicológico (falacia de la planificación y sesgo optimista); o (3) estratégico (los promotores tienen un incentivo a sobreestimar beneficios e infraestimar costes para que sus iniciativas sean elegidas frente a las competidoras: un proyecto que parece muy beneficioso sobre el papel es más probable que consiga financiación que otro que no lo es tanto) (Flyvbjerg, *op. cit.*); *ibid.* apunta a motivos estratégicos para las diferencias entre análisis coste-beneficio *ex ante* y *ex post*, aunque Eliasson y Fosgerau (2013) apuntan a que dichas diferencias pueden deberse simplemente a un sesgo de selección.

En cualquier caso, la literatura consultada apuesta por la realización de análisis coste-beneficio como herramienta para la evaluación de proyectos, aunque la realización *ex ante* de estos ejercicios lleve consigo una evidente incertidumbre en la identificación y valoración de los costes y beneficios de una iniciativa. La gestión del riesgo y de la incertidumbre de estos ejercicios, mediante, por ejemplo, la realización de un análisis de sensibilidad (EC, 2015) como se comentó previamente, permite obtener decisiones mejor informadas, identificando alternativas cuyo signo de rentabilidad resulte más consistente

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

(que cambie únicamente ante supuestos de costes, beneficios u otros parámetros más extremos y/o menos probables).

2.2. Análisis coste-beneficio financiero y análisis coste-beneficio social: de los flujos de caja al bienestar de la sociedad

En la descripción de las fases de un análisis coste-beneficio, se han mencionado dos tipologías de análisis, que a continuación se procede a describir: el análisis coste-beneficio *financiero* y el análisis coste-beneficio *social*. Ambos tipos de análisis coste-beneficio, ambas perspectivas, constan de las mismas fases descritas en páginas anteriores, diferenciándose en los elementos que contabilizan, en la forma en la que se contabilizan y en algunos otros parámetros del análisis. En dicha descripción de fases ya se ha apuntado una diferencia esencial entre ambas perspectivas (flujos de caja vs. bienestar social), en el presente capítulo se procede a desgranar las implicaciones que esta diferencia supone.

Todos los análisis coste-beneficio, incluidos aquellos que se realizan desde una perspectiva social, parten de un análisis coste-beneficio financiero. En este tipo de análisis coste-beneficio, lo que cuenta son los denominados flujos de caja, aquellos que se manifiestan en forma de entradas y salidas de dinero. Un ejemplo típico de este tipo de análisis coste-beneficio es el que realizaría un inversor para conocer si le interesa, por ejemplo, crear un restaurante: se incluirían en el análisis los costes de alquiler del local, de los suministros (luz, comida y bebida, etc.), del personal, todo ello incluidos impuestos, y se confrontarán con los beneficios (ingresos esperados por cliente, número de clientes, etc.), teniendo cuidado de no olvidar ningún gasto (incluidos los imprevistos que pudieran emerger, como un nuevo impuesto o pérdidas por robo, por ejemplo) y siendo prudente en el planteamiento de la evolución de las ventas.

De esta forma, se incorporarían al análisis todos los elementos (partidas) que tienen o pueden tener una influencia en la cuenta corriente del decisor, y únicamente en la cuenta corriente del decisor, calculando los indicadores de rentabilidad (VAN, TIR, ratio beneficio/coste, etc.) que se consideren oportunos aplicando una tasa de descuento financiera (esto es, teniendo en cuenta la rentabilidad que con los recursos necesarios para montar el restaurante podría obtenerse en inversiones alternativas, como por ejemplo los mercados financieros) e incorporando al análisis elementos para la gestión del riesgo y de la incertidumbre (escenarios, análisis de sensibilidad, etc.). Con todo ello, el decisor (el inversor) tendrá elementos de juicio para considerar si la inversión sería rentable y cuánto podría serlo: en definitiva, si podría ganar dinero gracias al negocio.

Por su parte, el análisis coste-beneficio *social* precisa de un enfoque distinto, generalmente porque el marco de decisión también es distinto: en este caso, se podría plantear el caso de una administración pública ambiental que tiene que proporcionar una solución a un problema competencia suya, como la proliferación de una especie exótica invasora. El objetivo de la administración pública ambiental no es ganar dinero (eso no implica que sea irrelevante para este decisor el análisis coste-beneficio financiero, pues a la propia administración le interesará saber cuánto dinero le cuesta esa tarea para tenerla en cuenta en sus presupuestos), sino conocer si se está abordando el problema con los recursos adecuados o si es la mejor forma de dedicar los recursos económicos que la sociedad le ha otorgado para el desempeño de sus funciones. En definitiva, el objetivo es el **bienestar social**, definido como la agregación del bienestar individual de cada persona de un colectivo, calculado dicho bienestar individual como la cantidad de dinero que cada persona estaría dispuesta a pagar (por un beneficio) o a aceptar (por un coste):

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

según la teoría económica, si la suma neta de esta agregación es positiva, los beneficiados podrían compensar a los perjudicados, haciendo que la alternativa sea aceptable para el conjunto de la sociedad². Además de estas consideraciones de la teoría económica, estudios aplicados ofrecen algunas pautas sobre algunos elementos que inciden en los cambios en el bienestar social, como que un mayor conocimiento y concienciación suponen una mayor disposición a pagar, que en las zonas con menos especies exóticas invasoras la disposición a pagar es menor, que la población local tiene menos disposición a pagar o que esta disposición a pagar aumenta informando adecuadamente a la población de los riesgos y otros elementos de la estrategia (Levers y Pradhananga, 2021).

Al tomar en consideración, y de esta forma, al bienestar social y confrontarlo con los flujos de caja relevantes para el análisis coste-beneficio financiero, emergen de forma más o menos manifiesta algunas de las diferencias esenciales entre las perspectivas social y financiera del análisis coste-beneficio: algunos costes y beneficios relevantes para la rentabilidad financiera no tienen sentido en términos de bienestar social (los impuestos, por ejemplo, hacen únicamente que determinados recursos monetarios cambien de mano), en el análisis coste-beneficio financiero no se tienen en cuenta todos los impactos que la inversión puede tener sobre el bienestar social, etc. “En definitiva: ni es todo lo que está, ni está todo lo que es, ni lo que es y está está bien valorado” (Azqueta, 2002, pág. 184).

De esta forma, partiendo de un análisis coste-beneficio *financiero* (suele ser la práctica más habitual), para proceder a realizar un análisis coste-beneficio *social* el analista ha de proceder a (Azqueta, 2002; EC, 2015):

- **Correcciones fiscales: depuración de las partidas redistributivas.** Como se ha apuntado anteriormente, los impuestos o las subvenciones no implican el consumo o la generación de recursos para la sociedad sino únicamente una transferencia de los mismos de una parte de la sociedad a la otra; lo mismo ocurre con la devolución de préstamos, por ejemplo. Debido a esto, estas partidas no deben ser computadas en un análisis coste-beneficio *social*.

En este sentido (EC, 2015):

- o Los precios de los insumos y de los productos han de considerarse sin IVA.
- o Los precios de los insumos han de considerarse sin impuestos directos ni indirectos. Los pagos a la seguridad social no se consideran impuestos sino salarios atrasados, por lo que sí que deberían incluirse.
- o Los precios usados como valor de los productos (tarifas, etc.) han de considerarse sin ningún subsidio o transferencia desde una entidad pública; en cualquier caso, en los análisis coste-beneficio sociales suele emplearse como valor de los productos la disponibilidad a pagar, por lo que el escenario planteado (producto con subsidio) debería ser un caso minoritario o excepcional.

En definitiva, han de eliminarse todas las partidas que implican una transferencia de renta. Generalmente, estos impuestos son conocidos y pueden eliminarse directamente desde los datos proporcionados por el análisis coste-beneficio *financiero*.

² La definición de bienestar social desde el punto de vista de la teoría económica es un tema complejo que se escapa a los objetivos del presente informe: la disposición a pagar o la compensación exigida como medidas de bienestar (y su aceptabilidad), el criterio de *Kaldor-Hicks* de compensación potencial, etc. Azqueta (1994, Capítulo 2) o Azqueta (2002, Capítulo 4) son algunas de las referencias bibliográficas en las que se explican estos conceptos y criterios de forma didáctica.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

- **Conversión de precios de mercado a precios sombra: precios de cuenta de eficiencia.** Hasta este punto, los precios de los insumos y de los productos empleados en el análisis, incluso aquellos que han sido depurados de transferencias de rentas (impuestos, subvenciones, etc.), han sido valorados en términos de precios de mercado. Únicamente en el caso de que estos precios de los bienes y servicios reflejaran el coste marginal de producción y la utilidad marginal del consumo (y el coste de oportunidad, en el caso de los factores de producción), podrían utilizarse directamente en el análisis coste-beneficio *social*; sin embargo, la existencia de ciertos desequilibrios (competencia imperfecta, desempleo, etc.) lo impediría, haciendo necesario la utilización de los denominados precios sombra o precios de cuenta de eficiencia: en cualquier caso, estos desequilibrios pueden que no sean muy relevantes en economías desarrolladas (Azqueta, 2002). De cualquier forma, el analista evaluará la necesidad de estimar estos precios sombra o precios de cuenta de eficiencia y, en su caso, procederá a su cálculo, recurriendo generalmente a factores de conversión publicados por agencias de planificación (EC, 2015).
- **Impactos sin mercado, externalidades positivas y negativas.** Determinados proyectos o inversiones pueden generar costes o beneficios no considerados por el mercado, por lo que quedarían fuera de un análisis coste-beneficio *financiero*, pero han de incorporarse a un análisis coste-beneficio *social*: estos costes o beneficios no considerados por el mercado pueden estar relacionados con los usuarios directos de la inversión (ahorro de tiempo de viaje, menor riesgo de accidente, etc.) o pueden extenderse a terceras partes (contaminación, deterioro del paisaje, etc.), en cuyo caso se denominan externalidades. Independientemente de su naturaleza (externalidades o impactos directos sin mercado), estos costes y beneficios han de incorporarse (mediante su identificación, cuantificación y, en la medida de lo posible, valoración) al análisis coste-beneficio *social* mediante métodos de estimación de la disponibilidad a pagar; Azqueta (1994) realiza un recorrido didáctico sobre estos métodos de valoración de cambios en la calidad ambiental, mientras que Emerton y Howard (2008) y Hanley y Roberts (2019) presentan estos métodos en el marco de la gestión de especies exóticas invasoras. En cualquier caso, la valoración de estos costes y beneficios sin mercado pueden quedar fuera de las posibilidades y recursos del analista, por lo que será necesario recurrir a estudios que puedan informar su cuantificación y, especialmente, su valoración económica; parte del trabajo del analista será, en este sentido, identificar las fuentes que le permita incluir este tipo de costes y beneficios en el análisis coste-beneficio *social*. En cualquier caso, estos costes y beneficios sin mercado han de, al menos, identificarse y, en la medida de lo posible, cuantificarse (en unidades físicas), independientemente de que después puedan ser traducidos a unidades monetarias: esto permitirá, en el peor de los casos (que no puedan traducirse a unidades monetarias), realizar un análisis cualitativo de los mismos.

En definitiva, en el análisis coste-beneficio *social* interesa si las cosas consumen o proporcionan recursos reales, mientras que el análisis coste-beneficio *financiero* se centra en si las cosas cuestan o dejan de costar dinero.

Por otra parte, un decisor privado es probable que no tenga interés en el análisis coste-beneficio *social* de su inversión; sin embargo, un decisor público (una administración pública, como ejemplo más directo), sin olvidar el interés que pudiera tener en la perspectiva financiera de la decisión, es probable que también tenga interés en adoptar una perspectiva social en su análisis coste-beneficio.

Por último, existe un parámetro que generalmente resulta diferente según la perspectiva adoptada en el análisis coste-beneficio en cuestión (la tasa de descuento), que debido a su relevancia merece su desarrollo en un capítulo aparte.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

2.3. El precio del tiempo: la tasa de descuento

Las personas manifiestan una evidente preferencia temporal, prefiriendo generalmente el consumo en el presente a un futuro consumo más adelante; esta preferencia temporal positiva tiene una de sus manifestaciones en los tipos de interés al ahorro: cuando una persona decide ahorrar (no consumir en el presente), exige una compensación por ello (es decir, espera poder consumir más en el futuro).

No obstante, este comportamiento no es en absoluto completamente irracional, existiendo distintos motivos por los que una persona prefiere consumir ahora (Azqueta 2002):

- Pura impaciencia. Este es quizás el motivo menos racional que explica esta preferencia temporal positiva, pero no por ello puede ignorarse.
- La persona es mortal. Existe la probabilidad (mayor o menor) de que la persona hubiera desaparecido para cuando pudiera disfrutar de los rendimientos del ahorro.
- La persona puede esperar tener mejores condiciones económicas en el futuro y, debido a la disminución de la utilidad marginal del consumo, ese gasto genere más bienestar ahora que dentro de 10 años.

Estas razones que explican los motivos del descuento del futuro desde una perspectiva privada aplican también para el descuento del futuro desde una perspectiva social, aunque la ponderación de cada una de ellas podría considerarse que varía: en el caso del descuento social, la teoría económica apuesta por el último de los motivos (la utilidad marginal decreciente del consumo) como principal argumento para aplicar el descuento del futuro.

Frederick *et al.* (2002) realiza un extenso recorrido por las preferencias temporales, concluyendo que, siguiendo la práctica habitual de la ciencia económica, el cálculo del parámetro por el que se manifiestan las preferencias temporales (la tasa de descuento), y especialmente en el caso de las preferencias temporales individuales, ha de ser flexible para incorporar aquellas variables que en un contexto concreto (persona, situación personal, entorno económico y social, etc.) más pueden determinar la intensidad de dichas preferencias temporales. En cierta forma, esta consideración también podría extenderse al cálculo de la tasa de descuento social, teniendo en cuenta que las sociedades pueden cambiar su sistema de valores, además de los evidentes cambios que pueden darse en el contexto económico.

En definitiva, el valor de la tasa de descuento, ya sea financiera o social, siempre será un motivo de reflexión en cualquier ejercicio de análisis coste-beneficio, no pudiéndose escoger de forma acrítica tasas de descuento formuladas por otros autores sin reflexionar sobre su utilidad para el estudio en cuestión en función del contexto en el que fueron estimadas (época, contexto social y económico, ámbito geográfico, etc.). Un ejemplo de variación de las tasas de descuento puede encontrarse en la Tabla 1, en la que se recogen las tasas de descuento que la Comisión Europea ha ido proponiendo a lo largo de los años para su utilización en la evaluación de proyectos a financiar por distintos fondos europeos: como puede apreciarse, estas tasas de descuento han disminuido en los últimos casi 20 años, siendo constante, en este caso, el ámbito geográfico (aproximadamente, debido a incorporaciones y salidas de países miembros de la Unión Europea), la entidad que las propone (la Comisión Europea) y el objetivo para el que se propone (evaluación de proyectos financiables por distintos fondos europeos).

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

Tabla 1. Tasas de descuento financiera y tasas de descuento social establecidas por la Comisión Europea a lo largo de los años para su utilización en la evaluación de proyectos financiables por distintos fondos europeos.

Fuente	Tasa de descuento financiera (%)	Tasa de descuento social (%)
CE (2003)	6,0%	5,0%
EC (2008)	5,0%	3,5%
EC (2015)	4,0%	3,0%
EC (2021)	4,0%	3,0%

Fuente: Elaboración propia a partir de CE (2003), EC (2008), EC (2015) y EC (2021).

En el ámbito privado, la tasa de descuento financiera para la valoración de empresas o de proyectos de inversión puede determinarse a nivel de empresa mediante el coste medio ponderado del capital (WACC por sus siglas en inglés: *weighted cost of capital*), que tiene en cuenta parámetros concretos de la empresa (endeudamiento, etc.) y el sector económico en el que se ubica la misma. Otra alternativa es considerar el retorno asociado a la mejor alternativa de inversión (EC, 2015). Tradicionalmente, se han empleado los bonos a 10 años como valor de referencia, aunque actualmente la intervención del Banco Central Europeo puede dificultar la adopción de este criterio; otras alternativas podrían ser la rentabilidad de los mercados financieros, muy afectada en el último año por la crisis asociada a la pandemia de la COVID-19.

Por su parte, la literatura identifica tres aproximaciones metodológicas para el cálculo de la tasa social de descuento: la tasa social de preferencia temporal, el coste social de oportunidad del capital y una media ponderada de los dos anteriores (Zhuang *et al.*, 2007; Aznar-Bellver y Estruch-Guitart, 2012; Campos *et al.*, 2015; EC, 2015). Aunque no existe un consenso en la literatura sobre cuál de estas alternativas metodológicas usar para el cálculo de la tasa social de descuento, la primera (tasa social de preferencia temporal) es la más empleada en países desarrollados (Zhuang *et al.*, *op. cit.*) y la recomendada por la Comisión Europea (EC, 2008; EC, 2015).

El cálculo de la tasa social de preferencia temporal se calcula siguiendo la fórmula de Ramsey (Ramsey, 1928, en Aznar-Bellver y Estruch-Guitart, *op. cit.* y Campos *et al.*, *op. cit.*):

$$TSPT = p + e \times g$$

TSPT = tasa social de preferencia temporal.

p = tasa de preferencia temporal individual o pura (%)

e = elasticidad de la curva de utilidad marginal del consumo

g = tasa esperada de crecimiento del consumo per cápita (%)

Estos parámetros pueden estimarse acudiendo a distintas aproximaciones (Aznar-Bellver y Estruch-Guitart, 2012), por lo que, al margen de la oportunidad de emplear la tasa de descuento social propuesta

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

por la Comisión Europea (ver Tabla 1), es posible proceder a estimar para un ejercicio concreto el valor de esta tasa de descuento social:

- La tasa de preferencia temporal pura (p) suele determinarse en base al índice de mortalidad media de los últimos años.
- La tasa esperada de crecimiento del consumo per cápita (g) se deriva de datos históricos, tomando una serie de datos del pasado reciente lo suficientemente larga para poder proceder, a partir de ella, a plantear una senda de crecimiento anual del consumo.
- La elasticidad de la utilidad marginal del consumo (e) es el parámetro más difícil de estimar, siendo el método más empleado el análisis de la estructura de impuestos propias de cada país: cuanto más progresiva sea la estructura tributaria, mayor será el grado de aversión social a la desigualdad de ingresos y mayor será el valor del parámetro e (EC, 2008).

Siguiendo esta metodología, Florio y Sirtori (2013) proceden a estimar la tasa social de descuento (estimada como tasa social de preferencia temporal) de 20 países de la Unión Europea, dando como resultado una media de 2,97% y variando entre el 1,13% de Italia y el 6,52% de Estonia; esta fuente otorga un valor de 2,09% a la tasa social de descuento de España. Por su parte, en un ejercicio continuista del realizado por *ibid.*, Jessica Catalano actualiza estos valores para el año 2020, en este caso para el conjunto de la UE-27³: la tasa de descuento social de la UE-27 sería de 3,63%, siendo de nuevo Italia y Estonia los países con menor y mayor tasa de descuento social (0,80% y 8,13%, respectivamente) y atribuyendo a España un valor muy similar al estimado en su momento por Florio y Sirtori (*op. cit.*): 2,11%.

La tasa de descuento puede jugar un papel muy relevante en el resultado final de un análisis coste-beneficio: cuanto mayor es su valor, menos importantes son los costes y beneficios del futuro. Con una tasa de descuento del 5% anual, en 15 años se reduce a más de la mitad el Valor Presente Neto de un beneficio o coste del futuro. Como ha querido mostrarse en la discusión sobre la misma realizada en páginas previas, la determinación de su valor no está exenta de discusión ni de distintas aproximaciones metodológicas.

La relevancia de la tasa de descuento en el resultado final de cualquier análisis coste-beneficio y las distintas aproximaciones que pueden adoptarse para su estimación son dos de los motivos por los que resulta necesario identificar a la tasa de descuento como uno de los parámetros candidato evidente sobre el que realizar un análisis de sensibilidad, con el fin de evaluar su influencia en la rentabilidad e identificar, en su caso, el valor crítico con el que cambia el signo de la rentabilidad.

³ https://indico.cern.ch/event/923801/contributions/4032234/attachments/2139064/3605165/FCCIS_Catalano.pdf

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

3. Gestión, control y erradicación de especies exóticas invasoras

Entre el grito de alerta emitido por Union of Concerned Scientists (1992) y la segunda alarma manifestada por Ripple *et al.* (2017), además del manifiesto fracaso de la Humanidad por solucionar los problemas ambientales sobre los que ambas denuncias avisan (con la única excepción de la destrucción de la capa de ozono), cabe mencionarse la aparición, como problema ambiental relacionado con la conservación de la biodiversidad, de la expansión de las denominadas especies exóticas invasoras (IAS, *invasive alien species*, en inglés) (Pysek *et al.*, 2020).

En esta misma línea, la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005) identifica a las especies invasoras como uno de los cinco principales generadores directos de cambio en la biodiversidad, junto con los cambios en los hábitats, el cambio climático, la sobreexplotación y la contaminación por nitrógeno y fósforo. De forma adicional, este factor de cambio tiene una tendencia creciente en prácticamente cualquiera de los ecosistemas evaluados por esa fuente, con un crecimiento especialmente rápido en las aguas continentales, en las cuales además el impacto ya ha de considerarse elevado.

Esta percepción de las especies invasoras como un elemento de estrés sobre la biodiversidad es compartida y reconocida por los gestores ambientales en España (Andreu *et al.*, 2009), aunque se muestran más preocupados por otros vectores de cambio (pérdida de hábitat natural, urbanización, etc.).

En definitiva, las especies exóticas invasoras (EEI, en adelante) se han convertido en un problema ambiental creciente, con un impacto ya en la actualidad muy elevado en las islas y elevado en los ecosistemas mediterráneos, en las aguas continentales y en las costas (MEA, 2005).

La consideración de una especie como EEI no sólo se basa en su origen alejado del ecosistema en el que se ubica, sino también para muchos autores en los efectos que sobre dicho ecosistema ocasiona. Richardson *et al.* (2000) establece la siguiente clasificación, específica para plantas:

- **Plantas alóctonas.** Taxones de plantas cuya presencia en un área dada se debe a su introducción intencionada o accidental resultado de la actividad humana (plantas exóticas, plantas no nativas, etc.).
- **Plantas alóctonas casuales.** Plantas alóctonas que pueden florecer o incluso reproducirse ocasionalmente en un área, pero que no forman poblaciones autorreemplazables y que dependen de repetidas introducciones para su persistencia.
- **Plantas naturalizadas.** Plantas alóctonas que se reproducen consistentemente y mantienen poblaciones a través de muchos ciclos de vida sin intervención humana directa (o a pesar de la intervención humana); reclutan descendencia frecuentemente, normalmente próxima a las plantas adultas, y no necesariamente invaden ecosistemas naturales, seminaturales o hechos por el hombre.
- **Plantas invasoras.** Plantas naturalizadas que producen descendencia reproductiva, generalmente en muy elevados números, a considerables distancias desde las plantas progenitoras y que por tanto tienen el potencial de diseminarse por un área considerable.
- **Plantas transformadoras.** Una subclase de plantas invasoras, que son capaces de cambiar el carácter, condición, forma o naturaleza de los ecosistemas en un área significativa en relación con la extensión de ese ecosistema. Pueden identificarse muchas categorías, como las que son

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

usuarias excesivas de recursos como la luz o el oxígeno, entre las que se incluiría el camalote o jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Por su parte, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) ofrece una definición muy similar de EEI a la proporcionada anteriormente sobre plantas transformadoras (IUCN, 2000):

- **Especie alóctona.** Especie, subespecie u otro taxón presente fuera de su territorio natural (pasado o presente) y de potencial de dispersión (es decir, fuera del rango que ocuparía de forma natural o podría ocupar sin una introducción directa o indirecta, o cuidado por parte de los humanos) e incluye cualquier parte, gametos o propágulos de dicha especie que pudiera sobrevivir y por consiguiente reproducirse.
- **Especie alóctona invasora.** Especie alóctona que se establece en ecosistemas o hábitats naturales o seminaturales, es un agente de cambio y amenaza a la diversidad biológica nativa.

Por otra parte, y en clave de normativa nacional, la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, modificada por la Ley 33/2015, de 21 de septiembre, define en su artículo 3 especie exótica invasora como “la que se introduce o establece en un ecosistema o hábitat natural o seminatural y que es un agente de cambio y amenaza para la diversidad biológica nativa, ya sea por su comportamiento invasor, o por el riesgo de contaminación genética”.

En definitiva, para que una especie sea considerada una EEI resulta tan necesario que no sea nativa y que pueda existir en el ecosistema sin intervención humana (o a pesar de la intervención humana) como que genere problemas en el ecosistema que la acoge, problemas que posteriormente tengan su traducción o puedan tenerla sobre la economía, sobre la salud y, en general, sobre el bienestar de la sociedad.

Los crecientes problemas que las EEI generan las ha hecho objeto de un importante interés, habiéndose mejorado en las últimas décadas el conocimiento sobre las mismas de forma muy considerable. De esta forma, se sabe que, teniendo en cuenta ocho grupos taxonómicos (plantas vasculares, hormigas, arañas, peces de agua dulce, anfibios, reptiles, aves y mamíferos), resultan ser el continente europeo, el subcontinente norteamericano y Australia los territorios en los que más EEI se encuentran instaladas (Dawson *et al.*, 2017, en Pysek *et al.*, 2020), que coinciden en ser territorios con un producto interior bruto per cápita elevado, altas densidades de población y grandes espacios (Pysek *et al.*, *op. cit.*).

La literatura identifica seis principales rutas o vías por las que las EEI se introducen en los ecosistemas (Hulme *et al.*, 2008):

- **Liberación intencionada** (peces para pesca deportiva, mascotas, etc.).
- **Escape desde cautividad** (plantas ornamentales como, por ejemplo, el camalote y el nenúfar mejicano).
- **Contaminación de materias primas** (semillas de malas hierbas, insectos, microorganismos patógenos, etc.).
- **Polizones en vectores de transporte** (organismos marinos en cascos de buques o en agua de lastre, etc.).
- **Corredores antropogénicos** (canales de Suez o Panamá).
- **Difusión espontánea desde otras regiones invadidas.**

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

De forma sintética, los vertebrados suelen convertirse en EEI mediante liberaciones intencionadas; los invertebrados, como contaminantes; y las plantas, por escapes desde cautividad; existen herramientas para controlar la aparición de EEI (legislación nacional para controlar los escapes y las liberaciones intencionadas, legislación internacional para casos derivados del tráfico internacional de mercancías), aunque la experiencia no permite afirmar que sean herramientas fáciles de implementar (*ibid.*).

En cualquier caso, el interés relacionado con las EEI, hasta el punto de que interviene en la definición de las mismas, se debe a los efectos que las mismas ocasionan sobre los ecosistemas de acogida y, especialmente, sobre elementos que influyen en el bienestar de la sociedad (infraestructuras, servicios de los ecosistemas, salud, etc.).

Entre los impactos ambientales, la literatura reconoce impactos sobre la riqueza y abundancia de especies nativas (aumentando el riesgo de extinción y afectando a la composición genética de las poblaciones), además de obstaculizar el funcionamiento y provisión de servicios de los ecosistemas (alteración de las redes tróficas, reciclaje de nutrientes y contaminantes, etc.) (Pysek *et al.*, 2020; Rai y Singh, 2020). Los efectos sobre los ecosistemas dependen de la especie invasora —el jacinto de agua se encuentra entre las EEI más dañinas (Nentwig *et al.*, 2018)—, de la región y del propio ecosistema receptor, pudiéndose afirmar en todo caso que los efectos son superiores en las islas (especialmente sensibles por el aumento del riesgo de extinción de sus especies endémicas) que en los continentes (*ibid.*); un estudio reciente de la UICN indica que las EEI han contribuido al 25% de las extinciones de plantas y al 33% de las de animales terrestres y de aguas dulces (IUCN, 2017, en Pysek *et al.*, *op. cit.*).

Por su parte, las EEI pueden tener efectos directos e indirectos sobre el bienestar de los humanos y sobre sus medios de vida: por ejemplo, el camalote o jacinto de agua ha generado problemas de navegabilidad y sobre la pesca en Camerún (Mujingni Epse Cho, 2012; Rai y Singh, *op. cit.*), además de reducir la oferta de agua por el bloqueo de infraestructuras hidráulicas y por el aumento de la evapotranspiración. Los impactos de las EEI sobre el bienestar social se explican en parte por sus efectos sobre los servicios de los ecosistemas, afectando tanto a servicios de provisión (provisión de agua, etc.) como culturales o estéticos (Pysek *et al.*, 2020), así como, incluso, con potenciales repercusiones sobre la salud humana (Rai y Singh, *op. cit.*).

La identificación de los impactos de las EEI (sobre los ecosistemas y sobre el bienestar humano) resulta muy específica de la especie en cuestión y del entorno en el que se desarrolla; incluso, se ha estudiado el posible efecto que distintos escenarios de calentamiento global pueden tener sobre la expansión de determinadas especies exóticas invasoras (Kriticos y Brunel, 2016). En el marco del presente informe, se identificarán en próximos capítulos estudios específicos sobre el impacto del jacinto de agua y del nenúfar mejicano, haciendo especial atención a contextos geográficos similares al español e identificando con ello impactos específicos e, incluso, procedimientos y metodologías para su cuantificación y posterior traducción a unidades monetarias.

3.1. Alternativas de gestión, control y erradicación de especies exóticas invasoras

La literatura identifica tres tipos de medidas básicas para gestionar las EEI, por este orden: prevenir la llegada de especies potencialmente invasoras, gestionar a tiempo sus primeras incursiones y gestionar adecuadamente aquellas especies ya establecidas (Pysek *et al.*, 2020). En los casos del jacinto de agua y del nenúfar mejicano, objeto de análisis en el presente trabajo, son especies ya establecidas (aunque en un grado y extensión y, con ello, impacto muy diferentes), por lo que la siguiente discusión se centrará en la gestión de las EEI ya establecidas.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

Las EEI ya establecidas han sido tradicionalmente gestionadas mediante tres métodos (control físico o mecánico, control químico y control biológico), generalmente empleando combinaciones de ellos y de forma muy dependiente según el taxón invasor y el entorno en el que se ha naturalizado (Hussner et al., 2017; Pysek *et al.*, *op. cit.*); esta última referencia menciona la aparición de nuevos métodos relacionados con la edición genética, aunque aún en fase experimental y que han de emplearse con las cautelas necesarias.

La erradicación de plantas invasoras ha tenido históricamente menos desarrollo que la erradicación de especies animales (Brunel *et al.*, 2013), emergiendo como dificultad inherente en el caso de las plantas invasoras un elemento (el banco de semillas) que exige un compromiso a largo plazo de recursos y actuación (Simberloff *et al.*, 2018); los herbicidas (control químico) y la retirada a mano (control mecánico) han sido los métodos empleados casi universalmente en los intentos de erradicar plantas invasoras en islas, independientemente de que dichos intentos hayan sido exitosos o no (*ibid.*).

En cualquier caso, existen distintos trabajos de evaluación de los métodos de gestión, control y posible erradicación de EEI (Pysek *et al.*, 2020), algunos, como el de Hussner *et al.* (2017), específicos de plantas invasoras acuáticas (como lo son el camalote y el nenúfar mejicano) y haciendo foco especial en regiones templadas y subtropicales (de evidente interés para el caso de la presencia de estas especies en la cuenca del río Guadiana).

Los métodos de gestión, control y posible erradicación dependen, como se ha mencionado anteriormente, de la EEI en concreto y del ecosistema en el que se ubique: por ejemplo, para el caso del jacinto de agua o camalote, la literatura reconoce la retirada mecánica, y el control químico y el control biológico como alternativas de gestión (Clayton, 1996; Sanz Elorza *et al.*, 2004; Mirona y Moriasi, 2014; Hussner *et al.*, 2017; MITECO, 2019), sin olvidarse de la alternativa 0 (no hacer nada) o, incluso, la modificación del hábitat (secado de embalses, etc.) (Clayton, *op. cit.*). Sin embargo, no pueden ignorarse los condicionantes gubernamentales o legislativos: por ejemplo, en la Unión Europea existen fuertes restricciones al uso de herbicidas y agentes de control biológico para gestionar a las plantas acuáticas exóticas e invasoras (Sanz Elorza *et al.*, *op. cit.*; Pratt *et al.*, 2013; Hussner *et al.*, *op. cit.*; Téllez *et al.*, 2008; MITECO, 2019), mientras que la inclusión de una especie en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, por ejemplo, conmina a las autoridades competentes a plantear estrategias de gestión, control y posible erradicación, lo que no permitiría la alternativa de no hacer nada ante la presencia de EEI. Estas restricciones de métodos hacen que únicamente pueda recurrirse en el marco del control del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana a los métodos de control físico o mecánico, coincidiendo además que la recogida mecánica se ha demostrado como el método más efectivo para especies flotantes como el camalote (Laranjeira y Nadais, 2008, en *ibid.*).

La recogida mecánica, que se puede realizar desde tierra o, en lugares de difícil acceso, desde el agua con embarcaciones diseñadas para ello, lleva consigo la necesidad posterior de almacenar los restos: la accesibilidad a las plantas y los lugares de descarga y almacenaje de los restos (cuya identificación puede complicarse también por criterios de estética o, incluso, salud y contaminación) puede hacer aumentar los tiempos de operación y los costes de gestión (Hussner *et al.*, *op. cit.*). Por último, la biología de la especie (tipo de reproducción, latencia de las semillas, etc.) y su grado de naturalización en el ecosistema de acogida (si llega a reproducirse sexualmente, por ejemplo) pueden orientar, al menos, las estimaciones de las posibilidades y del tiempo necesario para erradicar la especie (Sanz Elorza *et al.*, *op. cit.*), permitiendo asimismo planificar las operaciones de gestión y control, con el fin de reducir la propagación de la especie y, en última instancia, conseguir su erradicación.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

3.2. Gestión del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenta del río Guadiana

El artículo 64 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, establece el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, en el que se incluirán “*todas aquellas especies y subespecies exóticas invasoras que constituyan una amenaza grave para las especies autóctonas, los hábitats o los ecosistemas, la agronomía o para los recursos económicos asociados al uso del patrimonio natural*”. La inclusión de una especie en este Catálogo insta al Ministerio competente y a las comunidades autónomas a elaborar “*Estrategias que contengan las directrices de gestión, control y posible erradicación de [dichas] especies, [...] otorgando prioridad a aquellas especies que supongan un mayor riesgo para la conservación de la fauna, flora o hábitats autóctonos amenazados, con particular atención a la biodiversidad insular*”.

En el caso del camalote (*Eichhornia crassipes*) y del nenúfar mejicano (*Nymphaea mexicana*), objeto del presente encargo, el primer Catálogo, aprobado por el Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, ya las incluye como especies exóticas invasoras, manteniéndose como tales en el Real Decreto 216/2019, de 29 de marzo, que modifica dicho primer Catálogo. Para el primer caso, el camalote o jacinto de agua, el Ministerio elaboró la *Estrategia de gestión, control y posible erradicación del camalote (Eichhornia crassipes)* (MITECO, 2019) en la que, además del diagnóstico de la situación de la especie, se proporcionan criterios para la aplicación de las medidas necesarias para el control de la misma. La presencia del nenúfar mejicano es más reciente y, por ahora, está más controlada que la del camalote, no habiéndose publicado aún una estrategia de gestión para esta especie.

Por otra parte, en clave de legislación comunitaria, el Reglamento (UE) No 1143/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2014, sobre la prevención y la gestión de la introducción y propagación de especies exóticas invasoras establece mediante su artículo 4 la elaboración de una lista de especies exóticas invasoras preocupantes para la Unión. La última edición de esta lista, que es publicada mediante actos de ejecución, es el Reglamento de Ejecución (UE) 2016/1141 de la Comisión, de 13 de julio de 2016, por el que se adopta una lista de especies exóticas invasoras preocupantes para la Unión de conformidad con el Reglamento (UE) No 1143/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, actualizada mediante Reglamento de Ejecución (UE) 2019/1262 de la Comisión, de 25 de julio de 2019, por el que se modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2016/1141 con el fin de actualizar la lista de especies exóticas invasoras preocupantes para la Unión. En esta lista se incluye al jacinto de agua o camalote (*Eichhornia crassipes*), aunque no al nenúfar mejicano (*Nymphaea mexicana*) en el momento de redacción de estas líneas.

La, en el mejor de los casos, potencial incidencia de estas especies sobre los objetivos de calidad del agua —en este caso del río Guadiana— establecidos en la Directiva Marco del Agua convierte a los Organismos de cuenca —es decir, a la Confederación Hidrográfica del Guadiana— en los encargados de gestionar, controlar y en su caso erradicar estas especies en coordinación con la administración autonómica competente, competente en materia de protección de los ecosistemas (CHG, 2016).

Como administración competente, la Confederación Hidrográfica del Guadiana elaboró en el año 2016 el documento *Gobernanza y estrategias para la lucha contra las especies invasoras en la cuenca del Guadiana* (CHG, 2016), actualizado recientemente (CHG, 2021a). Estos documentos muestran la organización interna del Organismo para la detección y control de las EEI en la cuenca del Guadiana y las acciones generales (alerta temprana y prevención y sensibilización ambiental), centrándose posteriormente en las estrategias de lucha de EEI concretas y, en especial, del camalote (Anexo II de CHG, 2016 y CHG, 2021b), al ser la EEI de entre las presentes actualmente en la cuenca (camalote, almeja asiática, nenúfar mejicano, helecho de agua y pez chino en 2016, a las que se le añaden los briozoos, el caracol de cieno y

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

la elodea africana en el año 2021) que mayores problemas genera y sobre la que más actuaciones se han desarrollado.

Se procede a continuación a describir, en concreto, la *Gobernanza y estrategia para la lucha contra la especie invasora Eichhornia crassipes (camalote o jacinto de agua) en la cuenca del Guadiana* (CHG, 2016) y la *Estrategia de lucha para el control de la especie Eichhornia crassipes en la cuenca del Guadiana* (CHG, 2021b), centrándose especialmente en aquellos aspectos que más relevancia pudieran tener para la posterior elaboración del análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de esta especie.

3.2.1. La lucha contra el camalote en la cuenca del río Guadiana

Desde la detección del camalote en la cuenca del río Guadiana (en el año 2004, y circunscrita a un tramo de unos 70 km del río entre Medellín y Mérida), la Confederación Hidrográfica del Guadiana ha realizado distintas actividades de gestión y control de la presencia de esta EEI (ver epígrafe 5 del Anexo II de CHG, 2016), que ha permitido el control de la plaga basándose básicamente en operaciones de retirada de la planta del cauce; además, con estos trabajos se han acumulado conocimientos suficientes sobre el comportamiento de la misma, lo que a su vez ha permitido diseñar una estrategia para, en última instancia, erradicar la especie.

Estos conocimientos se plasmaron en la *Gobernanza y estrategia para la lucha contra la especie invasora Eichhornia crassipes (camalote o jacinto de agua) en la cuenca del Guadiana* planteada en el Anexo II de CHG (2016), que basó su actuación en tres pilares (estrategia de control, estrategia complementaria de actuación y actuaciones complementarias), que fueron reformulados por CHG (2021b) en las siguientes fases:

- Fase de control y/o contención.
- Fase de pre-erradicación y alerta temprana.
- Fase de vigilancia y mantenimiento.
- Actuaciones complementarias.

FASE DE CONTROL Y/O CONTENCIÓN

CHG (2021b) plantea los siguientes objetivos de esta primera fase, que tienen la finalidad última de evitar la expansión de la especie hacia zonas no afectadas y la descomposición libre de biomasa en el agua, además de garantizar la protección de infraestructuras hídricas de interés:

- Mantener en la medida de lo posible los tramos afectados entre la desembocadura del río Zújar y Puente Ajuda (Embalse de Alqueva) (185 km).
- Evitar la afección a los canales de riego de Montijo y Lobón.
- Evitar el remonte aguas arriba de afluentes.
- Disminuir los daños e inconvenientes de usuarios. Playas y zonas de recreo, espacios de pesca, centros de piragüismo, tomas directas de regantes y abastecimientos.
- Vigilancia y control de charcas laterales, balsas de riego, extracciones de áridos, terrenos privados.
- Evitar grandes procesos de descomposición de biomasa en las aguas.
- Protección del tramo urbano de Mérida y de Badajoz.
- Protección del embalse de Alqueva.

Esta fase de control y/o contención, que se llevó a cabo desde la aparición del camalote en la cuenca hasta diciembre de 2020, basó su procedimiento operativo en la extracción de la planta del cauce y su

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

transporte a zonas de vertido, combinando medios mecánicos terrestres (retroexcavadora y camiones), una máquina cosechadora flotante de camalote y medios manuales. Durante los meses de más calor, en los que el camalote prolifera, resulta más necesaria una mayor cantidad de maquinaria, mientras que durante los meses más fríos, en los que el objetivo es retirar las plantas aisladas y restos vegetales que hayan podido quedar tras la retirada mecánica, son necesarios más medios humanos.

El ámbito geográfico de actuación de estas actividades de control y/o contención se centró en primera instancia en el denominado Tramo A Medellín – Presa de Montijo, concretamente desde la desembocadura del río Zújar (en el término municipal de Villanueva de la Serena) hasta la Presa de Montijo (en el municipio de Mérida); sin embargo, las importantes lluvias que se produjeron en 2013 y los consiguientes desbordamientos del río Guadiana hicieron que la especie se extendiera también al Tramo B Presa de Montijo-Puente Ajuda, complicándose la extracción del camalote en el tramo urbano de Badajoz por la presencia también del nenúfar mejicano (CHG, 2021a). Aguas arriba de Medellín no hay presencia de camalote, mientras que aguas debajo de Puente Ajuda (Tramos C y D) tampoco se ha constatado la presencia de camalote aunque existe el riesgo de que la especie se extienda y afecte por tanto también a estos tramos.

Todos estos tramos, afectados o en riesgo de afección por la presencia de camalote, se han compartimentado en distintos subtramos, lo que permite cierto aislamiento entre tramos fluviales para una intervención más rápida que evite su multiplicación vegetativa y la generación de semillas.

Por su parte, en el Tramo A, se han establecido distintos puntos de extracción de camalote (7 principales, más otros secundarios), dotados de las estructuras necesarias (rampas de acceso al río, puntos de fijación de las barreras flotantes, etc.) para realizar los trabajos de extracción con garantías de éxito y de seguridad de las operaciones, mientras que en el Tramo B se establecieron 9 puntos principales de extracción; finalmente, en los Tramos C y D no se consideró necesario de momento la identificación ni el establecimiento de este tipo de puntos.

La gestión del material vegetal extraído ha de realizarse con la garantía de evitar que las semillas que pudieran tener las plantas retiradas, que mantienen su capacidad de germinación durante 15 o 20 años, puedan germinar. Con este objetivo, se han identificado lugares próximos al cauce para el almacenamiento y tratamiento del camalote extraído, variando este tratamiento entre realizar labores de extendido del material y gradeo para incorporar al suelo (cuando las cantidades extraídas son pequeñas), su acumulación en terrenos modificados por la extracción de áridos para su acumulación y/o su quema *in situ* o, en caso de estar cerca de un núcleo urbano, la identificación de parcelas fuera de la vista de la población para el tratamiento de los restos. Queda prohibida el uso del camalote para compostaje o biogás, en tanto en cuanto no se demuestre que estos tratamientos destruyen las semillas.

Por último, para esta fase de control y/o contención CHG (2021b) identifica los recursos necesarios para ello, diferenciando entre un dispositivo permanente de control y un dispositivo de refuerzo. Desde el año 2005, y según datos proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana, estas tareas de retirada del camalote han supuesto casi 60 millones de euros (59.588.270 €), contando los recursos destinados por la propia Confederación Hidrográfica y por otras instituciones y administraciones (Junta de Extremadura y Unidad Militar de Emergencias) y siendo esta partida la que concentra más del 90% de la inversión asociada a la gestión del camalote en el río Guadiana en la que se ha incurrido hasta la fecha; como se desarrollará posteriormente, esta inversión incluye también la inversión dedicada a la fase de pre-erradicación y alerta temprana. Desde ese año 2005, se han extraído más de millón y medio (1.507.831) toneladas de camalote (CHG, 2021a).

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

FASE DE PRE-ERRADICACIÓN Y ALERTA TEMPRANA

Mientras que la fase de control y/o contención resumida en párrafos anteriores tiene como objetivo principal evitar que el camalote se extienda a zonas no afectadas del río Guadiana, la fase de pre-erradicación y alerta temprana tiene como finalidad trabajar en el río de forma permanente y progresiva hasta alcanzar un estado del mismo sin presencia aparente de planta y sin que ésta vuelva a colonizar la zona, realizando trabajos de revisiones periódicas de las márgenes del río.

En este caso, el procedimiento operativo es el siguiente (CHG, 2021b):

- Selección del subtramo en pre-erradicación.
- Instalación de puntos de control y de extracción con barreras flotantes en dicho subtramo.
- Colocación de barreras en puntos donde resultaría problemática la entrada del camalote, como las entradas a los canales de riego o en afluentes del río Guadiana.
- Arrastre del material de las orillas con embarcaciones ligeras hasta las barreras.
- Extracción del material acumulado en las barreras y zonas puntuales en los que se detecte la presencia de la especie.
- Limpieza exhaustiva de orillas con brigadas de personal con embarcación y a pie.
- Compartimentación de los subtramos en segmentos de menor longitud.
- Revisiones periódicas de los segmentos limpios con embarcaciones y personal a pie.
- Apoyo con maquinaria especializada (anfíbios) si es necesario.

Esta fase es la más difícil y costosa, pues requiere gran cantidad de medios para contener la difusión del camalote aguas abajo e ir limpiando de forma intensiva los subtramos desde aguas arriba hacia aguas abajo.

De hecho, esta fase se puso en práctica en 2009 y 2010, cuando llegó a conseguirse una limpieza del río Guadiana similar a la de enero de 2021; sin embargo, la reducción de la inversión en 2011 provocó otro episodio de proliferación masiva, retrocediéndose a la fase de control y/o contención. Con el Plan de Choque de 2018 se logró iniciar la vuelta a la fase de pre-erradicación y alerta temprana, habiéndose liberado de forma completa 185 km de río de la presencia masiva de camalote en diciembre de 2020.

En cualquier caso, y en base a la experiencia de 2011, conviene recordar que en cualquier momento podría retrocederse a la fase de control y/o contención, ya sea por insuficiencia de medios (como ocurrió en 2011) o por la concurrencia de condicionantes meteorológicos adversos (altas temperaturas, inundaciones, etc.).

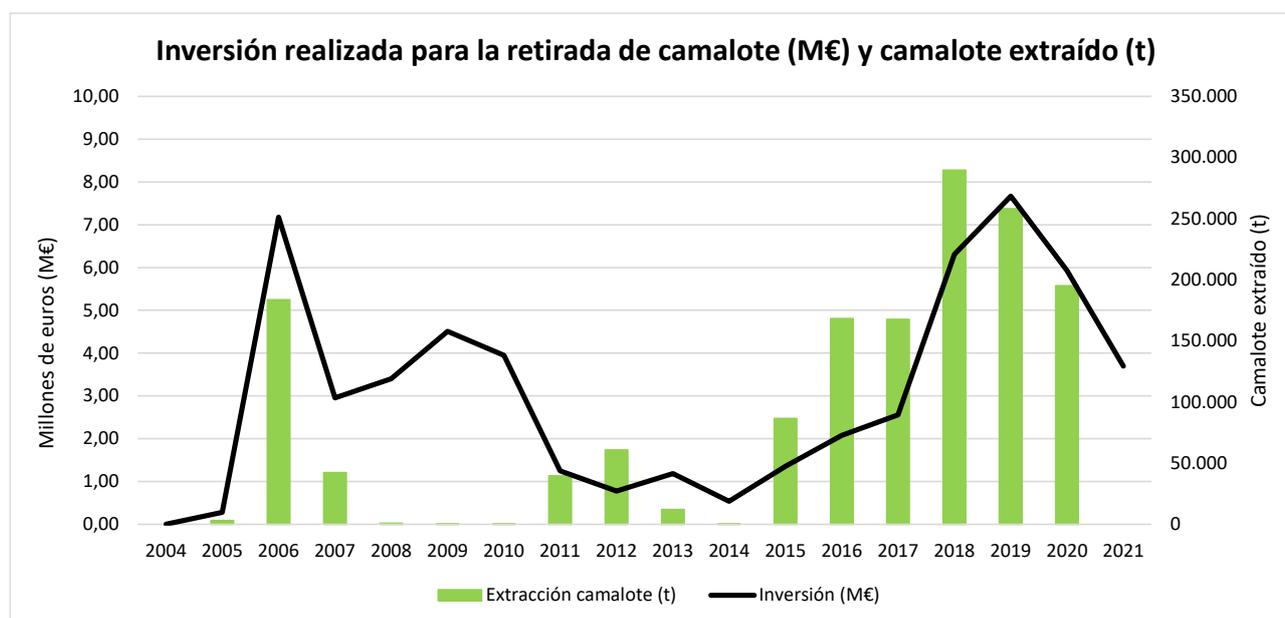
La inversión necesaria para esta fase resulta difícil de desagregar de los costes de retirada de camalote comentados en la fase anterior (casi 60 M€ entre 2004 y 2021), atendiendo a la información proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

En cualquier caso, el Gráfico 2 muestra la evolución de la inversión realizada para la retirada del camalote entre 2004 y 2021, en la que se incluirían las labores tanto de la fase de control y/o contención como de pre-erradicación y alerta temprana, así como las toneladas de camalote extraído cada uno de esos años, excepto en este caso en el año 2021. Como se ha comentado anteriormente, en 2009 y 2010 estuvo en ejecución esta fase de pre-erradicación y alerta temprana y fue la reducción de los esfuerzos desde 2011 lo que supuso el retorno a la fase de control y/o contención, volviéndose en 2021 a recuperar la fase de pre-erradicación y alerta temprana; de esta forma, puede concluirse que los esfuerzos necesarios para el mantenimiento de esta fase pueden redondearse en los 4 M€/año aproximadamente,

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

cifra que puede resultar relevante para el posterior análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación del camalote y que coincide con la estimación de costes planteada a corto plazo en CHG (2021b).

Gráfico 2. Inversión realizada para la retirada del camalote, contando con las intervenciones de la Junta de Extremadura y de la Unidad Militar de Emergencias, y toneladas de camalote extraído entre 2004 y 2021.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana y CHG (2021a).

FASE DE VIGILANCIA Y MANTENIMIENTO

La ausencia de plantas durante un período de 2 años después de que en un tramo haya podido ejecutarse la fase de pre-erradicación y alerta temprana permitiría alcanzar la fase de vigilancia y mantenimiento.

Esta fase consiste en la monitorización continua y la vigilancia constante de orillas y márgenes en la búsqueda de posibles inicios de invasión procedente fundamentalmente de germinaciones. El conocimiento de las condiciones de germinación de las semillas y de la ubicación de los principales bancos o depósitos de estas, junto con la disponibilidad de los medios necesarios para una inmediata intervención, evitará el retroceso hasta alguna de las fases anteriormente descritas.

El elevado período de latencia de las semillas de camalote (que pueden llegar a germinar después de 20 años) hace que esta fase de vigilancia y mantenimiento deba alargarse al menos durante ese período, para poder al final poder declarar en un tramo determinado al camalote como erradicado.

De nuevo, CHG (2021b) procede a identificar los recursos necesarios para el desarrollo de esta fase. Aunque en rigor esta fase no ha llegado a desarrollarse, la Confederación Hidrográfica del Guadiana ofrece algunos datos sobre inversiones en tareas de monitorización y vigilancia desarrollados desde el año 2015, que ascienden a un total de casi 3 millones de euros (2.872.269 €), con cuantías muy variables desde los más de 1 M€ destinados a ello en 2020 hasta los 100.000 € en 2015. En la estimación de costes

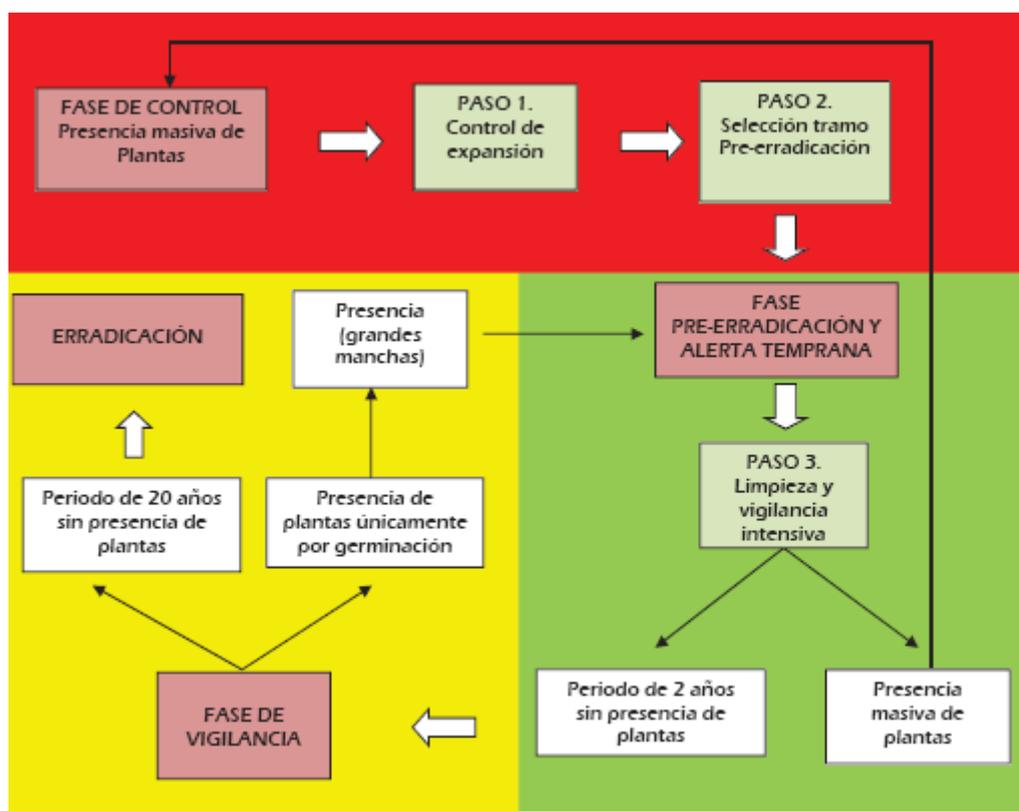
Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

a corto plazo que *ibid.* realiza en su capítulo 6.6, estima que los costes anuales de esta actividad deberían alcanzar los 2 M€/año, cifra a tener en cuenta para el análisis coste-beneficio.

La Figura 1 muestra el esquema de actuación ante la presencia del camalote en el río Guadiana planteado por la Confederación Hidrográfica del Guadiana en CHG (2021b), con las condiciones por las que se cambiaría de fase, ya sea avanzando hacia la erradicación o, en su caso, retrocediendo por la aparición de plantas de camalote.

Este esquema resulta clave para la elaboración del análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación del camalote, así como la información sobre inversiones realizadas aportada por la propia Confederación y las estimaciones de coste a corto plazo recogidas en *ibid.*

Figura 1. Esquemas de pasos a seguir durante las distintas fases de control (rojo), pre-erradicación y alerta temprana (verde) y vigilancia (amarillo) en los tramos de río afectados.



Fuente: CHG (2021b).

ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS

Con el fin de informar, evaluar y orientar la ejecución de las fases identificadas y descritas en páginas previas, que plantean el objetivo a medio o largo plazo de la erradicación del camalote en la cuenca del Guadiana, desde la Confederación Hidrográfica del Guadiana se ha considerado necesario la realización de tareas complementarias:

- Control y monitorización.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

- Seguimiento continuo de la población del jacinto de agua y de parámetros relacionados con su presencia (cartografía a tiempo real, parámetros físico-químicos y biológicos del agua y su influencia en el camalote, etc.).
- Identificación, evaluación y seguimiento de daños.
- Alerta temprana.
- Estudios técnicos (entre los que pueden citarse Carelen Ingeniería, S.L., 2018; FOTEX, 2017 y 2019a), entre los que se encontraría el presente análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana.
 - Estudios enfocados a la reducción de la vulnerabilidad de la cuenca ante la invasión del jacinto de agua y otras EEI.
 - Ampliación y actualización de información sobre las técnicas más adecuadas para el control y eliminación del jacinto de agua y otras EEI.
 - Intercambio de conocimiento y colaboración con las iniciativas promovidas en países con problemas por la presencia de Camalote como Estados Unidos, México, Sudáfrica, Alemania.
- Información, educación y sensibilización.
 - Nodo informativo.
 - Protocolo de información ciudadana.
 - Mantenimiento de web y APP.
 - Cursos y charlas de formación al personal de la CHG y al de otras administraciones y colectivos de interés.

De nuevo, CHG (2021b) identifica los recursos necesarios para desarrollar estas actividades complementarias. En cualquier caso, según datos proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana, desde el año 2008 en el que se comenzaron a realizar algunas de estas tareas complementarias, se ha destinado un total de poco más de 2 millones de euros (2.058.949 €) a estas tareas de investigación, educación ambiental, redacción de proyectos, trámites ambientales y estudios. En las estimaciones de coste a corto plazo recogidas por *ibid.* estima de forma cíclica esfuerzos bianuales de 300.000 €/año seguidos de otros dos años de 600.000 €/año, estimaciones a tener en cuenta para la elaboración del análisis coste-beneficio.

3.2.2. Una estrategia nacional de gestión, control y posible erradicación del camalote

Entre la publicación de CHG (2016) y su actualización (CHG, 2021a), concretadas en la estrategia específica del camalote redactada por la propia Confederación Hidrográfica del Guadiana comentada anteriormente (CHG, 2021b), el por entonces Ministerio para la Transición Ecológica publicó en 2019 la *Estrategia de gestión, control y posible erradicación del camalote (Eichhornia crassipes)* (MITECO, 2019), en cumplimiento de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad en relación con las especies exóticas invasoras y por la importancia de la presencia de esta especie sobre el ecosistema y sobre el bienestar de la sociedad.

Este documento, además de realizar un recorrido por la biología de la especie, su historia en España, la problemática de su presencia e identificar de forma breve los impactos sobre la biodiversidad y los ecosistemas naturales, socio-económicos y sobre la salud humana, define unas medidas de actuación que se articulan de la siguiente manera (MITECO, 2019):

- Acciones de prevención.
 - Detección temprana e intervención rápida.
 - Actuaciones de sensibilización, educación ambiental y formación.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

- Sensibilización y educación ambiental pública.
- Formación y concienciación de los profesionales.
- Acciones de gestión, control y posible erradicación.
 - Métodos de gestión a escala de cuenca hidrográfica.
 - Métodos de gestión, control y posible erradicación a escala de masa de agua.
 - Métodos de control químico.
 - Métodos de control mecánico.
 - Métodos de control biológico.
- Gestión de los restos vegetales.
- Investigación.

La *Estrategia de gestión, control y posible erradicación del camalote (Eichhornia crassipes)* (MITECO, 2019) confirma el enfoque que la Confederación Hidrográfica del Guadiana ha adoptado para la erradicación del camalote en las aguas de su río principal (control mecánico), descartando los métodos de control químico por las restricciones al uso de fitosanitarios en zonas húmedas y planteando el control biológico únicamente cuando se lleven a cabo ensayos en España sobre su uso.

De esta forma, la *Estrategia de lucha para el control de la especie Eichhornia crassipes en la cuenca del Guadiana* (CHG, 2021b) descrita en el epígrafe anterior resulta plenamente coherente con la *Estrategia de gestión, control y posible erradicación del camalote (Eichhornia crassipes)* (MITECO, *op. cit.*), centrándose, por el estado de la plaga en las aguas del río Guadiana, en los métodos de gestión, control y posible erradicación a escala de masa de agua (métodos de control mecánico, junto con la gestión de restos vegetales), complementados por acciones de prevención y de investigación (actuaciones complementarias).

3.2.3. Los efectos de la presencia del camalote en la cuenca del río Guadiana

Como se comentó en páginas anteriores, la definición de una especie como especie exótica invasora (EEI), tal y como se recoge en la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad o en IUCN (2000), incluye la consideración como importantes de los efectos que genere sobre el ecosistema que la acoge y, por extensión, sobre la economía, sobre la salud y, en general, sobre el bienestar de la sociedad.

El jacinto de agua o camalote (*Eichhornia crassipes*) se encuentra entre las EEI más dañinas (Nentwig *et al.*, 2018), característica que explica los esfuerzos de la Confederación Hidrográfica del Guadiana para la erradicación de la especie en su cuenca. En el presente epígrafe se realizará una identificación de los efectos que ocasiona el camalote sobre el ecosistema que le acoge: estos efectos están detrás de la actuación, en este caso, de la Confederación, además de que su identificación informará al análisis coste-beneficio que se realizará en el marco del presente encargo de los beneficios que las actuaciones de la Confederación tienen sobre los ecosistemas, sobre la economía de la zona o, en su caso, sobre la salud de las personas.

Existe una amplia literatura alrededor de los efectos del camalote o jacinto de agua. Sin especificidades geográficas, el jacinto de agua desplaza a las especies nativas y consume el oxígeno de las comunidades acuáticas, generando una escasez de fitoplancton que altera la composición de las comunidades de invertebrados y, en última instancia, de los peces; reduce el espacio disponible para la avifauna acuática y da refugio a mosquitos y otros vectores animales de enfermedades; incrementa las pérdidas de agua por evapotranspiración, siendo éstas alrededor de 3 veces mayor desde una planta de *E. crassipes* que desde el agua; en España y Portugal, se han informado efectos sobre la pesca, los deportes acuáticos y sobre la navegación fluvial (Kriticos y Brunel, 2016).

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

La *Estrategia de gestión, control y posible erradicación del camalote (Eichhornia crassipes)* (MITECO, 2019) identifica distintos efectos del camalote documentados en España, todas ellas relacionadas con las características morfológicas de la planta (especie flotante) y por su rápido crecimiento cuando encuentra condiciones óptimas de temperatura y nutrientes:

- **Sobre la biodiversidad y los ecosistemas naturales.**

El jacinto de agua o camalote puede llegar a cubrir grandes extensiones de agua, afectando con ello a distintos elementos del ecosistema fluvial que lo acoge:

- Al flujo de agua, reduciéndolo y propiciando por ello una mayor sedimentación y una menor oxigenación de las aguas.
- A la cantidad de oxígeno disuelto, reduciéndolo debido a un menor intercambio de gases con la atmósfera y a la descomposición de la materia orgánica (aumento de la DQO y de la DBO).
- A la biodiversidad vegetal y animal, por modificación de las condiciones del ecosistema (menos luz y oxígeno disuelto) y por competencia por los recursos (nutrientes, espacio, etc.).

- **Socioeconómicos.**

Más allá de que los mencionados efectos sobre la biodiversidad y los ecosistemas naturales tengan repercusiones, siquiera indirectas, sobre el bienestar de la sociedad, la presencia de camalote tiene incidencia directa sobre:

- La disponibilidad de agua: la elevada evapotranspiración que supone la presencia descontrolada de camalote reduce la cantidad de agua disponible, llegando a poder comprometer las existencias del recurso para usos consuntivos (regadío y abastecimiento urbano e industrial) y no consuntivos (energéticos, transporte, recreativos como la pesca deportiva o los deportes náuticos, etc.).
- Infraestructuras hidráulicas: las plantas de camalote pueden llegar a obstruir los canales y acequias de riego, e incluso las turbinas instaladas para la producción de energía hidroeléctrica.

- **Sobre la salud humana.**

En este caso, los efectos del camalote se relacionan directamente con su relación con la proliferación de mosquitos, que pueden llegar a ser vehículo de distintas enfermedades (malaria, cólera, filariasis, etc.), aspecto especialmente relevante en aquellas zonas en las que dichas enfermedades aún no han sido erradicadas.

Por su parte, la *Estrategia de lucha para el control de la especie Eichhornia crassipes en la cuenca del Guadiana* (CHG, 2021b) reconoce los siguientes impactos y riesgos de esta especie en la cuenca del río Guadiana (*ibid.*, págs.. 25-26):

- Bloquea la interfase agua-aire y altera las condiciones físicas y químicas a la vez que la propia estructura del hábitat fluvial, provocando cambios en las comunidades animales y plantas asociadas al agua.
- Disminuyen la calidad del agua reduciendo la cantidad de luz disponible para los organismos acuáticos, reduciendo la tasa fotosintética y los niveles de oxígeno.
- Su presencia supone grandes aportaciones de materia orgánica a los cuerpos de agua, y su descomposición puede agotar el oxígeno disuelto. Esto provoca cambios en el olor, color y sabor del agua, y es origen en determinadas circunstancias de mortandades de animales.
- Es causa de una reducción de la diversidad biológica. Las masas flotantes eliminan la vegetación sumergida al bloquear la luz solar y competir por el espacio (por compresión o desplazamiento).

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

Además, las comunidades animales se ven alteradas por la eliminación o el bloqueo de sus hábitats o eliminación de las plantas o animales de los que dependen para alimentarse o reproducirse.

- Restricción al movimiento natural de las aguas en los ríos, con la consecuencia de que la capacidad de los cursos de agua se vea reducida y aumente la posibilidad de sufrir inundaciones en época de crecidas, hecho que también provoca alarma social y disminuye el estado del bienestar.
- Taponamiento de infraestructuras hidráulicas provocando daños en la economía del riego, ya que conlleva elevados costes económicos.
- Interferencia física con determinadas actividades recreativas, tales como pesca, baño, navegación, deportes náuticos, etc.
- Exceso de evapotranspiración, causando desaprovechamiento de agua que podría ser utilizada para otros usos. En relación con esto, la Confederación Hidrográfica del Guadiana encargó un estudio específico: GTEX (2018).
- Generación de hábitats apropiados para el desarrollo de organismos patógenos o vectores de enfermedades.
- Produce una alarma social en la población, una desconfianza en los usuarios, acusaciones y falsedades en redes sociales y conflictividad y enfrentamiento político.

Como puede apreciarse, la Confederación Hidrográfica del Guadiana menciona explícitamente tanto efectos sobre los ecosistemas (los que más esfuerzo suponen para su incorporación a un análisis coste-beneficio) como sobre actividades humanas (riego, actividades recreativas, etc.). En cualquier caso, los daños ambientales, económicos y sanitarios realmente producidos son mínimos gracias a los trabajos de control ejecutados (CHG, 2021b), afirmación que se ve fundamenta en estudios realizados al efecto. En este sentido, Carelen Ingeniería, S.L. (2017 y 2018) no pueden afirmar que la presencia de camalote hasta ahora haya tenido efectos sobre distintos elementos de los ecosistemas (vegetación de ribera, vegetación acuática, fauna piscícola y herpetofauna, etc.), debido a la existencia de numerosos agentes que inciden sobre la calidad del ecosistema que existe a lo largo de los tramos del río Guadiana afectados por la invasión del jacinto de agua. En cualquier caso, estas fuentes sí indican explícitamente que la actuación de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, retirando numerosas toneladas de esta especie desde hace ya años, ha contribuido a que el impacto de la especie haya podido contenerse.

Como primera aproximación a la identificación de los efectos de la presencia del camalote en la cuenca del río Guadiana, especialmente aquellos que pudieran tener más relevancia para un análisis coste-beneficio, destaca la potencial afectación al riego (en concreto, zonas de Montijo y Lobón, situadas aguas abajo del embalse de Montijo), a actividades recreativas (pesca, deportes náuticos, etc.) y a distintos elementos del ecosistema fluvial. De esta forma, el análisis coste-beneficio deberá incorporar en lo posible estos efectos, identificando y evaluando a su vez los métodos que permitirán incorporar estos efectos al marco analítico de un análisis coste-beneficio.

3.2.4. La complementariedad del control del camalote y del nenúfar mejicano

Además del camalote o jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), en la cuenca del río Guadiana se encuentra también como especie exótica invasora, entre otras, el denominado nenúfar mejicano (*Nymphaea mexicana*), también incluida en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras pero para la que aún no se ha elaborado una estrategia específica para la gestión, control o posible erradicación, ya sea a nivel de cuenca hidrográfica como a nivel nacional. Existen distintos elementos en la gestión de una y de otra especie que inducen a considerar a ambas en el futuro análisis coste-beneficio, elementos que a continuación se identifican a beneficio de inventario para explicar dicha consideración conjunta.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

En primer lugar, la presencia del nenúfar mejicano favorece la expansión del camalote debido al efecto cuna y dificulta los trabajos en ejecución de lucha contra el camalote, lo que hace aumentar los costes de extracción de esta otra planta invasora (FOTEX, 2019b). Este hecho hace que exista un interés cruzado en el control de ambas especies, además de que, debido especialmente a que los efectos que provocan sean muy similares (modificación de la superficie del río, obstrucción de infraestructuras, etc.), induce al tratamiento conjunto en un marco de análisis coste-beneficio de las estrategias de control, al reducirse de esta forma los problemas de doble contabilidad.

Por otra parte, algunas similitudes existentes entre ambas especies (flotabilidad, por ejemplo) y condicionantes legales comunes (no posibilidad de no intervención o de control químico y biológico) hacen que las alternativas de actuación que resultan eficaces y viables para la eliminación del nenúfar mejicano (ver página 208 de FOTEX, 2019b) coincidan en ocasiones con las medidas de actuación establecidas para el camalote en CHG (2021b) (métodos físicos de eliminación como la extracción mecanizada), aunque se hayan identificado como eficaces y viables también otras medidas como el dragado del río, no planteadas para el camalote por *ibid.* al permanecer generalmente de forma perenne en flotación. La configuración final de la estrategia de actuación incluida en el documento *Actuaciones de control de la especie exótica invasora Nenúfar mejicano (Nymphaea mexicana) en la cuenca del Guadiana*, aún en proceso de aprobación y que se nutre de la información proporcionada por FOTEX (*op. cit.*) (CHG, 2021a), y en especial la estimación de costes que pudiera plantearse en el mismo para cada una de las actuaciones a realizar, permitirán una mayor precisión en el futuro análisis coste-beneficio a realizar. En este sentido, en la actualidad sigue en estudio el planteamiento de posibles métodos de erradicación, que en todo caso deberán ser sometidos a tramitación ambiental.

En términos de costes asociados a la gestión del nenúfar mexicano, y según datos proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana, se ha procedido a la retirada de esta especie de forma específica únicamente en el año 2017, dedicando a ello algo menos de 100.000 euros (98.528 €). No obstante, en la previsión de costes que recoge (CHG, 2021a) se prevén 1 M€ en 2024 y 2 M€/año durante el trienio 2025-2027 para medidas de control y posible erradicación del nenúfar mejicano. En cualquier caso, como se ha comentado anteriormente, continúa en proceso de elaboración el documento *Actuaciones de control de la especie exótica invasora Nenúfar mejicano (Nymphaea mexicana) en la cuenca del Guadiana*, por lo que las disposiciones del mismo no podrán incorporarse al análisis coste-beneficio.

4. Economía de la gestión, control y erradicación de especies exóticas invasoras: costes, beneficios y análisis coste-beneficio

Desde hace unos veinte años, con el trabajo de Pimentel *et al.* (2001) como pionero (al menos en el tratamiento desde una perspectiva global del impacto económico de las especies invasoras), se ha generado una extensa literatura relativa a los costes y beneficios de la existencia de especies exóticas invasoras, arrastrada además en paralelo con la conciencia sobre los efectos de estas especies a la incorporación de costes y beneficios no considerados hasta entonces (al menos, no de forma generalizada) por el interés por el valor económico de los servicios ambientales que alentó el artículo de Costanza *et al.* (1997).

De esta forma, en la literatura pueden encontrarse multitud de estudios que se interesan por los efectos de la gestión, control y erradicación de especies exóticas invasoras desde una perspectiva económica, pudiéndose encontrar, sin ánimo de ser exhaustivos en esta introducción e informe, desde ejercicios que adoptan una perspectiva teórica y conceptual (Emerton y Howard, 2008; Hanley y Roberts, 2019) hasta otros que proceden de forma específica a la elaboración de ejercicios de análisis coste-beneficio (McNeely, 2001; De Groot *et al.*, 2003; McConnachie *et al.*, 2003; Panzacchi *et al.*, 2007; Daigneault y Brown, 2013; Reyns *et al.*, 2018), pasando por algunos centrados en aspectos concretos como, por ejemplo, una recopilación global de costes de control de especies invasoras acuáticas (Cuthbert *et al.*, 2021). En las siguientes páginas se procederá a realizar un recorrido por estos y otros estudios localizados, centrándose en aquellas conclusiones que puedan extraerse de ellos para informar la realización concreta de un análisis coste-beneficio de la gestión, control y erradicación del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana.

Desde el punto de vista conceptual, puede resultar útil la clasificación de costes y beneficios planteada por Emerton y Howard (2008), que resulta exhaustiva (quizás demasiado, especialmente para impactos con carácter local) y comprehensiva (incluyendo costes y beneficios directos, sencillos de identificar, y costes y beneficios indirectos, que no se identifican de forma tan inmediata y que pueden no tener aplicación en determinados ejercicios) (*ibid.*, pág. 44 y 45):

- **Costes de gestión.** Gastos en prevención, erradicación, contención, gestión y restauración (equipos, salarios, infraestructuras, transporte, mantenimiento, investigación, etc.).
- **Costes de oportunidad.**
 - o Pérdidas de producción *in situ*. Pérdidas en el área donde se produce la invasión en forma de descenso de la productividad, menor tolerancia a episodios de sequía, escasez de agua, etc.
 - o Pérdidas en otros sectores y actividades. Efectos en otros sectores y emplazamientos como resultado de la reducción de la oferta y aumento de los precios de insumos y mercancías por las pérdidas de producción *in situ*.
 - o Costes de congestión. Costes asociados al traslado, transporte, molestias, etc. por la pérdida de espacio y recursos por la invasión.
- **Beneficios in situ.** Beneficios en el sitio donde se produce la invasión asociados a la presencia de la especie (aumento de la pesca deportiva asociada a la especie, por ejemplo).
- **Beneficios a otros sectores y actividades.** Beneficios en otros sectores y emplazamientos asociados al aumento de actividad por la presencia de la especie.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

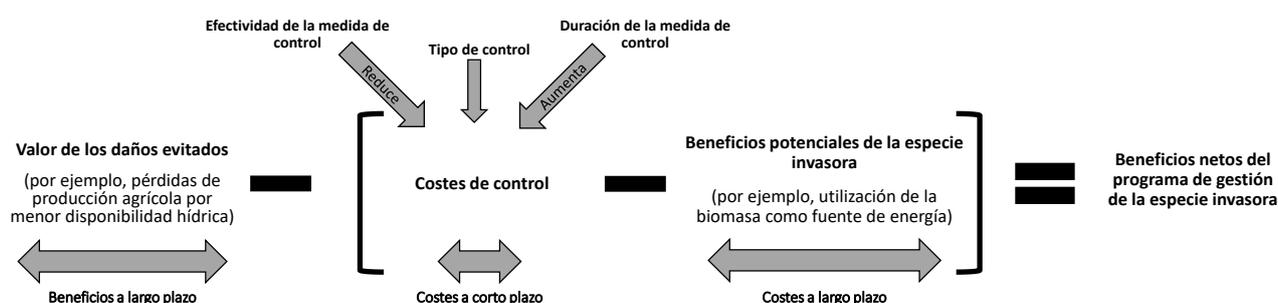
Sin embargo, y sin negar la existencia de estos costes y beneficios a otros sectores y emplazamientos, en el marco de un ejercicio de análisis coste-beneficio, EC (2015) propone, tal y como se comentó previamente, adoptar un informe microeconómico, no incluyendo en el análisis determinados efectos indirectos (mercados indirectos, empleo, etc.) debido a dificultades metodológicas y al riesgo de doble contabilidad; de forma adicional, las invasiones locales generarán menos costes y beneficios en otros sectores y emplazamientos directamente afectados por la presencia de la especie invasora.

De manera adicional, y de forma concreta en el marco de un análisis coste-beneficio social, la identificación de costes y beneficios *in situ* ha de incorporar la perspectiva social, incluyendo costes y beneficios que no tienen mercado y/o que afectan a terceras personas (externalidades). La teoría económica habla de Valor Económico Total para incluir estos otros tipos de valores distintos a los generalmente considerados de uso directo, como los de uso indirecto o de opción o, incluso, los valores de no uso (Azqueta, 2001; Emerton y Howard, 2008).

En líneas anteriores se ha realizado un rápido recorrido por los tipos de costes y beneficios que generan las especies exóticas invasoras y cuáles de ellos considerar para el análisis coste-beneficio de la gestión, control y erradicación de estas especies, pero la literatura también ofrece criterios sobre el cómo incluir estos costes y beneficios, especialmente en un marco de análisis coste-beneficio.

La Figura 2 muestra en forma de ecuación comentada los elementos a considerar para conocer los beneficios netos de un programa de gestión de una especie invasora, objetivo último de cualquier análisis coste-beneficio de la gestión, control y erradicación de una de estas especies.

Figura 2. Cálculo del beneficio neto de los programas de gestión de especies invasoras.



Fuente: Elaboración propia a partir de Hanley y Roberts (2019).

Los costes de control son aquellos en los que la autoridad competente incurre para gestionar, controlar y en última instancia erradicar una especie exótica invasora. Estos costes de control se ven determinados por el tipo de control adoptado (medios físicos, químicos o biológicos, como se expuso en el capítulo anterior), la efectividad de las medidas puestas en marcha y por el tiempo que estas medidas han de aplicarse. En este sentido, en CHG (2021b), tal y como se recogió en páginas previas, se expone la estrategia adoptada para la lucha contra el camalote en la cuenca del río Guadiana, identificándose algunos costes de gestión, control y erradicación del camalote y secuencia de medidas que resultan muy útiles a la hora de plantear y posteriormente ejecutar el ejercicio de análisis coste-beneficio.

En relación con los costes a largo plazo (o beneficios potenciales de la especie invasora), cabe mencionar que la legislación europea y nacional prohíbe o hace prácticamente imposible la comercialización de este tipo de especies o de sus productos, por lo que es difícil obtener ingresos por su comercialización ya sea de subproductos o usos: mediante estas restricciones, se quiere evitar que posibles beneficios

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

puedan favorecer su extensión o impedir su control o erradicación, por lo que en el marco del análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación del camalote y del nenúfar mejicano en el río Guadiana pueden descartarse la existencia de este tipo de costes a largo plazo.

Por otro lado, el analista ha de enfrentarse a la valoración de los beneficios asociados a la gestión, control y erradicación de la especie exótica invasora. En este sentido, una práctica habitual a la hora de valorar estos beneficios es igualarlos a los costes que se evitan por la intervención, esto es, valorar qué ocurriría ante un escenario de no intervención (Hanley y Roberts, 2019): aterrizando este concepto en el futuro ejercicio de análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación del camalote en la cuenca del río Guadiana, la proliferación sin control de esta planta exótica invasora reduciría la cantidad de agua disponible para regadío y obstruiría las infraestructuras de riego, comprometiendo, al menos en parte, la producción agrícola irrigada por los canales de Montijo y Lobón. Arp *et al.* (2017), por ejemplo, presenta un enfoque metodológico para cuantificar los beneficios que el control del camalote tiene sobre una zona de riego.

La importancia de estos beneficios asociados a la gestión de las especies exóticas invasoras se refleja en la literatura: Cuthbert *et al.* (2021), aun reconociendo la parcialidad de la información disponible, identifica que el 74% de los costes asociados a las especies exóticas invasoras de carácter acuático (345.000 millones de US\$, casi 320.000 M€₂₀₂₁⁴) se deben a los daños que ocasionan en los recursos (si se erradicaran estas especies, estos costes se corresponderían con los beneficios de las acciones de gestión, control y erradicación), mientras que únicamente el 6% de estos costes se asocian a la gestión; el 6% de los costes totales asociados a las especies exóticas invasoras se deben a especies vegetales. Por otra parte, esta misma fuente indica que en el año 2020 el coste anual de las especies exóticas invasoras ascendió a más de 21.200 M€₂₀₂₁.

Algunas fuentes proporcionan datos específicos de este tipo para España: por ejemplo, entre 1997 y 2022, en España se destinaron un total de 232 M€₂₀₂₁, siendo en este caso más del 90% relacionados con los costes de gestión, lo que supone a su vez que la información relativa a la valoración de los daños producidos por este tipo de especies es claramente minoritaria en nuestro país (Angulo *et al.*, 2021); esto supone que los datos disponibles en España en relación con los costes (no sólo de gestión, sino especialmente de daños) son muy parciales, infraestimando los efectos que estas especies generan tanto al medio ambiente como la sociedad en general (Andreu *et al.*, 2009). El camalote o jacinto de agua resulta ser la especie exótica invasora a la que más recursos se destina: 48,70 M€₂₀₂₁ (Angulo *et al.*, *op. cit.*).

La consideración de todos los costes y beneficios, incluidos aquellos para los que no existen mercado o en los que intervienen terceras personas, resulta tan imprescindible para una toma de decisiones adecuada desde el punto de vista social (Muller *et al.*, 2021) como complicada y exigente para el analista (Pejchar y Mooney, 2009); en este sentido, los impactos de las especies exóticas invasoras sobre los servicios de provisión suelen estar bien cuantificados, pero los servicios de soporte para la vida, entre los que se incluyen los llamados servicios de regulación (polinización, regulación de enfermedades y pestes, control de inundaciones y fuegos, etc.) son raramente estimados, aunque se les presume un valor sustancial (*ibid.*).

⁴ Para esta transformación monetaria, se ha empleado un tipo de cambio de 1,14 €/US\$ (tipo medio de cambio en el año 2020, según datos proporcionados por el Banco de España) y un IPC entre octubre de 2020 y octubre 2021 del 5,4% (según datos del Instituto Nacional de Estadística).

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

Por otra parte, distintos estudios demuestran que generalmente los beneficios de proceder a gestionar, controlar o erradicar una especie exótica invasora superan a los costes (McNeely, 2001; Daigneault y Brown, 2013; Reyns *et al.*, 2018), existiendo ejemplos concretos en la literatura sobre esta rentabilidad positiva del control biológico de plantas acuáticas exóticas invasoras (De Groot *et al.*, 2003; McConachie *et al.*, 2003) y, más en concreto, del control biológico y químico del camalote o jacinto de agua (Wainger *et al.*, 2018); esta general rentabilidad positiva se consigue incluso sin incorporar al balance algunos beneficios (como los valores de no uso, por ejemplo) (*ibid.*).

En cualquier caso, una rentabilidad positiva no tiene por qué ser sinónimo de tomar una decisión en un determinado sentido, al existir también consideraciones relativas a juicios de valor o cuestiones distributivas: si los costes de proceder a erradicar una especie exótica invasora son muy elevados puede llegar a considerarse la intervención como políticamente indeseable, aunque los beneficios (que pueden distribuirse a lo largo de muchos años) llegaran a superar a dichos costes (en los que se incurre en un momento muy concentrado en el tiempo, por ejemplo) (McNeely, *op. cit.*); esta circunstancia (unos costes inmediatos en el tiempo y unos beneficios, por muy elevados que pudieran resultar, a futuro) es muy común y hace que el marco metodológico del análisis coste-beneficio, en particular el cálculo de los costes y beneficios descontados, haya de ser tenido en cuenta de forma cuidadosa (Wainger *et al.*, 2018).

Además de estas magnitudes, absolutas y relativas, de costes y beneficios asociados a la gestión de especies exóticas invasoras, algunos ejemplos de estos ejercicios presentes en la literatura permiten realizar un análisis comparativo de distintas estrategias a adoptar para la gestión, control y posible erradicación de este tipo de especies.

En este sentido, la Figura 3 muestra de forma cualitativa la comparación de distintos escenarios de intervención, planteados por Muller *et al.* (2021) y que se recogen en el presente informe por su directa correspondencia con las fases planteadas en la última revisión de la *Gobernanza y estrategia para la lucha contra la especie invasora Eichhornia crassipes (camalote o jacinto de agua) en la cuenca del Guadiana* (CHG, 2021b). En el eje de ordenadas de esta Figura 3 se representan distintas fases del proceso de expansión de una especie exótica invasora, fases que a su vez podrían corresponderse (de forma cualitativa, es decir, si una fase se encuentra al doble de distancia del origen que otra no puede afirmarse que los costes de la primera sean el doble que los de la segunda) con los costes globales (de gestión y daños) asociados a la presencia de esa especie exótica invasora. De esta forma, la correspondencia entre estrategias de Muller *et al.* (*op. cit.*) y CHG (*op. cit.*) es la siguiente:

- La estrategia de control de Muller *et al.* (2021) se corresponde con la fase de control y/o contención de CHG (2021b): si únicamente se realizaran estas tareas, los costes de esta estrategia mantendrían determinada magnitud a lo largo del tiempo.
- La estrategia de erradicación de Muller *et al.* (*op. cit.*) equivaldría a la fase de pre-erradicación y alerta temprana de CHG (*op. cit.*): en caso de éxito los costes podrían llegar a anularse con el tiempo, pero el nivel de expansión que se permitió a la especie hace que estos costes sean considerables. En esta fase se encontraría actualmente el tramo comprendido entre la desembocadura del río Zújar y Puente Ajuda, tras las labores intensivas de extracción de camalote que se han desarrollado recientemente.
- Finalmente, la estrategia de prevención de Muller *et al.* (*op. cit.*) se correspondería con la fase de vigilancia y mantenimiento de CHG (*op. cit.*), en la que se encuentra actualmente el subtramo A.1 del río Guadiana entre la desembocadura del río Zújar y el Azud de Medellín por llevar más de 2 años sin presencia aparente de camalote. Esta condición podría irse extendiendo a cada uno de

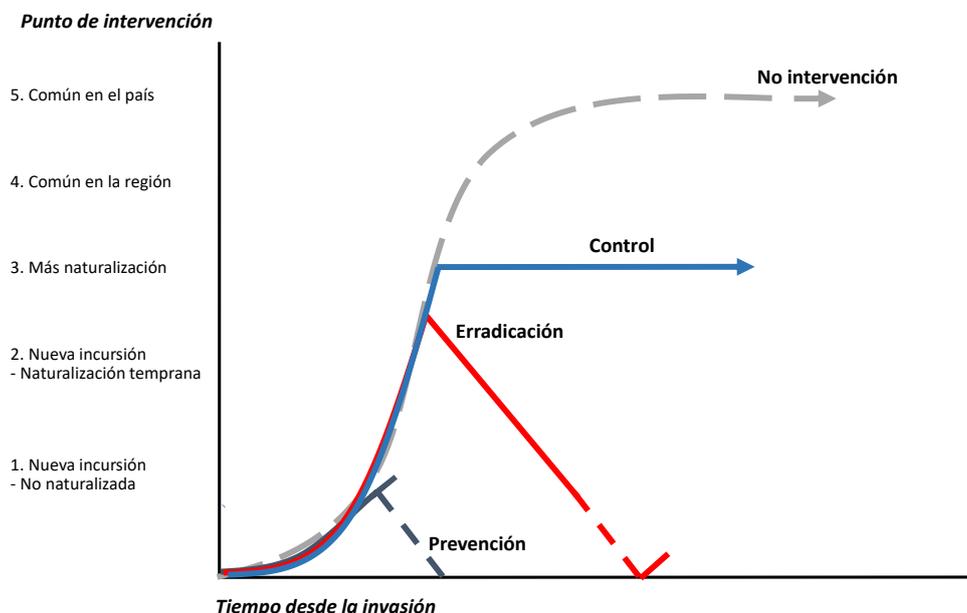
Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

los subtramos A y por el Tramo B hasta Puente Ajuda si no vuelven a aparecer grandes masas de camalote en los mismos durante dos años.

De forma adicional, Muller *et al.* (2021) confirma en su estudio las siguientes afirmaciones, especialmente relevantes para la toma de decisiones respecto a la gestión de especies exóticas invasoras:

- Cuanto antes comience la erradicación y/o más contenida sea la presencia de la especie, más bajos serán los costes.
- La erradicación es más cara que otras alternativas, como la no intervención a corto plazo, pero es más barata que los impactos a largo plazo de la no intervención y/o de programas de control. Un ejemplo en relación con esta comparación entre erradicación y programas de control (en este caso, del roedor *Myocastor coypus* en Reino Unido e Italia) puede encontrarse en Panzacchi *et al.* (2007).
- La prevención de la entrada de especies exóticas invasoras será más barata a largo plazo que la erradicación. En este sentido, la elaboración y difusión de estudios sobre los riesgos asociados a las especies exóticas invasoras y su traducción a daños económicos ayudará a aumentar entre la sociedad la conciencia respecto al riesgo que una especie exótica invasora aún no presente podría suponer.

Figura 3. Diagrama que ilustra los costes y beneficios relativos de distintas estrategias de actuación frente a las especies exóticas invasoras: no intervención, control, erradicación y prevención.



Fuente: Elaboración propia a partir de Muller *et al.* (2021).

En cualquier caso, la elección no es sólo una decisión dicotómica entre qué estrategia adoptar, es decir, la pregunta no es tanto *si* se hace control o no como *cuánto* control se hace (Epanchin-Niell, 2017), lo que induce al analista al planteamiento de distintos escenarios en los que no sólo se planteen qué estrategia adoptar sino con qué intensidad. En este sentido, esta intensidad en algunas fases o estrategias puede permitir reducir el riesgo de fracaso (si se incrementa la vigilancia existirá menos probabilidad

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

de que un foco de propagación quede inadvertido y de él surja un nuevo episodio de proliferación masiva), con la consideración adicional de la interdependencia existe las distintas estrategias (*ibid.*); la modelización de este tipo de escenarios para el análisis coste-beneficio, en lo posible y siempre teniendo en cuenta la incertidumbre de este tipo de predicciones, puede enriquecer el análisis y ayudar a la toma de decisiones en relación con la gestión, control y erradicación de especies exóticas invasoras.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

5. Conclusiones

A lo largo del presente informe se ha procedido a realizar un recorrido sobre distintos elementos relevantes para el análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de una especie exótica invasora, aprovechando para ello la literatura científica y de otro tipo publicada por distintas revistas y organizaciones.

El objetivo de esta revisión bibliográfica no es otro que el de orientar la siguiente fase del presente encargo, es decir, la realización de un análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana. Por ello, no sólo se ha procedido a una descripción de la metodología del análisis coste-beneficio o de las opciones de gestión del camalote y del nenúfar mejicano, sino que se ha profundizado en la identificación de elementos y variables especialmente relevantes e, incluso, ha podido avanzarse en la concreción de algunas de estas variables.

Por ejemplo, y una vez reconocidos los conceptos y aspectos metodológicos de todo análisis coste-beneficio, en este trabajo se ha apuntado a la concreción de unos valores de la tasa de descuento financiera (4%) y social (2%) que servirán de base para la actualización de costes y beneficios en la siguiente fase del encargo. Este parámetro, el de la tasa de descuento, tiene una influencia en ocasiones decisiva en el resultado final de cualquier análisis coste-beneficio, por lo que, además de apoyar y documentar la propuesta de los valores anteriormente mencionados en la literatura disponible, se considera que deberá ser un parámetro a incluir en el análisis de sensibilidad, mediante el cual se realizará una evaluación de las incertidumbres asociadas a cualquier análisis coste-beneficio.

Por otro lado, el conocimiento de las alternativas de gestión de una especie exótica invasora, en general, y de la estrategia adoptada por la autoridad competente en relación con la gestión del camalote y del nenúfar mejicano, en particular, permite definir los horizontes temporales del análisis, teniendo en cuenta la duración de las semillas (20 años) y el paso de una fase a otra de la estrategia en función de objetivos conseguidos. De forma adicional, la Confederación Hidrográfica del Guadiana informa sobre los costes estimados para cada una de estas fases, por lo que pueden plantearse distintos escenarios (optimista, pesimista, más probable, etc.) en función de predicciones sobre la evolución de la invasión de estas especies; de esta forma, de nuevo, es posible incorporar al análisis coste-beneficio la evaluación de las incertidumbres asociadas a la realización de este tipo de ejercicio.

Finalmente, la revisión de otros estudios en los que se aplica el análisis coste-beneficio a especies exóticas invasoras e, incluso con mayor concreción, a una de las especies objetivo del presente encargo (el camalote) permite reconocer, al menos, el enfoque de considerar los beneficios de la gestión como los costes evitados por la misma si no hubiera habido gestión y, por otra parte, identificar al regadío, a otras actividades recreativas (pesca, deportes náuticos, etc.) y a los distintos efectos que el camalote genera en el ecosistema fluvial como principales elementos en los que se manifiesta la gestión del camalote como especie exótica invasora en la cuenca del río Guadiana.

De esta forma, en el presente informe se identifican elementos suficientes para abordar el análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana, habiéndose identificado además una extensa bibliografía a la que podrá recurrirse en caso de identificar durante la elaboración del análisis un reto o dificultad específica.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

6. Referencias bibliográficas

- ARP, R.S., FRASER, G.C.G y HILL, M.P. (2017) Quantifying the economic water savings benefit of water hyacinth (*Eichornia crassipes*) control in the Vaalharts Irrigation Scheme. *Water SA*, 43(1), 58-66.
- AZNAR-BELLVER, J. y ESTRUCH-GUITART, A.V. (2012) *Valoración de activos ambientales: teoría y casos*. Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, España.
- AZQUETA, D. (1994) *Valoración económica de la calidad ambiental*. McGraw-Hill.
- AZQUETA, D. (2002) *Introducción a la Economía Ambiental*. McGraw-Hill Profesional.
- ANDREU, J., VILÀ, M. y HULME, P.E. (2009) An assessment of stakeholder perceptions and management of noxious alien plants in Spain. *Environmental Management*, 43, 1244-1255.
- ANGULO, E., BALLESTEROS-MEJÍA, L., NOVOA, A., DUBOSCQ-CARRA, V.G., DIAGNE, C. y COURCHAMP, F. (2021) Economic costs of invasive alien species in Spain. *NeoBiota*, 67, 267-297.
- BRUNEL, S., BRUNDU, G. y FRIED, G. (2013) Eradication and control of invasive alien plants in the Mediterranean Basin: towards better coordination to enhance existing initiatives. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 43(2), 290-308.
- CAMPOS, J., SEREBRISKY, T. y SUÁREZ-ALEMÁN, A. (2015) *Time goes by: recent developments on the theory and practice of the discount rate*. Inter-American Development Bank. Technical Note N° IDB-TN-861.
- CARELEN INGENIERÍA, S.L. (2017) *Informe preliminar de evaluación de los daños ambientales de Eichornia crassipes en la cuenca del Guadiana*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Guadiana.
- CARELEN INGENIERÍA, S.L. (2018) *Monitorización y seguimiento de los daños ambientales derivados de las invasiones del jacinto de agua en la cuenca del Guadiana*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Guadiana.
- CENTRE FOR INDUSTRIAL STUDIES (CSIL) y DKM, ECONOMIC CONSULTANTS (2011) *Ex-post evaluation of investment projects cofinanced by de European Regional Development Fund (ERDF) and Cohesion Fund (CF) in the period 1994-1999*. Prepared for European Commission, Directorate-General Regional Policy, Policy Development Evaluation.
- CENTRE FOR INDUSTRIAL STUDIES (CSIL) y RAMBOLL MANAGEMENT CONSULTING A/S (2020) *Ex-post evaluation of major projects supported by de European Regional Development Fund (ERDF) and Cohesion Fund (CF) between 2000-2013*. Prepared for European Commission, Directorate-General for Regional and Urban Policy, Directorate B - Policy.
- CLAYTON, J.S. (1996) Aquatic weeds and their control in New Zealand lakes. *Lake and Reservoir Management*, 12, 477-486.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

COMISIÓN EUROPEA (CE) (2003) *Guía del análisis costes-beneficios de los proyectos de inversión*. Elaborado por la Unidad responsable de la evaluación. DG Política Regional. Comisión Europea.

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA (CHG) (2016) *Gobernanza y estrategias para la lucha contra las especies invasoras en la cuenca del Guadiana*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA (CHG) (2021a) *Gobernanza y estrategias para la lucha contra las especies invasoras en la cuenca del Guadiana. Revisión febrero 2021*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA (CHG) (2021b) *Estrategia de lucha para el control de la especie Eichhornia crassipes en la cuenca del Guadiana*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P. y VAN DEN BELT, M. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.

CUTHBERT, R.N., PATTISON, Z., TAYLOR, N.G., VERBRUGGE, L., DIAGNE, C., AHMED, D.A., LEROY, B., ANGULO, E., BRISKI, E., CAPINHA, C., CATFORD, J.A., DALU, T., ESSL, F., GOZLAN, R.E., HAUBROCK, P.J., KOURANTIDOU, M., KRAMER, A.M., RENAULT, D., WASSERMAN, R.J. y COURCHAMP, F. (2021) Global economic costs of aquatic invasive alien species. *Science of the Total Environment*, 775, 145238.

DAIGNEAULT, A. y BROWN, P. (2013) *Invasive species management in the Pacific using survey data and benefit-cost analysis*. Landcare Research New Zealand Ltd. Contributed paper prepared for presentation at the 57th Australian Agricultural & Resource Economics Society (AARES) Annual Conference, Sydney.

DAWSON, W., MOSER, D., VAN KLEUNEN, M., KREFT, H., PERGL, J., PYSEK, P., WEIGELT, P., WINTER, M., LENZNER, B., BLACKBURN, T. M., DYER, E. E., CASSEY, P., SCRIVENS, S. L., ECONOMO, E. P., GUE'NARD, B., CAPINHA, C., SEEBENS, H., GARCÍA DÍAZ, P., NENTWIG, W., GARCÍA-BERTHOUS, E., CASAL, C., MANDRAK, N. E., FULLER, P., MEYER, C. y ESSL, F. (2017). Global hotspots and correlates of alien species richness across taxonomic groups. *Nature Ecology and Evolution*, 1, 0186.

DE GROOTE, H., AJUNU, O., ATTIGNON, S., DJESSOU, R. y NEUNSWANDER, P. (2003) Economic impact of biological control of water hyacinth in Southern Benin. *Ecological Economics*, 45, 105-117.

DE JONG, G., VIGNETTI, S. y PANCOTTI, C. (2020) Ex-post evaluation of major infrastructure projects. *Transportation Research Procedia*, 42, 75-84.

ELIASSON, J. y FOSGERAU, M. (2013) *Cost overruns and benefit shortfalls – deception or selection?* Centre for Transport Studies. CTS Working Paper 2013:X.

EMERTON, L. y HOWARD, G. (2008) *A Toolkit for the Economic Analysis of Invasive Species*. The Global Invasive Species Programme (GISP).

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

EPANCHIN-NIELL, R.S. (2017) Economics of invasive species policy and management. *Biological Invasions*, 19, 3333-3354.

EUROPEAN COMMISSION (EC) (2008) *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. Structural Funds, Cohesion Fund and Instrument for Pre-Accession*. Directorate-General for Regional Policy. European Commission.

EUROPEAN COMMISSION (EC) (2015) *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. Directorate-General for Regional and Urban Policy. European Commission.

EUROPEAN COMMISSION (EC) (2021) *Economic Appraisal Vademecum 2021-2027. General Principles and Sector Applications*. Directorate-General for Regional and Urban Policy. European Commission.

FLORIO, M. y SIRTORI, E. (2013) *The social cost of capital: recent estimates for the EU countries*. Working Paper N 03/2013. Centre for Industrial Studies.

FLYVBJERG, B. (2007) Policy and planning for large-infrastructure projects: problems, causes, cures. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34(4), 578-597.

FOMENTO DE TÉCNICAS EXTREMEÑAS (FOTEX) (2017) *Estudio del Banco de semillas de Eichhornia crassipes (Mart.) Solms-Laub en la Cuenca del Guadiana*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Guadiana.

FOMENTO DE TÉCNICAS EXTREMEÑAS (FOTEX) (2019a) *Estudio y seguimiento de la reproducción sexual de Eichhornia crassipes (Mart.) Solms-Laub en el río Guadiana*. Ministerio para la Transición Ecológica. Confederación Hidrográfica del Guadiana.

FOMENTO DE TÉCNICAS EXTREMEÑAS (FOTEX) (2019b) *Estudio de viabilidad de métodos para el control y eliminación del nenúfar mejicano (Nymphaea mexicana Zucc) en el río Guadiana a su paso por Badajoz*. Ministerio para la Transición Ecológica. Confederación Hidrográfica del Guadiana.

FREDERICK, S., LOEWENSTEIN, G. y O'DONOGHUE, T. (2002) Time Discounting and Time Preference: A Critical Review. *Journal of Economic Literature*, XL, 351-401.

GABINETE TÉCNICO EXTREMEÑO (GTEX) (2018) *Ensayos para la determinación experimental de las tasas de evapotranspiración del camalote en el tramo medio del Guadiana*. Ministerio para la Transición Ecológica. Confederación Hidrográfica del Guadiana.

HANLEY, N. y ROBERTS, M. (2019) The economic benefits of invasive species management. *People and Nature*, 1, 124-137. <https://doi.org/10.1002/pan3.31>

HULME, P.E., BACHER, S., KENIS, M., KLOTZ, S., KÜHN, I., MINCHIN, D., NENTWIG, W., OLENIN, S., PANOV, V., PERGL, J., PYSEK, P., ROQUES, A., SOL, D., SOLARZ, W. y VILÀ, M. (2008) Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology*, 45, 403-414.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

HUSSNER, A., STIERS, I., VERHOFSTAD, M.J.J.M., BAKKER, E.S., GRUTTERS, B.M.C., HAURY, J., VAN VALKENBURG, J.L.C. H., BRUNDU, G., NEWMAN, J., CLAYTON, J.S., ANDERSON, L.W.J. y HOFSTRA, D. (2017) Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: a review. *Aquatic Botany*, 136, 112–137.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN) (2000) *Guidelines for the Prevention of Biodiversity Loss Caused by Alien Invasive Species*. IUCN, Gland.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN) (2017) *The IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN, Gland.

KRITICOS, D.J. y BRUNEL, S. (2016) Assessing and Managing the Current and Future Pest Risk from Water Hyacinth, (*Eichhornia crassipes*), an Invasive Aquatic Plant Threatening the Environment and Water Security. *PLoS ONE*, 11(8), e0120054.

[doi:10.1371/journal.pone.0120054](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120054)

LARANJEIRA, C.M. y NADAIS, G. (2008) *Eichhornia crassipes* control in the largest Portuguese natural freshwater lagoon. *EPPO Bulletin*, 38, 487–495.

LEVERS, L.R. y PRADHANANGA, A.K. (2021) Recreationist willingness to pay for aquatic invasive species management. *PLoS ONE*, 16(4): e0246860.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246860>

MCCONNACHIE, A.J., DE WIT, M.P., HILL, M.P. y BYRNE, M.J. (2003) Economic evaluation of the successful biological control of *Azolla filiculoides* in South Africa. *Biological Control*, 28, 25-32.

MCNEELY, J. (2001) Invasive species: a costly catastrophe for native biodiversity. *Land Use and Water Resources Research*, 1(2), 1-10.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA (MITECO) (2019) *Estrategia de gestión, control y posible erradicación del camalote (Eichhornia crassipes)*. Versión aprobada por la Comisión Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad el 24 de enero de 2019 y por la Conferencia Sectorial de Medio Ambiente el 30 de septiembre de 2019.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA) (2005) *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington.

MIRONGA, J.M. y MORIASI, J. (2014) An Evaluation of Water Hyacinth Control Methods: A Case Study of Lake Naivasha, Kenya. *Journal of Environment Natural Resources Management and Society (JENRS)*, 59-75.

MUJINGNI EPSE CHO, J.T. (2012) *Quantification of the Impacts of Water Hyacinth on Riparian Communities in Cameroon and Assessment of an Appropriate Method of Control: The Case of the Wouri River Basin*. World Maritime University Dissertations. 29. Malmö, Sweden.

MULLER, C., HOFSTRA, D. y CHAMPION, P. (2021) Eradication economics for invasive alien aquatic plants. *Management of Biological Invasions*, 12(2), 253-271.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

NENTWIG, W., BACHER, S., KUMSCHICK, S., PYSEK, P. y VILÀ, M. (2018) More than “100 worst” alien species in Europe. *Biological Invasions*, 20, 1611–1621.

PANZACCHI, M., COCCHI, R., GENOVESI, P. y BERTOLINO, S. (2007) Population control of coypu *Myocastor coypus* in Italy compared to eradication in UK: a cost-benefit analysis. *Wildlife Biology*, 13(2), 159–171.

PEJCHAR, L. y MOONEY, H.A. (2009) Invasive species, ecosystem services and human well-being. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(9), 497–504.

PIMENTEL, D., MCNAIR, S., JANECKA, J., WIGHTMAN, J., SIMMONDS, C., O’CONNELL, C., WONG, E., RUSSEL, L., ZERN, J., AQUINO, T. y TSOMONDO, T. (2001) Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 84, 1–20.

PRATT, C.F., SHAW, R.H., TANNER, R.A., DJEDDOUR, D.H. y VOS, J.G.M. (2013) Biological control of invasive non-native weeds: An opportunity not to be ignored. *Entomologische berichten*, 73(4), 144–154.

PYSEK, P., HULME, P.E., SIMBERLOFF, D., BACHER, S., BLACKBURN, T.M., CARLTON, J.T., DAWSON, W., ESSL, F., FOXCROFT, L.C., GENOVESI, P., JESCHKE, J.M., KÜHN, I., LIEBHOLD, A.M., MANDRAK, N.E., MEYERSON, L.A., PAUCHARD, A., PERGL, J., ROY, H.E., SEEBENS, H., VAN KLEUNEN, M., VILÀ, M., WINGFIELD, M.J. y RICHARDSON, D.M. (2020) Scientists’ warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95, 1511–1534.

RAI, P.K. y SINGH, J.S. (2020) Invasive alien plant species: Their impact on environment, ecosystem services and human health. *Ecological Indicators*, 111, 106020.

RAMSEY, F.P. (1928) A mathematical theory of saving. *Economic Journal*, 38, 543–559.

REYNS, N., CASAER, J., DE SMET, L., DEVOS, K., HUYSENTRUYT, F., ROBERTSON, P.A., VERBEKE, T. y ADRIAENS, T. (2018) Cost-benefit analysis for invasive species control: the case of greater Canada goose *Branta canadensis* in Flanders (northern Belgium). *PeerJ* 6:e4283 <https://doi.org/10.7717/peerj.4283>

RICHARDSON, D.M., PYSEK, P., REJMANEK, M., BARBOUR, M.G., PANETTA, F.D. y WEST, C.J. (2000) Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, 6, 93–107.

RIPPLE, W.J., WOLF, C., NEWSOME, T.M., GALETTI, M., ALAMGIR, M., CRIST, E., MAHMOUD, M.I., LAURANCE, W.F. y 15,364 scientist signatories from 184 countries (2017) World scientists’ warning to humanity: a second notice. *BioScience*, 67, 1026–1028.

SANZ ELORZA M., DANA SÁNCHEZ E.D. y SOBRINO VESPERINAS E. (eds.) (2004) *Atlas de las Plantas Alóctonas Invasoras en España*. Dirección General para la Biodiversidad. Madrid, 384 pp.

SIMBERLOFF, D., KEITT, B., WILL, D., HOLMES, N., PICKETT, E. & GENOVESI, P. (2018) Yes we can! Exciting progress and prospects for controlling invasives on islands and beyond. *Western North American Naturalist*, 78, 942–958.

Análisis coste-beneficio de la gestión, control y posible erradicación de las especies invasoras del camalote y del nenúfar mejicano en la cuenca del río Guadiana

TÉLLEZ, T.R., MARTIN DE RODRIGO, E., LORENZO, G., ALBANO, E., MORÁN, R. y SÁNCHEZ, J.M. (2008) The Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*: an invasive plant in the Guadiana River Basin (Spain). *Aquatic Invasions*, 3(1), 42-53.

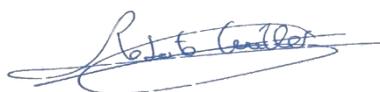
UNION OF CONCERNED SCIENTISTS (1992) *World scientists' Warning to Humanity*. <http://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2017/11/World%20Scientists%27%20Warning%20to%20Humanity%201992.pdf>

WAINGER, L., HARMS, N.E., MAGEN, C., LIANG, D., NESSLAGE, G.M., MCMURRAY, A.M. y COFRANCESCO, A.F. (2018) Evidence-based economic analysis demonstrates that ecosystem service benefits of water hyacinth management greatly exceed research and control costs. *PeerJ* 6:e4824 <https://doi.org/10.7717/peerj.4824>

ZHUANG, J.; LIANG, Z., LIN, T. y DE GUZMAN, F. (2007) *Theory and Practice in the Choice of Social Discount Rate for Cost-Benefit Analysis: A Survey*. ERD Working Paper Series, No. 94, Asian Development Bank (ADB), Manila.

A 17 de diciembre de 2021

El Autor por TRAGSATEC



Fdo: Roberto Cuéllar Benito

La Responsable de los trabajos por TRAGSATEC

El Director de los trabajos



Fdo: María Isabel Picazo Gálvez

Fdo: Nicolás Cifuentes y de la Cerra