

Investigación Ambiental

Ciencia y política pública

Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT • Volumen 4 • Número 2
Julio-diciembre de 2012 • Publicación semestral arbitrada • ISSN 2007-4492

Perspectivas y retos en el estudio del manejo de ecosistemas en paisajes rurales:
una síntesis

El efecto del cambio poblacional en el uso del suelo en paisajes rurales de México:
un análisis a nivel estatal

Restauración de campos agrícolas sin competir por el uso de la tierra para
aumentar su biodiversidad y servicios ecosistémicos

Manejo de bosques tropicales: bases científicas para la conservación, restauración
y aprovechamiento de ecosistemas en paisajes rurales

Efectos del cambio de uso del suelo en la biomasa y diversidad de plantas leñosas
en un paisaje de bosque tropical seco en Yucatán

Transformaciones de una selva seca por actividades humanas en el paisaje rural de
Baja California Sur, México

Dinámica de un paisaje complejo en la costa de Veracruz

Restauración de campos agrícolas sin competir por el uso de la tierra para aumentar su biodiversidad y servicios ecosistémicos

José M. Rey Benayas

Resumen

La restauración ecológica es capaz de aumentar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en los agro-sistemas con el objetivo de contrarrestar los impactos ambientales negativos de la expansión y de la intensificación agrícola. Una forma de conseguir este aumento es mediante acciones de restauración o creación estratégica de elementos clave que benefician a especies silvestres y a servicios ecosistémicos particulares sin competir por el uso de la tierra, a la vez que benefician a los cultivos. Algunas de estas acciones son la introducción de setos, charcas y cajas-nido para depredadores de roedores. La implementación de estas acciones de forma generalizada en el mundo contribuiría de forma importante a conciliar la producción agrícola y la conservación de la biodiversidad.

Palabras clave

Agricultura ambientalmente amiga, depredadores de plagas, humedales, setos.

Abstract

Ecological restoration is capable of enhancing biodiversity and ecosystem services in agro-systems to counteract the negative impacts related to agricultural spread and intensification. An approach to get such enhancement is by means of restoring or creating target elements to benefit wildlife and particular services without competition for land use, including agricultural production. Introduction of hedge rows, ponds, and nest boxes for rodent predators are examples of such actions. Wide implementation of these actions is critical to conciliate agricultural production and biodiversity conservation.

Keywords

Ecological restoration, hedgerows, plague predators, wetlands.

Departamento de Ecología, Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares, España
Tel: +34 91 885 4987, Fax: +34 91 885 4929, Correo-e: josem.rey@uah.es

AGRICULTURA, BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Recientemente se han publicado varias descripciones cuantitativas a escala global de la degradación de los ecosistemas, la cual supone una merma de su biodiversidad y funciones que implica una reducción de los bienes

y servicios que prestan a la humanidad y de los cuales dependen nuestro bienestar (MEA 2005, Butchart *et al.* 2010, Pereira *et al.* 2010a, WWF 2010). Las actividades agrícolas son las principales causantes de esta degradación ambiental, bien sea de forma directa o indirecta (Kiers *et al.* 2008; recuadro 1). Así, Ellis y Ramankutty (2008), en su clasificación antropogénica de los biomas

del mundo, distinguen 21 tipos principales de biomas de los cuales 14 tienen un claro uso agrícola y/o ganadero. Es previsible que la degradación de los ecosistemas en el mundo aumente en el futuro (Hockley *et al.* 2008), particularmente la causada por la expansión y la intensificación de la agricultura debido al incremento de la demanda de la sociedad de productos agrícolas (Kiers *et al.* 2008). En consecuencia, conciliar el mantenimiento o el aumento de los servicios de producción agrícola con el mantenimiento o el aumento de la biodiversidad y de otros servicios ecosistémicos de soporte, provisión, regulación y culturales es un reto para la humanidad.

RECUADRO 1

Evidencias del impacto ambiental negativo de la agricultura a escala global

- En la actualidad, la tierra cultivada y los pastizales representan casi el 50% de la superficie terrestre, siendo esta extensión en detrimento de la cubierta vegetal natural, sobre todo de bosques y praderas (Foley *et al.* 2005).
- La huella ecológica debida a los cultivos y al pastoreo supusieron el 24% y el 7%, respectivamente, de la huella ecológica global total en 2007 (WWF 2010).
- Representa aproximadamente el 12% del total de las emisiones directas de origen antrópico de gases de efecto invernadero (IPCC 2007).
- La agricultura es la principal consumidora de agua en el mundo; casi el 80% de la población humana está expuesta a niveles elevados de amenaza de seguridad del agua y los hábitats asociados con el 65% de la descarga continental están clasificados con un nivel de amenaza de moderado a elevado (Vorosmarty *et al.* 2010).
- El avance de la frontera agropecuaria es la principal causa de deforestación global, la cual ha tenido lugar a una tasa de 13 millones de ha anuales en los últimos diez años (FAO 2011).
- La agricultura es la principal amenaza para muchos grupos de especies, por ejemplo las aves (BirdLife International 2008).

En contraste con estas perspectivas negativas, los agro-sistemas no sólo han asegurado nuestra provisión de alimentos y fibras sino que, frecuentemente, son percibidos en términos positivos desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad y del paisaje. Ello es debido a que, entre otros motivos, crean paisajes en mosaico con una elevada heterogeneidad ambiental (Dornelas *et al.* 2009), son el hábitat de comunidades singulares y especies raras o amenazadas con valor de conservación (Kleijn *et al.* 2006) y poseen una amplia gama de valores culturales, por ejemplo estéticos (Lindemann-Matthies *et al.* 2010).

En este artículo proporcionaré un esquema de las opciones que existen para aumentar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos mediante actuaciones de restauración implementadas en agro-sistemas. Posteriormente, se explicará una opción concreta de las mismas, la cual consiste en la restauración o creación estratégica de elementos clave que benefician a especies silvestres y a servicios ecosistémicos particulares sin competir por el uso de la tierra, y algunas actuaciones operativas en torno a ella. En mis clases, conferencias y algunos artículos me refiero a esta forma de restauración/creación como la “manicura” de los campos agrícolas, no tanto por el significado literal de esta palabra (“Operación que consiste en el cuidado, pintura y embellecimiento de las uñas”, según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española), sino por el significado implícito del cuidado de detalles muy pequeños en vastas extensiones agrícolas. Además, presentaré tres estudios de caso de proyectos ejecutados en España para documentar esta “manicura” de los campos agrícolas, los cuales tienen que ver con la plantación de setos o cercas vivas, la instalación de cajas nido para potenciar aves depredadoras de roedores y la creación de humedales pequeños. Finalmente, se harán algunas reflexiones sobre la implementación de estas opciones en el mundo real, más allá de la investigación y de los proyectos piloto o de demostración.

Restauración ecológica en los paisajes agrícolas

La restauración ecológica tiene como objetivo recuperar las características de un ecosistema, como son su biodiversidad y funciones, que ha sido degradado o destruido, generalmente como resultado de las actividades humanas (SERI 2004). Las acciones de restauración se están implementando cada vez más como respuesta a la crisis global de la biodiversidad y son apoyadas por acuerdos internacionales tales como el Convenio para la Diversi-

dad Biológica (CBD; Sutherland *et al.* 2009). Uno de los objetivos del nuevo plan estratégico del CBD para el año 2020, que fue acordado en la Conferencia de Nagoya celebrada en 2010, es restaurar al menos el 15% de los ecosistemas degradados del mundo (Normile 2010). Estas iniciativas políticas internacionales son indudablemente necesarias e interesantes pero, como en otros muchos ejemplos, existen dificultades en trasladarlas de forma operativa a la escala local. Por ejemplo, surgen interrogantes en torno a nuestra habilidad para manejar y restaurar ecosistemas que proporcionan múltiples servicios y biodiversidad, como es el caso de los agro-sistemas (Rey Benayas *et al.* 2009).

La restauración ecológica supone una oportunidad para contrarrestar los impactos ambientales negativos de la expansión y de la intensificación agrícola. En un trabajo reciente, Rey Benayas y Bullock (2012) han realizado una síntesis de las aproximaciones o enfoques y tipos de opción que existen para revertir estos impactos, es decir, cómo aumentar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en los paisajes agrícolas. Algunas opciones tienen el potencial de aumentar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos incluyendo la producción agrícola, mientras que otras pueden aumentar la biodiversidad y servicios ecosistémicos diferentes a la producción agrícola.

Algunas discusiones recientes sobre el futuro de la agricultura han contrastado el (1) “ahorro de tierra” (*land sparing* en inglés) con (2) la “agricultura ambientalmente amigable” (*wildlife-friendly farming* en inglés). El primero aboga por una separación entre el terreno que se dedica a la agricultura y el que se dedica a la conservación de la biodiversidad, mientras que el segundo aboga por la mejora del ambiente agrícola para compatibilizar en el mismo espacio producción agrícola y mantenimiento de la biodiversidad (Fischer *et al.* 2008; Hodgson *et al.* 2010). El ahorro de tierra en el contexto agrícola implica la restauración o creación de hábitat no agrícola a expensas de la producción agrícola, especialmente bosques y matorrales, praderas naturales, humedales o prados húmedos en tierra arable (Rey Benayas y Bullock 2012). Persigue formas de biodiversidad y provisión de servicios ecosistémicos diferentes a los proporcionados por la agricultura, por ejemplo, el aumento de especies forestales y del secuestro de carbono en la biomasa de los árboles y arbustos (Rey Benayas *et al.* 2010). La agricultura ambientalmente amigable ofrece las cinco opciones explicadas en el recuadro 2. Estas opciones no se excluyen unas de otras, es decir, dos o más de ellas

RECUADRO 2

Tipos de intervención relacionadas con la agricultura ambientalmente amigable según Rey Benayas y Bullock (2012).

- Adopción de prácticas agrícolas basadas en el manejo de la biodiversidad.
- Aplicación de las lecciones aprendidas de las prácticas agrícolas tradicionales.
- Transformación de la agricultura convencional en agricultura orgánica.
- Transformación de cultivos y pastizales simples en sistemas agroforestales.
- Restauración o creación de elementos clave para beneficiar la biodiversidad y servicios ecosistémicos particulares sin competir por el uso de la tierra, la “manicura” de los campos agrícolas.

pueden coexistir en el mismo campo agrícola, cosa que frecuentemente ocurre en la práctica.

RESTAURACIÓN Y CREACIÓN DE ELEMENTOS EN LOS CAMPOS AGRÍCOLAS SIN COMPETIR POR EL USO DE LA TIERRA

Este tipo de agricultura ambientalmente amigable comprende acciones muy específicas y dirigidas a beneficiar la flora y fauna silvestre y servicios ecosistémicos particulares. “Renaturalizan” (*rewild* en inglés) los paisajes agrícolas y frecuentemente están acompañadas de una variedad de beneficios sociales. La característica más relevante de estas acciones es que ocupan una fracción insignificante de la superficie de los campos agrícolas donde se ejecutan, lo que significa que apenas compiten por el uso de la tierra (recuadro 3). Una idea clave es que, lejos de mermar la producción agrícola en los campos donde se implementan, ésta puede aumentar gracias a los procesos ecológicos o servicios ecosistémicos asociados a la biodiversidad que promueven (Bullock *et al.* 2007). Algunos ejemplos característicos son la polinización de los cultivos (Carvalho *et al.* 2010), la regulación de plagas agrícolas basada en el control biológico de los enemigos naturales de las mismas (Tschantke *et al.* 2005), la mitigación de la

erosión del suelo (He *et al.* 2007) y el aumento de la producción cinegética (Baundry *et al.* 2000), entre otros muchos.

Todas estas acciones tendrán, generalmente, efectos en la biodiversidad y en los servicios ecosistémicos a distintas escalas dependiendo de qué cantidad de tierra es ocupada por las mismas. De nuevo, debemos enfatizar que la mayor parte de estas acciones no son excluyentes entre sí, pudiendo ser implementadas todas o la mayor parte de ellas en un campo agrícola particular.

ESTUDIOS DE CASO EN ESPAÑA

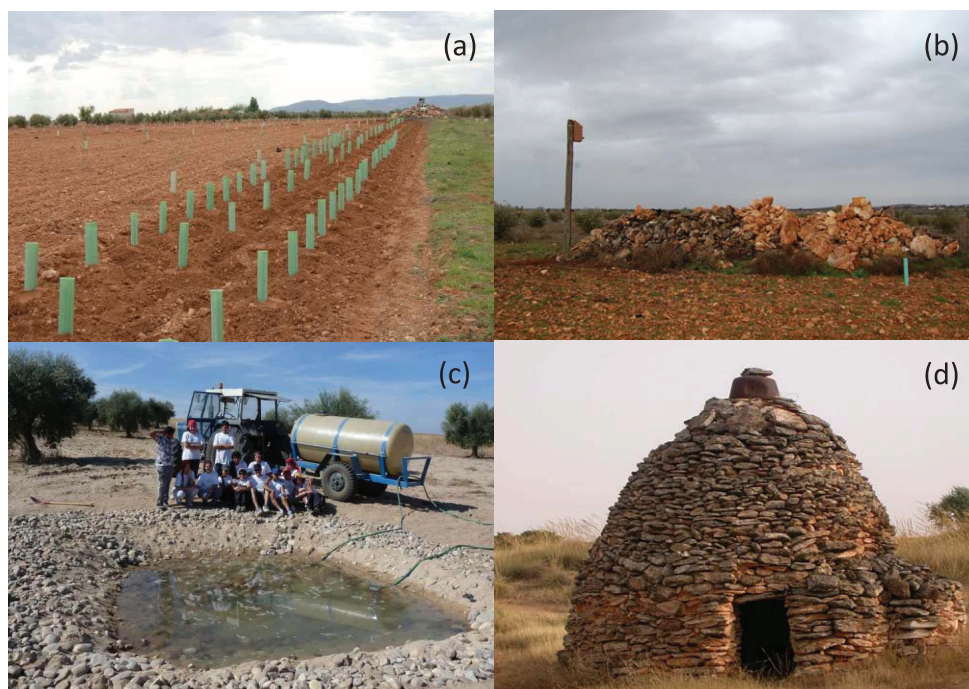
Plantación de setos

La revegetación es, en general, la herramienta más utilizada para la restauración de los ecosistemas terrestres (Rey Benayas *et al.* 2009). Las lindes, bordes de camino y ribazos, elementos lineales muy abundantes en la inmensa mayoría de los paisajes agrícolas del mundo, ofrecen una magnífica oportunidad para la revegetación sin competir prácticamente nada por el uso

agrícola del territorio (figura 1a). Más allá de la teoría ecológica, existen múltiples evidencias científicas y empíricas, desafortunadamente una buena parte de ellas publicadas en la denominada “literatura gris”, que documentan los beneficios asociados a los setos o cercas vivas (Baundry *et al.* 2000, Shibu 2009; Recuadro 4). Éstos coinciden, en gran medida, con los de los islotes forestales en mares agrícolas descritos por Rey Benayas *et al.* (2008). Además de los beneficios señalados en el recuadro 4, los setos también pueden producir efectos no deseables, tales como ser refugio de plagas agrícolas como los conejos y de malezas y, de forma general, pueden presentar todos los inconvenientes de los hábitat insulares pequeños (Rey Benayas *et al.* 2008).

La Fundación Internacional para la Restauración de los Ecosistemas (FIRE, www.fundacionfire.org) desarrolla, desde el año 2009, el proyecto denominado “Islotes y costas en mares agrícolas – Campos de Vida”, cuyo fin principal es establecer proyectos de demostración de revegetación de campos agrícolas sin competir por el uso de la tierra. Este proyecto fue inspirado y es el resultado

Figura 1. Ejemplos de acciones de restauración y creación de elementos en campos agrícolas de La Mancha (España) sin competir por el uso de la tierra. (a) Seto o cerca viva recién plantado en un nuevo olivar. (b) Montón de piedras o majano y poste con caja nido para cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*). (c) Charca creada por un grupo de voluntarios. (d) Chozo o bombo de piedra, construido y utilizado antiguamente por los pastores de rebaños. © Fundación Internacional para la Restauración de los Ecosistemas.



RECUADRO 3**Ejemplos de acciones de restauración y creación de elementos en los campos agrícolas sin competir por el uso de la tierra**

- Revegetación estratégica de lindes, bordes de camino y ribazos para crear setos o cercas vivas (Pereira y Rodríguez 2010b; figura 1a; véase un estudio de caso más adelante).
- Introducción de pequeñas plantaciones de árboles o arbustos, preferentemente en las esquinas de las propiedades, para crear islotes de hábitat forestal en mares agrícolas (Rey Benayas *et al.* 2008).
- Plantación de árboles aislados con el fin de aprovechar sus desproporcionados efectos positivos para la conservación de la biodiversidad (aves, murciélagos, insectos, etc.) y el potencial de la dispersión de semillas (Fischer *et al.* 2010).
- Creación de áreas favorables para los polinizadores mediante plantaciones de enriquecimiento florístico (Carvalho *et al.* 2010).
- Introducción de carballones o domos (*beetle banks* en inglés), muros de piedra, majanos o montones de piedras y otros refugios estratégicos para la fauna (MacLeod *et al.* 2004; figura 1b).
- Introducción de perchas y cajas-nido para aves y murciélagos (Serra 2011; figura 1b; véase un estudio de caso más adelante).
- Creación o restauración de pequeños humedales y otros puntos de agua tales como charcas y abrevaderos (Moreno-Mateos *et al.* 2010; figura 1c; véase un estudio de caso más adelante).
- Restauración de construcciones de arquitectura rural para recuperar y valorizar servicios culturales (figura 1d).

de la aplicación de los conocimientos adquiridos mediante la investigación científica y técnica desde 1992 (Rey Benayas *et al.* 2008).

Hasta la fecha, se han establecido proyectos de demostración en siete campos agrícolas de cereal y olivar, revegetándose más de 2,500 m lineales de bordes de camino y lindes y creando varios islotes forestales,

RECUADRO 4**Beneficios más relevantes de los setos o cercas vivas**

- Aumento de la biodiversidad, tanto *in situ* como a escala de paisaje, por las especies de plantas introducidas y por todas las especies que colonizan estos hábitat; son islas y reservorios de biodiversidad en los paisajes agrícolas.
- Exportación de semillas y otros propágulos, tanto de plantas como de animales, a los campos agrícolas abandonados próximos, acelerando la restauración pasiva de los mismos.
- Mitigación de la erosión eólica e hídrica por su efecto cortavientos o pantalla y limitación de la escorrentía, evitando la pérdida de suelo y nutrientes en los cultivos.
- Enriquecimiento de materia orgánica y de nutrientes del suelo.
- Reducción de la cantidad y tamaño de las partículas arrastradas por el viento hacia los cultivos y, en consecuencia, disminución de los efectos de abrasión de las mismas.
- Atracción y hábitat de polinizadores y enemigos naturales de plagas de los cultivos.
- Aumento de la producción cinegética, un recurso importante en el mundo rural, debido a la mejora del hábitat de muchas especies como la perdiz roja (*Alectoris rufa*).
- Aumento de la diversidad y la conectividad a escala de paisaje, debido a que crean heterogeneidad y funcionan como corredores biológicos.
- Aumento de la belleza escénica.
- En síntesis, un aumento del valor de los campos y paisajes agrícolas, incluyendo el componente financiero por el valor monetario de muchos de los bienes y servicios explicados anteriormente.

que ha supuesto el trasplante de más de 5,400 plántones de 22 especies arbóreas y arbustivas nativas en las provincias de Toledo, Ciudad Real y Córdoba (España). Con el objetivo de proporcionar a estos proyectos un mayor rendimiento social, una gran parte de las actuaciones se realizan con jóvenes voluntarios procedentes, sobre todo, de los colegios e institutos de las localidades

donde se ejecutan, como una herramienta de educación y sensibilización ambiental. Además, existe una labor continuada de trabajo con los usuarios de las fincas, sobre todo agricultores y cazadores y sus organizaciones, que incluye conversaciones, charlas y conferencias, difusión de carteles y folletos informativos, entre otros.

La experiencia nos ha enseñado que los agricultores son, en general, reticentes a ejecutar estas actuaciones por dos motivos principales: (1) desconocimiento de los beneficios reales que puedan suponer para la producción agrícola y (2) la inercia de una apreciación estética que considera que los campos agrícolas deben estar "limpios", es decir, sin elementos diferentes al cultivo practicado. Por otro lado, nuestros proyectos son muy bien valorados por los cazadores, ya que favorecen a las poblaciones de especies tales como la perdiz roja, lo que supone un aumento directo de la producción cinegética y de los beneficios económicos asociados.

Control de plagas de roedores mediante sus depredadores

El Grupo para la Recuperación de la Fauna Autóctona y su Hábitat (GREFA, <http://www.grefa.org/>) está ejecutando un proyecto cuyo fin es el control de plagas agrícolas de roedores mediante la potenciación de sus depredadores, en particular de aves rapaces de pequeño y mediano tamaño, lo que se consigue fundamentalmente aumentando su sustrato de nidificación (Serra 2011). Constituye un excelente ejemplo de acción de restauración que favorece a especies de fauna con valor de conservación (las aves rapaces), beneficia a los cultivos y tiene un impacto nulo sobre el área cultivada. Este proyecto fue motivado por las explosiones demográficas periódicas del topillo campesino (*Microtus arvalis*) que ocurren en amplias localidades de Castilla y León y que producen un gran daño a los cultivos de cereales y alfalfa, principalmente. La última plaga, que ocurrió en 2007, tuvo una gran repercusión mediática y causó una importante alarma social. Ello provocó que las autoridades la atacaran con venenos rodenticidas que produjeron un daño severo por envenenamiento de la fauna silvestre (por ejemplo, a especies amenazadas como el milano real *Milvus milvus*) y cinegéticas (palomas y liebres, entre otras especies).

El cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*) y la lechuza común (*Tyto alba*) son depredadores de roedores, en

particular del topillo campesino, que presentan poblaciones en declive en Europa por varias razones. Una de estas razones es que en los paisajes agrícolas han desaparecido multitud de sitios apropiados para su nidificación, como son los árboles grandes y los pajares o cobertizos. Así, la hipótesis de partida de este proyecto es que el aumento del sustrato de nidificación incrementará la abundancia de estas dos aves rapaces hasta situarlas próximas a su capacidad de carga y, en consecuencia, también se incrementará su depredación sobre los topillos campesinos, lo que contribuirá a mitigar sus explosiones demográficas.

Para conseguir este objetivo, se han introducido postes con cajas nido similares a las de la figura 1b, a razón de una caja nido por especie cada 10 ha, en tres áreas de estudio con una superficie de 2000 ha cada una de ellas. Estas cajas nido están siendo progresivamente ocupadas, habiéndose alcanzado tasas de ocupación de alrededor del 33% y del 7% para el cernícalo y la lechuza, respectivamente, al final del segundo año del proyecto (Serra 2011). Teniendo en cuenta los promedios de la tasa de consumo de una pareja adulta de estas aves, el peso de los roedores que son sus presas, el reclutamiento o número de juveniles que producen las parejas nidificantes y la tasa de consumo de los pollos y juveniles, calculamos que en un área de 2000 ha serán consumidos directamente 46,250 kg de roedores al año en un escenario de ocupación completa de las cajas nido. Debe tenerse en cuenta también que estos roedores consumidos no producirán nueva descendencia. Además, se ha comprobado que los postes que sujetan las cajas nido, de unos 4 m de altura, son utilizados como atalayas para cazar por otras especies de rapaces como el ratonero común (*Buteo buteo*), contribuyendo así al efecto regulador de las poblaciones de roedores (Alfonso Paz, comunicación personal).

Además, en este proyecto, se han ejecutado actuaciones de revegetación de lindes y bordes de camino para favorecer a otros depredadores naturales de los topillos, como son la comadreja (*Mustela nivalis*) y varias especies de culebras. Sin embargo, estas actuaciones de revegetación no han sido aceptadas socialmente y, en consecuencia, han sido destruidas en su mayoría. Finalmente, cabe resaltar que las aves rapaces facilitadas perjudican a otras especies, como son los casos de la perdiz roja porque depredan sus pollos y de la alondra común (*Alauda arvensis*), un ave esteparia con interés en conservación, porque la ahuyenta (Alfonso Paz, comunicación personal).

Creación de pequeños humedales

La intensificación, en particular la mecanización de las actividades agrícolas, ha provocado la paulatina desaparición de muchos sistemas de humedales en los paisajes agrícolas, sobre todo de los de menor tamaño, como son las charcas. Así, una pequeña laguna o charca que era considerada un terreno improductivo y de difícil laboreo, era generalmente respetada por la roturación practicada con bueyes y mulas, pero no por la de tractores dotados de una fuerza mucho mayor. En el polo opuesto, la puesta en regadío de cada vez más campos agrícolas permite la restauración o creación de distintos tipos de humedales, lo que constituye un ejemplo de cómo utilizar las oportunidades que brinda la intensificación de la agricultura para mitigar o compensar sus efectos negativos en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Los humedales y charcas restaurados o creados en los paisajes agrícolas, aun cuando sean de un tamaño muy pequeño como el ejemplo mostrado en la figura 1C, producen bienes y servicios ecosistémicos relacionados con procesos hidrológicos y microclimáticos, por ejemplo, la recarga de los acuíferos y la regulación de la humedad relativa o del albedo. Otros bienes y servicios coinciden con los explicados para los setos, como son el aumento de la biodiversidad de plantas y animales *in situ* y a escala del paisaje, el aumento de la producción cinegética, el ser hábitat de enemigos naturales de plagas de cultivos (por ejemplo, los sapos son grandes consumidores de gusanos y moluscos nocivos), el aumento de la diversidad y la conectividad del paisaje y el aumento de la belleza escénica, entre otros. El aumento de la conectividad a escala de paisaje se refiere a los hábitat acuáticos, ya que se refuerzan las posibilidades de dispersión y colonización y la estructura de las metapoblaciones de especies tales como los anfibios, que necesitan puntos de agua para su reproducción (Reques *et al.* 2008).

Moreno-Mateos y sus colaboradores (2009, 2010) han investigado la función de humedales pequeños de origen antrópico, de entre 50 y 5,000 m² de superficie cada uno de ellos, ubicados en el paisaje agrícola del desierto de Los Monegros, un área árida localizada en Aragón donde se ha expandido la agricultura de regadío. Estos humedales artificiales se inundan con los efluentes del agua de los regadíos que llegan a ellos por la esorrentía, y que está muy cargada de nutrientes. Tras un seguimiento de tres años hidrológicos completos y consecutivos, Moreno-Mateos *et al.* (2010) concluyeron que estos humedales mejoraron mucho la calidad del

agua tras pasar por ellos por su capacidad de retener los nutrientes al incorporarlos a la biomasa de la vegetación que los colonizó espontáneamente. Así, las tasas de retención del NO₃-N fueron de hasta el 99% en los humedales más grandes (un promedio de 500 gNm⁻² anuales para una concentración en el agua de entrada de unos 20 mg l⁻¹). También calcularon que, a las tasas de retención del NO₃-N observadas al final del experimento (76-227 gm⁻² anuales), aproximadamente el 1.5-4% de la cuenca debería ser transformado en humedal para optimizar la eliminación de este nutriente. Del mismo modo, Moreno-Mateos *et al.* (2009) han demostrado que los humedales construidos, o los formados espontáneamente por el agua del riego, incrementan la diversidad de las comunidades de aves, y que el manejo de la vegetación de los mismos siguiendo unas pautas sencillas podría optimizar su papel en la conservación de estas especies.

Al igual que en los casos de los setos y del control de roedores mediante depredadores, la creación de pequeños humedales puede implicar una serie de efectos no deseados, más allá de los costes relativamente elevados de la propia actuación. Uno de ellos es que dificultan las operaciones de la maquinaria agrícola en los campos, aunque éste se puede soslayar fácilmente. Otro es la proliferación de insectos como avispas y mosquitos que pueden resultar molestos para los humanos, si bien es cierto que las primeras tienen un importante papel en la regulación de plagas agrícolas.

LA RESTAURACIÓN DE LOS CAMPOS AGRÍCOLAS EN EL MUNDO REAL

El desarrollo de una relación más mutualista entre las ciencias de la ecología de la restauración y la agro-ecología y la práctica de la restauración ecológica y la agricultura de conservación ha sido un objetivo central pero frecuentemente elusivo (Cabin *et al.* 2010). Si bien es cierto que se necesita más investigación para producir socio-ecosistemas más sostenibles (Turner 2010), lo que se necesita de verdad es más acción y soluciones para un mundo cultivado *sensu* Foley *et al.* (2011). Por ello, deben implementarse actuaciones de restauración en los territorios agrícolas para revertir los indicadores negativos relacionados con la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en el mundo (Bullock *et al.* 2011). Los requerimientos institucionales y de gobernanza son fundamentales para implementar con éxito productos de planificación relacionados con la conservación, incluidos

los proyectos de restauración ecológica en los campos agrícolas (Lombard *et al.* 2010).

La adopción de prácticas agrícolas ambientalmente amigables, particularmente las acciones de restauración/creación explicadas en este artículo, no se basa solamente en los bienes y servicios que el conjunto de la sociedad obtiene de las funciones de los agro-sistemas, ya que los productores individuales son en última instancia los agentes que deciden qué cantidad de capital natural conservar y utilizar en función de sus propios objetivos y necesidades, incluyendo las condiciones sociales, económicas (por ejemplo, mercados y políticas) y ambientales en las cuales operan (Jackson *et al.* 2007). Un problema crítico es que, con frecuencia, los mercados y las políticas no están alineados apropiadamente con los beneficios que la sociedad recibe de la agricultura ambientalmente amigable.

El sostenimiento financiero, la educación para promover la sensibilización pública y la capacitación son puntos clave para extender la restauración de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en los campos agrícolas. Los propietarios de la tierra deben ser explícitamente recompensados por las acciones de restauración ecológica que practiquen, entre ellas las que no implican competencia por el uso de la tierra, en una época en que la sociedad demanda de las tierras agrícolas mucho más que la producción de alimentos, fibras y combustibles (Klimek *et al.* 2008). A nivel particular, esta recompensa existe si sus productos “ambientalmente sostenibles” alcanzan un mayor valor financiero en el mercado o si suponen un ahorro significativo de los costes de producción, por ejemplo, por el ahorro de fertilizantes y pesticidas. Para recompensar los beneficios que el conjunto de la sociedad recibe de estos productos, deben extenderse ampliamente esquemas de (1) deducción fiscal a los productores que implementen acciones de restauración ecológica en sus propiedades y a las donaciones dirigidas a ONGs que ejecuten estas acciones, (2) pago por servicios ambientales y (3) medidas de financiación directa relacionadas con la restauración ecológica. Estos mecanismos de soporte financiero son muy variables en los distintos países del mundo. En Europa, por ejemplo, las ayudas a las medidas agroambientales de la Política Agraria Común pueden ser consideradas una forma indirecta de pago por servicios ambientales.

Del mismo modo, es necesario implementar acciones de educación a diferentes niveles para promover la

concienciación pública sobre la necesidad de conservar o restaurar unos ecosistemas saludables, entre ellos los agro-sistemas, para que continúen proporcionando sus bienes y servicios. Considero de particular importancia que estas acciones de educación se dirijan a los productores agrícolas. Además, estos productores deben tener la oportunidad de recibir formación y capacitación para la restauración ecológica de los agro-sistemas ya que, en última instancia, son los que poseen y/o trabajan la tierra y viven directamente de ella y, con frecuencia, tienen una elevada inercia cultural y poca flexibilidad para adoptar cambios. Finalmente, esta capacitación debe ser un tema central en los grados y posgrados relacionados con la agronomía (Gewin 2010).

CONCLUSIÓN

Aunque la agricultura es la principal causa de impactos ambientales negativos de origen antrópico, existen numerosas oportunidades para aumentar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en los paisajes agrícolas por medio de acciones de restauración ecológica. Entre estas acciones, las explicadas en este artículo tienen el valor añadido de no competir por el uso agrícola del territorio. Además, estas acciones frecuentemente aumentan la producción agrícola al favorecer servicios tales como el control de plagas y de la erosión, la polinización y la regulación del agua y los nutrientes, principalmente. Más allá de la investigación científica y técnica, urge extender las acciones de restauración ecológica en los agrosistemas para mitigar la degradación ambiental sin precedentes que existe en la actualidad. Estas acciones necesitan apoyo institucional y políticas *ad-hoc*, y deben basarse en el reconocimiento explícito —también financiero— de los propietarios de los campos agrícolas, la educación para la concienciación pública y la capacitación de los productores y gestores agrarios.

AGRADECIMIENTOS

Los proyectos CGL2010-18312 (Ministerio Español de Ciencia e Innovación) y S2009AMB-1783 (Red REMEDINAL-2 de la Comunidad de Madrid) financian actualmente estas investigaciones. El autor agradece los comentarios de dos revisores anónimos y el apoyo de la Red de Ecosistemas de CONACYT para financiar el simposio “Manejo de Ecosistemas en Paisajes Rurales” del cual el presente trabajo formó parte.

BIBLIOGRAFÍA

- Baundry, J., R. G. H. Bunce y F. Burel. 2000. Hedgerows: An international perspective on their origin, function and management. *Journal of Environmental Management* 60: 7-22.
- BirdLife International. 2008. State of the world's birds: indicators for our changing world. BirdLife International, Cambridge.
- Bullock, J. M., R.F. Pywell y K.J. Walker. 2007. Long-term enhancement of agricultural production by restoration of biodiversity. *Journal of Applied Ecology* 44: 6-12.
- Bullock, J.M., J. Aronson, A. C. Newton AC, R. F. Pywell y J. M. Rey-Benayas. 2011. Restoration of ecosystem services and biodiversity: conflicts and opportunities. *Trends in Ecology and Evolution* (en prensa; doi:10.1016/j.tree.2011.06.011).
- Butchart, S. H. M. y colaboradores (45 autores). 2010. Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science* 328: 1164-1168.
- Cabin, R. J., A. Clewell, M. Ingram, T. McDonald y V. Temperton V. 2010. Bridging restoration science and practice: results and analysis of a survey from the 2009 society for ecological restoration international meeting. *Restoration Ecology* 18: 783-788.
- Carvalho, L.G., C. L. Seymour, R. Veldtman y S. W. Nicolson SW. 2010. Pollination services decline with distance from natural habitat even in biodiversity-rich areas. *Journal of Applied Ecology* 47: 810-820.
- Dornelas, M., A. C. Moonen, A. E. Magurran y P. Barberi. 2009. Species abundance distributions reveal environmental heterogeneity in modified landscapes. *Journal of Applied Ecology* 46: 666-672.
- Ellis, E.C. y N. Ramankutty. 2008. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6: 439-447.
- FAO. 2011. State of the World's Forests 2011 [on line]. FAO, Rome (URL: <http://www.fao.org/docrep/013/i2000e/i2000e00.htm>).
- Fischer, J., B. Brosi, G. C. Daily, P. R. Ehrlich, R. Goldman, J. Goldstein, D. B. Lindenmayer, A. D. Manning, H. A. Mooney, L. Pejchar, J. Ranganathan y H. Tallis. 2008. Should agricultural policies encourage land sparing or wildlife-friendly farming? *Frontiers in Ecology and the Environment* 6: 382-387.
- Fischer, J., J. Stott y B. S. Law. 2010. The disproportionate value of scattered trees. *Biological Conservation* 143: 1564-1567.
- Foley, J. A. y colaboradores (19 autores). 2005. Global consequences of land use. *Science* 309: 570-574.
- Foley, J. A. y colaboradores (21 autores). 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337-342.
- Gewin, V. 2010. Cultivating new talent. *Nature* 464: 128-130.
- He, X. B., Y. B. Xu y X. B. Zhang. 2007. Traditional farming system for soil conservation on slope farmland in southwestern China. *Soil Tillage Research* 94: 193-200.
- Hockley, N. J., J. P. G. Jones y J. Gibbons J. 2008. Technological progress must accelerate to reduce ecological footprint overshoot. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6: 122-123.
- Hodgson, J. A, W. E. Kunin, C. D. Thomas, T. G. Benton y D. Gabriel. 2010. Comparing organic farming and land sparing: optimizing yield and butterfly populations at a landscape scale. *Ecology Letters* 13: 1358-1367.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007. Synthesis Report. IPCC, Geneva [on line]. (URL: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm).
- Jackson, L. E., U. Pascual U y T. Hodgkin. 2007. Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and the Environment* 121: 196-210.
- Kiers, E.T., R. R. B. Leakey, A. M. Izac, J. A. Heinemann, E. Rosenthal, D. Nathan y J. Jiggins. 2008. Ecology - Agriculture at a crossroads. *Science* 320: 320-321.
- Kleijn, D. y colaboradores (18 autores). 2006. Mixed biodiversity benefits of agro-environment schemes in five European countries. *Ecology Letters* 9: 243-254.
- Klimek, S., A. R. Kemmermann, H. H. Steinmann, J. Freese y J. Isselstein. 2008. Rewarding farmers for delivering vascular plant diversity in managed grasslands: A transdisciplinary case-study approach. *Biological Conservation* 141: 2,888-2,897.
- Lindemann-Matthies, P., X. Jung y D. Matthie D. 2010. The influence of plant diversity on people's perception and aesthetic appreciation of grassland vegetation. *Biological Conservation* 143: 195-202.
- Lombard, A. T, R. M. Cowling, J. H. J. Vlok y C. Fabricius. 2010. Designing conservation corridors in production landscapes: assessment methods, implementation issues, and lessons learned. *Ecology and Society* 15: 7-7.
- MacLeod, A., S. D. Wratten, N. W. Sotherton NW y M. B. Thomas. 2004. 'Beetle banks' as refuges for beneficial arthropods in farmland: long-term changes in predator communities and habitat. *Agriculture and Forest Entomology* 6: 147-154.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and Human-Well Being*. Island Press, New York.
- Moreno-Mateos, D., C. Pedrocchi y F. A. Comin. 2009. Avian communities' preferences in recently created agricultural we-

- tlands in irrigated landscapes of semi-arid areas. *Biodiversity and Conservation* 18: 811-828.
- Moreno-Mateos, D., C. Pedrocchi, y F. A. Comín. 2010. Effects of wetland construction on water quality in a semi-arid catchment degraded by intensive agricultural use. *Ecological Engineering* 36: 631-639.
- Normile D. 2010. U.N. Biodiversity Summit yields welcome and unexpected progress. *Science* 330: 742-743.
- Pereira, H.M. y colaboradores (23 autores). 2010a. Scenarios for global biodiversity in the 21st century. *Science* 330: 1496-1501.
- Pereira, M. y A. Rodríguez. 2010b. Conservation value of linear woody remnants for two forest carnivores in a Mediterranean agricultural landscape. *Journal of Applied Ecology* 47: 611-620.
- Reques, R. y M. Tejedo. 2008. Crear charcas para anfibios: una herramienta eficaz de conservación. *Quercus* 273: 14-20.
- Rey Benayas, J. M., J. M. Bullock y A. C. Newton. 2008. Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6: 329-336.
- Rey Benayas, J. M., A. C. Newton, A. Diaz y J. M. Bullock. 2009. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science* 325: 1121-1124.
- Rey Benayas, J. M., I. Galván y L. M. Carrascal. 2010. Differential effects of vegetation restoration in Mediterranean abandoned cropland by secondary succession and pine plantations on bird assemblages. *Forest Ecology and Management* 260: 87-95.
- Rey Benayas, J. M. y J. M. Bullock. 2012. Restoration of biodiversity and ecosystem services on agricultural land. *Ecosystems* 15: 883-889.
- Serra, R. 2011. Cernícalos y lechuzas, los mejores rodenticidas. *Quercus* 304: 50-53.
- SERI (Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group). 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration [on line]. Society for Ecological Restoration International (URL: http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp).
- Shibu, J. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 76: 1-10.
- Sutherland, W. J. y colaboradores (44 autores). 2009. One hundred questions of importance to the conservation of global biological diversity. *Conservation Biology* 23: 557-567.
- Turner, MG. 2010. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology* 91: 2833-49.
- Tscharntke, T., A. M. Klein, A. Kruess, I. Steffan-Dewenter y C. Thies. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters* 8: 857-874.
- Vorosmarty, C.J., P. B. McIntyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden, S. E. Bunn, C. A. Sullivan, C. R. Liermann y P. M. Davies. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467: 555-561.
- WWF. 2010. Living Planet Report 2010. Biodiversity, biocapacity and development [on line]. WWF, Gland (URL: http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/).