

¿QUÉ PODEMOS APRENDER DE UN ÁREA TAN SECULARMENTE ALTERADA COMO EL VALLE DEL GUADALQUIVIR?

Sofía V. Nora¹, Juan Pedro González-Varo²,
Rafael G. Albaladejo¹, Montserrat Vila² y Abelardo Aparicio¹.

¹Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Sevilla.

²Estación Biológica de Doñana, CSIC.

La alteración secular del fértil valle del Guadalquivir ha relegado a los bosques a un papel relicto en el paisaje. En la actualidad, la vegetación forestal natural o seminatural ocupa unas 20.000 ha, el 1% de su área potencial, integrada por una constelación de fragmentos (unos 500) con una conectividad entre ellos escasa y una calidad del hábitat y un grado de conservación notablemente bajos. En su mayor parte son formaciones de pino piñonero con encinas y/o alcornocques, de propiedad privada y están intensamente manejados para uso forestal, ganadero

o recreativo. No obstante, y de forma sorprendente, estos fragmentos suponen una auténtica reserva de diversidad vegetal: los estudios realizados en ellos han catalogado más de 1.000 especies botánicas, 39 de las cuales han resultado ser relevantes novedades corológicas y 70 están incluidas en la lista roja de especies amenazadas de Andalucía; incluso ha sido descrita una nueva especie para la ciencia: *Limonium silvestrei* Aparicio. El valle del Guadalquivir constituye así un excelente laboratorio natural para analizar las consecuencias que el desarrollo humano tiene sobre diversos componentes de la diversidad biológica, motivo por el que desarrollamos en él una línea de investigación que ilustramos a continuación.

MARCO TEÓRICO

La diversidad biológica comprende tres niveles esenciales: la diversidad genética (dentro y entre las



Pequeño fragmento de pinar de pino piñonero entre Dos Hermanas y Utrera (Sevilla), un área dedicada a la agricultura de forma intensiva. Este pinar tiene un matorral denso integrado por pocas especies entre las que predomina el lentisco [AA].

especies), la diversidad de especies y la diversidad de ecosistemas y sus interacciones. La Biología de la Conservación (o Conservación Biológica) como disciplina científica tiene el objetivo de salvaguardar esta diversidad tras analizar las consecuencias de las actividades humanas y desarrollar prácticas eficaces para prevenir la extinción y recuperar las especies y sistemas en peligro. La comunidad científica es la encargada de proporcionar los mejores datos y modelos para que la toma de decisiones por parte de los gestores sea justa y proporcionada, al tiempo que eficaz: "La investigación científica no es un lujo. Es la base de una buena conservación. No podemos conservar lo que no conocemos".

Por ello, la Biología de la Conservación ha sido uno de los campos científicos más florecientes de las últimas décadas y ha llegado a establecer que la desaparición y fragmentación de los hábitats originales constituye una de las mayores amenazas para la biodiversidad global del planeta. En efecto, la mayor parte de los trabajos empíricos confirman consecuencias negativas de la fragmentación debido a pérdida de diversidad taxonómica y genética a diversas escalas. La escasa calidad del hábitat en los fragmentos



La electroforesis es un método para mover sobre un gel distintos fragmentos de ADN (en este caso) a través de la corriente eléctrica y separarlos en función de su tamaño. Posteriormente se visualizan con luz ultravioleta y se analiza cuánto se han desplazado (RGA).

remanentes y el aislamiento de los mismos propician la incapacidad de numerosas especies para mantenerse en estas condiciones ambientales poco favorables, además de bloquear el flujo genético; sin olvidar la presión a que se ven sometidas numerosas interacciones interespecíficas.

DIVERSIDAD GENÉTICA

La pregunta central en Genética de Conservación es si las poblaciones fragmentadas mantienen, y hasta qué punto, conexión e intercambio (flujo) genético; si el flujo genético se bloquea las poblaciones pueden sufrir diversos problemas derivados de la endogamia. Pero responder a esta sencilla cuestión no es nada fácil metodológicamente. En primer lugar, no se puede trabajar con todas las especies que conviven en un ecosistema dado (hay que elegir especies de estudio) y, en segundo lugar, hay que trabajar con fragmentos del ADN no codificante, los denominados marcadores moleculares. Por tanto, para abordar cuestiones de este tipo nos vemos obligados a elegir especies representativas de distintas estrategias vitales y marcadores moleculares que sean altamente variables, que nos ilustren fielmente la cantidad y calidad del flujo genético actual y pretérito.

En general, la capacidad que muestran las especies de plantas para dispersar sus genes (vía polen o semillas) es elevada, pero ¿afecta la fragmentación por igual a todas las especies? Muchos investigadores han encontrado que aunque hay un efecto global negativo, la interacción entre las características vitales de las plantas y su entorno es muy compleja, y la respuesta de cada una de ellas a un mismo evento de fragmentación es casi imprevisible. Nosotros lo hemos comprobado analizando la respuesta de cuatro especies comunes de matorral mediterráneo, lentisco (*Pistacia lentiscus*), mirto (*Myrtus communis*), coscoja (*Quercus coccifera*) y jaguarzo morisco (*Cistus salvifolius*) con características funcionales diferentes (longevidad, sistema de dispersión del polen y

aislamiento de los mismos
 idad de numerosas especies para
 as condiciones ambientales poco
 de bloquear el flujo genético; sin
 que se ven sometidas numerosas
 específicas.

CA
 en Genética de Conservación es
 fragmentadas mantienen, y hasta
 n e intercambio (flujo) genético;
 e bloquea las poblaciones pueden
 temas derivados de la endogamia.
 sta sencilla cuestión no es nada
 mente. En primer lugar, no se
 todas las especies que conviven
 ado (hay que elegir especies de
 ndo lugar, hay que trabajar con
 no codificante, los denominados
 lares. Por tanto, para abordar
 tipo nos vemos obligados a elegir
 tivas de distintas estrategias
 moleculares que sean altamente
 lustren fielmente la cantidad y
 tico actual y pretérito.

dad que muestran las especies
 pensar sus genes (vía polen o
 , pero ¿afecta la fragmentación
 especies? Muchos investigadores
 aunque hay un efecto global
 ción entre las características
 y su entorno es muy compleja,
 a una de ellas a un mismo evento
 casi imprevisible. Nosotros lo
 nalizando la respuesta de cuatro
 e matorral mediterráneo, lentis-
 s), mirto (*Myrtus communis*),
 ifera) y jaguarzo morisco (*Cistus*
 características funcionales diferentes
 de dispersión del polen y

semillas y modo de reproducción). En estas especies
 hemos comprobado que los patrones actuales de
 diversidad y estructura genética son específicos para
 cada especie y no están determinados por los mismos
 factores ambientales ni presentes ni históricos.
 Esta idiosincrasia de los sistemas naturales, por
 desgracia, debilita las generalizaciones entre especies
 y ecosistemas diferentes, y pone de manifiesto que
 la elaboración y puesta en práctica de medidas de
 conservación y gestión genética es notablemente
 dependiente del contexto.

Otra cuestión interesante es conocer cómo se mueven
 los genes dentro y entre poblaciones fragmentadas.
 Para ello hemos estudiado el flujo polínico mediante
 el examen del perfil de microsatélites de embriones
 recolectados de plantas madre conocidas. Gracias a los
 análisis de paternidad y otras técnicas relacionadas,
 podemos asignar a cada embrión un padre potencial
 de entre una serie de candidatos y estimar el origen y
 diversidad de los apareamientos que han tenido éxito.
 En el caso del lentisco, en un paisaje fragmentado
 cerca de Utrera hemos encontrado que entre el 80-
 90% de las semillas muestreadas fueron fecundadas
 por polen proveniente de plantas masculinas ajenas
 al lugar de estudio, si bien sólo unos cuantos
 progenitores fueron los responsables de esas
 polinizaciones. Así pues, aunque en el lentisco la
 capacidad de dispersión de polen sea muy elevada, la
 existencia de un escaso número de plantas donadoras
 de polen puede suponer el empobrecimiento genético
 de las generaciones futuras en estos ambientes tan
 notablemente antropizados y fragmentados.

Similarmente, como medida de la capacidad que tiene
 una determinada especie para dispersar sus semillas
 de forma efectiva se puede calcular una tasa de
 migración entre fragmentos. Hemos llevado a cabo un
 estudio de este tipo en el mirto, revelando que en una
 determinada localidad cerca del 19% de los individuos
 muestreados tenían una probabilidad muy elevada de
 ser consecuencia de eventos de inmigración reciente.



Proceso de extracción de ADN de muestras vegetales. A partir de
 hojas frescas o secas, mediante un proceso de molienda y diversos
 pasos químicos y físicos (centrifugados) se obtiene el ADN diluido en
 agua (RGA).

Esta proporción es asombrosamente elevada y
 puede estar relacionada con una efectiva dispersión
 de los frutos, que en esta especie son ávidamente
 consumidos por gran variedad de aves frugívoras y
 pequeños mamíferos.

La genética paisajística nos permite por tanto valorar
 hasta qué punto el aislamiento es sólo aparente y las
 poblaciones continúan conectadas por el intercambio
 de genes a través de los granos de polen y/o de las
 semillas, es decir, hasta qué punto las poblaciones
 paisajísticas coinciden o no con las poblaciones
 genéticas.

DIVERSIDAD DE ESPECIES

En general, la existencia de un mayor número de
 especies vegetales en un ecosistema determinado
 se relaciona con un mejor estado de conservación, de
 forma que maximizarlo ha sido uno de los objetivos
 perseguidos en el diseño de numerosas estrategias de
 conservación y reforestación. Esa riqueza de especies
 depende en primer término de la superficie de terreno a
 conservar, pero también de otros aspectos relacionados
 con la capacidad de colonización y establecimiento de



Parcela de muestreo permanente para la identificación, cuantificación y seguimiento de las plántulas de diversas especies de estudio (JPGV).

las distintas especies, así como de sus características vitales [sistemas de reproducción, modo de dispersión, capacidad de germinación, etc.].

En particular, el modo de dispersión de las semillas es una característica fundamental para comprender y predecir el funcionamiento de la dinámica de las poblaciones. La dispersión a corta distancia está relacionada con el mantenimiento de las poblaciones y la dispersión a larga distancia es determinante de la capacidad de migración, de la colonización de nuevos hábitats y de la estructura genética espacial de las plantas adultas. Así, conocer la escala espacial a la que opera la dispersión efectiva es uno de los principales objetivos que se plantean en Biología de Conservación.

En este sentido, una cuestión crítica es si diferentes capacidades de dispersión se traducen en diferentes tasas de riqueza local de especies. La existencia de

adaptaciones morfológico-funcionales para la dispersión efectiva mediante animales o el viento (pulpa carnosa, alas, ganchos o pelos en los frutos o semillas) podría teóricamente causar que determinadas especies se viesen menos afectadas por la fragmentación del hábitat en comparación con otras carentes de tales adaptaciones.

En nuestros estudios hemos encontrado que, aunque la diversidad de especies sigue el patrón previsible de aumentar con el tamaño del fragmento y disminuir con la perturbación, existen otros factores en juego que pueden ser relevantes, como la distancia al bosque isla más próximo, las características climáticas y el tipo de sustrato. De esta manera, hemos comprobado que el número de especies con elevado potencial de dispersión a larga distancia (correspondiente con especies en estados tardíos de la sucesión vegetal y por tanto más exigentes con



de diversas especies de estudio (JPGV).

ológico-funcionales para la dispersión por animales o el viento (pulpas, ganchos o pelos en los frutos o semillas) que puede causar que determinadas especies sean más afectadas por la fragmentación en comparación con otras carentes de estos rasgos.

Como hemos encontrado que, aunque la riqueza de especies sigue el patrón previsible de aumento con el tamaño del fragmento y disminución con la distancia, existen otros factores en juego que son relevantes, como la distancia al borde del fragmento, las características del sustrato. De esta manera, se puede esperar que el número de especies con dispersión a larga distancia sea mayor en especies en estados tardíos de sucesión y por tanto más exigentes con

las condiciones ambientales) tiende a incrementarse en los parches más aislados situados en zonas con mayores precipitaciones y heterogeneidad litológica (correspondientes con las zonas elevadas de los márgenes del valle del Guadalquivir). Por su parte, el número de especies con dispersión a corta distancia (correspondiente con especies en estados tempranos de la sucesión) aumenta en las zonas secas y litológicamente menos complejas con cortas distancias entre parches. Nuestros resultados ponen de manifiesto la necesidad de tomar en consideración los sistemas de dispersión al analizar los patrones de riqueza de especies y demuestran que la diversidad de los distintos tipos de especies se favorecería manejando distintos factores. Por ejemplo, los efectos beneficiosos de aumentar el tamaño del parche y reducir la perturbación serían más efectivos para promocionar la riqueza de especies de larga dispersión en las zonas más húmedas y frescas,

litológicamente más heterogéneas, que en las zonas más secas, cálidas y homogéneas.

INTERACCIONES

Aunque este aspecto de la fragmentación está relativamente peor estudiado, es probable que, como caso particular de interacciones, las actividades agrícolas alteren la diversidad y actividad de los polinizadores de la vegetación natural; particularmente, cuando los cultivos son intensivos y producen gran cantidad de flores entomófilas que compiten por los polinizadores con la vegetación natural colindante. Sobre este asunto estamos actualmente estudiando de qué modo la floración masiva de los naranjales y campos de fresas afecta a la composición y al comportamiento de los insectos polinizadores de plantas silvestres, en comparación con otros cultivos menos intensivos como los olivares, que mantienen un cierto estrato



Semillas de mirto germinando sobre papel en placas de Petri. Estas semillas provienen de madres conocidas y servirán para valorar su diversidad genética y otros aspectos relacionados con la biología de la reproducción de la especie (JPGV).



*Cultivo de floración masiva (naranjal) compitiendo por los insectos polinizadores de la vegetación natural que se desarrolla en un pinar de pino piñonero (JPGV).

herbáceo donde abundan los recursos florales. La hipótesis de partida es que la floración masiva de estos cultivos puede reducir el éxito reproductor (producción de frutos y semillas) de las plantas silvestres mediante la alteración por competencia de las redes de polinización de la flora silvestre de manera más severa que otros cultivos no intensivos. Naranjales y olivares son dos cultivos muy representativos de Andalucía y ocupan superficies de las más extensas de toda Europa. Dado que la vegetación del sotobosque de los pinares aislados posee una gran diversidad florística, esta investigación es relevante no únicamente desde el punto de vista de la conservación de la flora y de la entomofauna, sino como un ejemplo del interés que tiene conocer el efecto global de los usos de suelo sobre la biodiversidad mediterránea.

CICLO DE VIDA

La fragmentación también puede comprometer la capacidad de persistencia de las especies a largo plazo debido a efectos demográficos que reducen o incluso colapsan los procesos que constituyen el ciclo vital de las plantas, como la polinización, la dispersión de semillas, la germinación y el establecimiento de plántulas. Hemos investigado estos aspectos en el mirto porque requiere de los servicios de animales mutualistas para la polinización (insectos) y la dispersión de semillas (aves) y por ser una especie característica de estadios de sucesión avanzados de los sotobosques y matorrales, lo que la hace potencialmente susceptible a las alteraciones relacionadas con la calidad del hábitat de los parches. Así, sabemos que la fragmentación

del hábitat altera el nicho de regeneración del mirto a través de una menor capacidad de germinación y supervivencia de las plántulas en fragmentos pequeños. Además, pensamos que tales efectos no son principalmente genéticos sino que están directamente relacionados con el empobrecimiento de la calidad del hábitat mediante el llamado "efecto de borde" y perturbaciones relacionadas con el manejo y alteración en la composición de microhábitats. Por lo tanto, para la conservación de esta especie se muestran fundamentales las acciones de manejo dirigidas a la mejora de la calidad del hábitat, particularmente en los remanentes forestales más pequeños.

CONCLUSIÓN

La fragmentación y la alteración de los hábitats naturales son algunos de los componentes del

llamado cambio global que está provocando las mayores pérdidas de biodiversidad del planeta. Por ello, desde hace décadas, la Biología de Conservación como disciplina científica ha mostrado un creciente interés por conocer las consecuencias reales de la antropización de la biosfera, propiciando el desarrollo de refinadas técnicas de muestreo y análisis. En estas líneas ponemos de manifiesto que la conservación de la biodiversidad debe ir más allá de la preservación de especies individuales, carismáticas o no. Los fragmentos de vegetación natural (o seminatural) que aún restan se vuelven cruciales para la investigación de los procesos ecológicos que mantienen la conectividad y la funcionalidad de los hábitats. En definitiva, en su estudio están las claves para que sean realmente justas y eficaces esas decisiones que han de ser tomadas para el mantenimiento de sistemas que de forma natural albergan un alto número de especies, tanto microbianas como fúngicas, animales y vegetales.



Experimento en el que se ofrecen semillas de mirto a los posibles consumidores de este recurso (roedores) para valorar las tasas de predación a que éstas se ven sometidas en distintos tipos de bosque [grandes vs. pequeños o aislados vs. conectados] [JPGV].



Matorral en floración en el sotobosque de un pinar. Los cultivos de floración masiva (naranjales) que tiene alrededor pueden alterar la composición y abundancia de la comunidad de polinizadores de estos remanentes de vegetación natural (JPGV).



Curruca cabecinegra (*Sylvia melanocephala*), uno de los principales consumidores de frutos y dispersores de semillas del mirto y otras especies de frutos carnosos en el matorral mediterráneo (JPGV).

Para más información y la lectura de publicaciones relacionadas con este tema puede consultarse la página web del Grupo de Investigación EVOCA [Ecología, Evolución y Conservación de Plantas Mediterráneas] del Plan Andaluz de Investigación www.grupo.us.es/grnm210.

AGRADECIMIENTOS

Estos estudios están siendo financiados por proyectos de Excelencia de la Junta de Andalucía (P06-RNM-01499), del Plan Nacional de Investigación (CGL2004-00022, CGL2008-00938, CGL2011-23721) y el Proyecto Europeo STEP (244090-STEP-CP-FP, <http://www.step-project.net>).

GLOSARIO:

Marcador molecular: Secuencia de ADN (o proteínas) cuyo análisis permite revelar niveles de variación genética a diversas escalas: dentro y entre individuos, poblaciones y especies.

Microsatélite: Tipo de marcador molecular presente en el ADN no codificante de muchos tipos de organismos que se hereda de forma biparental (se recibe una copia de cada progenitor). Se caracterizan porque suelen ser altamente variables entre individuos.

Análisis de paternidad: Métodos estadísticos basados en el estudio de marcadores moleculares altamente variables que proporcionan la probabilidad de que un descendiente (i.e. una semilla) haya sido originado por un determinado individuo adulto reproductor de entre todos los posibles candidatos.