2025 | 16·20
GIJÓN | JUNIO
9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1752

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025**.
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza

Contribución de la restauración forestal en terrenos de dominio público a la mejora de la conectividad ecológica: el caso de las vías pecuarias en Castilla y León

GASTÓN GONZÁLEZ, A. (1), CISNEROS ARAUJO, P. (1), GONZÁLEZ ÁVILA, S. (2), GOICOLEA MARÍN, T. (3), MONTORO RODRÍGUEZ, C. (1), GARCÍA VIÑAS, J.I. (1), MATEO, R. G. (3), SAURA MARTÍNEZ DE TODA, S. (1)

(1) Centro para la Conservación de la Biodiversidad y el Desarrollo Sostenible (CBDS), E.T.S.I. Montes, Forestal y del Medio Natural, Universidad Politécnica de Madrid.

(2) E.T.S.I. Montes, Forestal y del Medio Natural, Universidad Politécnica de Madrid.

(3) Departamento de Biología, Universidad Autónoma de Madrid.

Resumen

La fragmentación de hábitats reduce la capacidad de las especies para desplazarse y compromete la adaptación a perturbaciones actuales y futuras. La restauración de corredores ecológicos permite paliar los efectos de la fragmentación fomentando la conectividad ecológica. Para ello es fundamental identificar las áreas prioritarias en las que la restauración aportaría mayores beneficios en términos de conectividad. Las Administraciones Publicas tienen la obligación legal de restaurar los hábitats, pero los análisis de conectividad no suelen considerar el régimen de propiedad del suelo, lo que puede limitar su utilidad al plantear actuaciones en terrenos privados. Se propone un método para analizar la conectividad considerando desde el inicio el régimen de propiedad del suelo, aplicándolo en las vías pecuarias de Castilla y León. Utilizando análisis de caminos de coste mínimo, grafos e índices de disponibilidad de hábitat (Probabilidad de Conectividad), priorizamos los tramos de cañadas y cordeles en los que la restauración forestal podría mejorar en mayor medida la conectividad ecológica. Se identificaron 2.515 km de tramos de vías pecuarias prioritarios para restauración, confirmando la importancia de las vías pecuarias como corredores ecológicos y demostrando que el método permite obtener una propuesta de restauración de corredores de mayor viabilidad de aplicación directa por parte de las Administraciones Públicas.

Palabras clave

Grafos espaciales, índices de disponibilidad de hábitats, planificación territorial, gestión forestal.

1. Introducción

En un paisaje fragmentado por la actividad humana, promover la conectividad ecológica entre los hábitats naturales o seminaturales favorece un incremento de las tasas de intercambio de individuos entre poblaciones, un aumento de su estabilidad y capacidad de recuperación frente a perturbaciones y de recolonización tras posibles extinciones locales, una mejora en sus posibilidades de persistencia local y regional y una mejor adaptación al cambio climático (CROOKS & SANJAYAN, 2006; KROSBY et al, 2010). Una de las estrategias posibles para mejorar la conectividad ecológica es facilitar los movimientos entre fragmentos de hábitat a través de la restauración ecológica de corredores entre dichos fragmentos (McRAE et al, 2012). Dado que los recursos disponibles para la gestión son siempre limitados, es necesario identificar los corredores que mejores condiciones actuales o potenciales presentan y priorizar aquellos corredores que pueden mejorar la conectividad en mayor medida tras su restauración

(GURRUTXAGA & SAURA, 2014).

La evaluación e identificación de corredores prioritarios no suele considerar el régimen de propiedad del suelo como parte de los análisis, lo que puede limitar la viabilidad de los proyectos de restauración, ya que mientras que las Administraciones Públicas tienen la obligación legal de restaurar la conectividad ecológica (Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad), no pueden actuar directamente en los terrenos de propiedad privada. Por ejemplo, DE LA FUENTE et al., (2018) identificaron y priorizaron corredores para diversos tipos de ecosistemas forestales entre los espacios Red Natura del territorio peninsular de España, encontrando que la mayoría de los corredores prioritarios para restauración se localizaron en terrenos de propiedad privada, en los que la capacidad de las Administraciones Públicas para promover y ejecutar proyectos de restauración ecológica es limitada. La restauración ecológica en terrenos de propiedad privada es factible y las Administraciones Públicas puede fomentarla a través de subvenciones y otras herramientas, pero es más probable que suceda en terrenos de dominio público, en los que la administración puede promover proyectos de restauración a través de gestión directa. De hecho, hay expertos que recomiendan dar prioridad a restaurar corredores subóptimos en terrenos públicos frente a hacerlo en corredores óptimos en terrenos privados (McRAE et al., 2012).

Las vías pecuarias son terrenos de dominio público en las que se puede compatibilizar el uso ganadero con la función de corredores ecológicos (BUNCE et al, 2006), y así lo recoge la normativa española (Ley 3/1995 de Vías Pecuarias, Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad). Dado que, en la mayoría de los casos, son terrenos desarbolados, una restauración forestal que generase una cubierta arbolada compatible con el mantenimiento de los pastos supondría la mejora de la idoneidad de las vías pecuarias como corredores ecológicos para especies ligadas a ecosistemas forestales, sin comprometer el uso ganadero. Dado que la red de vías pecuarias es muy extensa y los recursos para la restauración ecológica limitados, es necesario identificar los tramos de vías pecuarias que, de ser objeto de una restauración forestal, podrían contribuir en mayor medida a la mejora de la conectividad de las especies asociadas a los ecosistemas forestales.

2. Objetivos

En este estudio se propone un método para incorporar el régimen de propiedad del suelo en los análisis de conectividad, con el objetivo de maximizar la mejora de la misma como resultado de la restauración ecológica en terrenos de dominio público. El método se ilustra con el estudio de la contribución de la restauración forestal en vías pecuarias a la mejora de la conectividad de especies animales asociadas a ecosistemas forestales arbolados en Castilla y León (España). Los objetivos específicos son dos: (1) identificar los tramos de vías pecuarias que, una vez restaurados, ofrecerían una mejora de la conectividad ecológica para especies asociadas a ecosistemas forestales en comparación con la conectividad del paisaje actual y (2) cuantificar dicha mejora de la conectividad para poder priorizar los tramos de vías pecuarias a ser restaurados con mayor premura o interés desde

este punto de vista ecológico y territorial.

3. Metodología

El área de estudio se definió como todo el territorio de Castilla y León, añadiendo los enclavados de otras Comunidades Autónomas dentro de Castilla y León, y excluyendo los enclavados de Castilla y León en otras Comunidades Autónomas. El área resultante tiene una extensión (94.224 km^2) y una diversidad de tipos de paisaje y grados de fragmentación de hábitats que la hacen un marco de particular interés para la evaluación de métodos de análisis de la conectividad ecológica.

Se aplicó un enfoque de conectividad funcional que considera las características de las especies, tanto en lo relativo a requerimientos de hábitat como en cuanto a capacidad de dispersión. Concretamente, se estudió el conjunto de especies de mamíferos forestales asociadas a cubiertas forestales arboladas (GURRUTXAGA et al, 2010; DE LA FUENTE et al, 2018). Además, se consideraron cuatro distancias medianas de dispersión (1, 3, 10 y 30 km) para recoger la variabilidad en la capacidad de dispersión dentro del conjunto de especies.

Con el objeto de aplicar un análisis basado en grafos espaciales, se identificaron los nodos de los grafos a partir de las teselas del Mapa Forestal de España de máxima actualidad (escala 1:25.000 para las provincias que ya están disponibles y escala 1:50.000 para el resto). Se extrajeron del mapa las teselas con cubierta forestal arbolada y una fracción de cabida cubierta superior al 20%. Aquellas teselas que se encuentran lo suficientemente próximas para que las especies consideradas puedan moverse entre ellas sin dificultad significativa se consideraron pertenecientes al mismo nodo. El umbral de distancia entre teselas por debajo del cual se considera que dos teselas forman parte del mismo nodo fue variable y determinado en función de la capacidad dispersiva de los grupos de especies de mamíferos considerados. Para cada grupo de especies (cada distancia de dispersión) el umbral de distancia mínima utilizado fue aquel para el que la probabilidad de movimiento entre las dos teselas es muy alta ($p = 0,95$) según una función exponencial decreciente (SAURA & PASCUAL-HORTAL, 2007), en la que la distancia mediana de dispersión corresponde a la probabilidad 0,5. Así, a las distancias medianas de dispersión de 1, 3, 10 y 30 km, les corresponde un umbral de distancia de 74, 222, 740 y 2.220 m, respectivamente. De los nodos resultantes se excluyeron aquellos en las que la superficie de hábitat adecuado fuese menor que el tamaño mínimo de área de campeo para las especies consideradas. El tamaño mínimo de área de campeo se estimó como el cuadrado de una séptima parte de la distancia mediana de dispersión (BOWMAN et al, 2002). A las distancias medianas de dispersión de 1, 3, 10 y 30 km, les corresponden un área mínima de campeo de 2, 18, 204 y 1.837 ha, respectivamente.

Los enlaces que conectan los nodos del grafo entre sí se identificaron como los caminos de coste mínimo entre nodos en el paisaje actual usando Linkage Mapper (McRAE & KAVANAGH, 2011). El coste de movimiento se caracterizó usando una

superficie de resistencia derivada de la interpretación con criterio experto del coste asociado a cada tipo de uso y cubierta del SIGPAC (GURRUTXAGA et al, 2010; DE LA FUENTE et al, 2018; Tabla 1). Los polígonos del SIGPAC se rasterizaron con un tamaño de celda de 25 m, asignando a cada celda el valor de resistencia correspondiente al polígono de SIGPAC que más superficie ocupa en la celda. Debido a la alta carga computacional que supone realizar los cálculos de los caminos de mínimo coste con una celda de 25 m en una zona de estudio tan grande como Castilla y León, se agregaron las celdas para obtener un ráster a una resolución de 75 m (el ancho mínimo de las cañadas), asignando a cada celda de 75 m el valor mínimo de resistencia de las 9 celdas de 25 m correspondientes, para retener en el análisis las zonas con mayor permeabilidad y facilidad para el movimiento de las especies consideradas, por su potencial contribución a los posibles corredores a determinar en el territorio. Además de identificar los enlaces, el análisis de caminos de mínimo coste permitió cuantificar el coste acumulado de movimiento entre cada par de nodos como la suma de los valores de resistencia de las celdas que atraviesan los caminos de mínimo coste, obteniendo así una distancia efectiva entre nodos en unidades de resistencia.

Una vez identificados los enlaces y calculadas las distancias efectivas entre nodos en el paisaje actual, el procedimiento descrito se repitió usando una superficie de resistencia en la que se simuló la restauración de las principales vías pecuarias, las cañadas (hasta 75 m de anchura) y los cordeles (hasta 37,5 m de anchura). A las celdas que coinciden con cañadas o cordeles se les asignó un valor de resistencia mínimo de 1, simulando así que la restauración forestal en las vías pecuarias generara un corredor permeable para las especies de mamíferos forestales. Como resultado se obtuvieron dos conjuntos de enlaces y distancias efectivas entre nodos, el primero que representa la situación en el paisaje actual, previo a la restauración, y el segundo que refleja las condiciones que generaría la restauración forestal en cañadas y cordeles.

Tabla 1. Resistencias al movimiento asignadas a cada tipo de uso y cubierta de SIGPAC. Adaptado de GURRUTXAGA et al (2010) y DE LA FUENTE et al (2018)

Código	Descripción	Resistencia
AG	Corrientes y superficies de agua	100
CA	Viales	1000
CF	Asociación cítricos-frutales	50
CI	Cítricos	50
CO	Contorno olivar	50
CS	Asociación cítricos-frutales de cáscara	50
CV	Asociación cítricos-viñedo	50
ED	Edificaciones	1000
FF	Asociación frutales-frutales de cáscara	50
FL	Frutos secos y olivar	50
FO	Forestal (arbolado)	1
FS	Frutos secos	50
FV	Frutos secos y viñedo	50
FY	Frutales	50

IM	Improductivos	1000
IS	Islas	1000
IV	Invernaderos y cultivos bajo plástico	1000
OC	Asociación olivar-cítricos	50
OF	Olivar - frutal	50
OV	Olivar	50
PA	Pasto con arbolado	12
PR	Pasto arbustivo	4
PS	Pastizal	25
TA	Tierras arables	100
TH	Huerta	100
VF	Viñedo - frutal	50
VI	Viñedo	50
VO	Viñedo - olivar	50
ZC	Zona concentrada no incluida en la ortofoto	1000
ZU	Zona urbana	1000
ZV	Zona censurada	1000

Para evaluar la aportación a la conectividad de la restauración de cada enlace entre nodos, se utilizó el índice de la Probabilidad de Conectividad (PC, SAURA & PASCUAL-HORTAL, 2007), que estima la probabilidad de que dos puntos tomados al azar entre los nodos del grafo estén conectados de forma efectiva. En primer lugar, se calculó el PC considerando las distancias efectivas entre nodos en la situación previa a la restauración. A continuación, se recalculó el índice PC sustituyendo la distancia efectiva entre un par de nodos por la distancia efectiva resultante de la restauración entre el mismo par de nodos, y el procedimiento se repitió iterativamente con todos los pares de nodos. La diferencia entre el PC antes y después de la restauración se estima usando el dPC, que es el porcentaje de cambio de PC respecto al valor inicial, a mayor valor absoluto de dPC mayor prioridad del enlace para su restauración. El procedimiento se repitió para las cuatro distancias medianas de dispersión consideradas, ya que afecta tanto a la identificación de los nodos, como al cálculo del índice PC (SAURA & PASCUAL-HORTAL, 2007). Una vez calculados los dPC de los enlaces entre nodos bajo el supuesto de que las cañadas y cordeles han sido restauradas, se seleccionaron los enlaces con valor absoluto de dPC mayor que cero, aquellos en los que la restauración generaría un aumento de la conectividad, y los tramos de éstos coincidentes con vías pecuarias.

Finalmente, se combinaron los resultados de las cuatro distancias consideradas en un solo conjunto de datos. Para poder combinarlos, los valores de dPC se normalizaron calculando el percentil, de modo que a un tramo con un valor absoluto de dPC mayor que el 99% de los tramos (percentil 1) se le asignó un valor normalizado de prioridad de restauración de 1 y así sucesivamente con todos los percentiles hasta alcanzar la prioridad menor con un valor de 100 (dPC menor que el 99% de los tramos). Los cuatro conjuntos de tramos correspondientes a las cuatro distancias medianas de dispersión consideradas se unieron en un único conjunto de datos, tomando para cada tramo el valor normalizado de prioridad menor de los cuatro disponibles (el más prioritario).

4. Resultados

Se identificaron los tramos de cañadas y cordeles que, en caso de ser restaurados, contribuirían a la mejora de la conectividad para especies de mamíferos asociadas a ecosistemas forestales, realizándose esta identificación para cada una de las distancias de dispersión consideradas (Figura 1). Para la distancia mediana de dispersión de 30 km, la contribución de la restauración de vías pecuarias sería muy poco significativa, ya que solo se identificaron trece tramos de escasa longitud con dPC distinto de cero y con valores de escasa entidad (menores de 0,1% de mejora del PC) tras la restauración. Se deduce que los mamíferos forestales con altas capacidades de dispersión no encuentran, en Castilla y León, excesivos problemas para moverse entre fragmentos de hábitat y, por tanto, dependen poco de esas posibles medidas de restauración dado los ya altos niveles altos de conectividad de partida para estas especies. Para el resto de las distancias (y de especies asociadas a las mismas) los tramos de cañadas y cordeles que podrían contribuir a la conectividad de mamíferos forestales una vez restauradas son menos abundantes y de mayor longitud cuanto mayor es la distancia mediana de dispersión considerada (Figura 1). Esto se debe a que las especies de mayor capacidad de dispersión también requieren mayores áreas de campeo y, por lo tanto, hay menos nodos a conectar, lo que conlleva menos enlaces y menos tramos de cañadas y cordeles que los conectan. Además, las especies con distancias medianas de dispersión menores tienen distancias máximas menores, por lo que los tramos de cañadas y cordeles viables para la dispersión son de longitud menor.

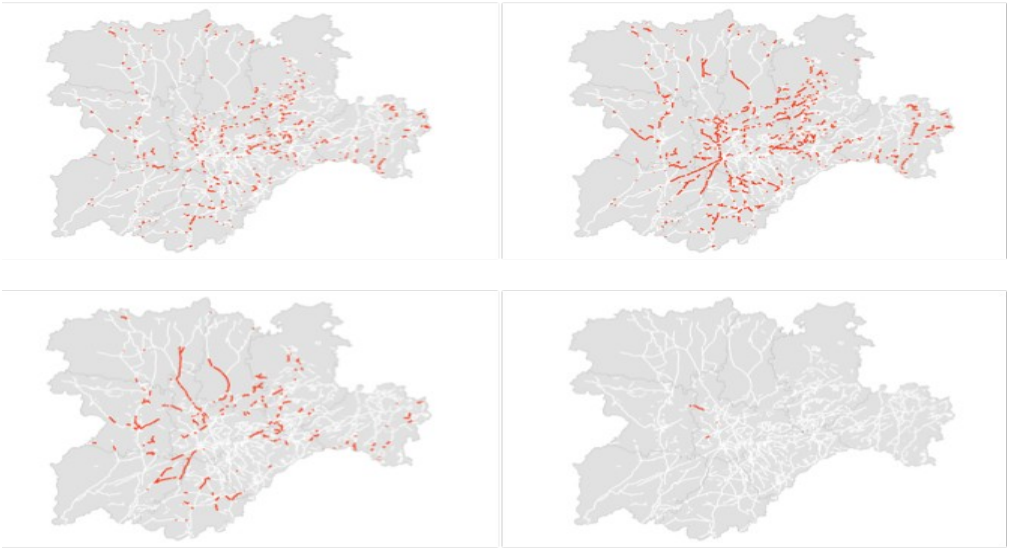

Figura 1. Tramos de cañadas y cordeles cuya restauración contribuiría a la mejora de la conectividad para especies de mamíferos forestales (en rojo), sobre la red de cañadas y cordeles (en blanco). Distancias medianas de dispersión: 1 km (arriba a la izquierda), 3 km (arriba a la derecha), 10 km (abajo a la izquierda), 30 km (abajo a la derecha).

Una vez normalizados los valores de dPC de cada distancia y combinados los

resultados, se obtuvo la red de tramos de cañadas y cordeles prioritarios para la restauración, independientemente de la distancia considerada, que supone en conjunto una longitud de 2.515 km de tramos de vías pecuarias (Figura 2). Dado que los recursos disponibles para restauración ecológica son limitados, se muestran los tramos de vías pecuarias clasificados de mayor a menor prioridad en cuartiles (Figura 2). En general, los tramos más prioritarios se concentran en las zonas centrales de la región en las que dominan los cultivos. En estas zonas, las vías pecuarias ofrecen una oportunidad para conectar los espacios forestales de los sistemas montañosos periféricos y los fragmentos remanentes más aislados dentro de la matriz del paisaje predominantemente agrícola del centro de la región.

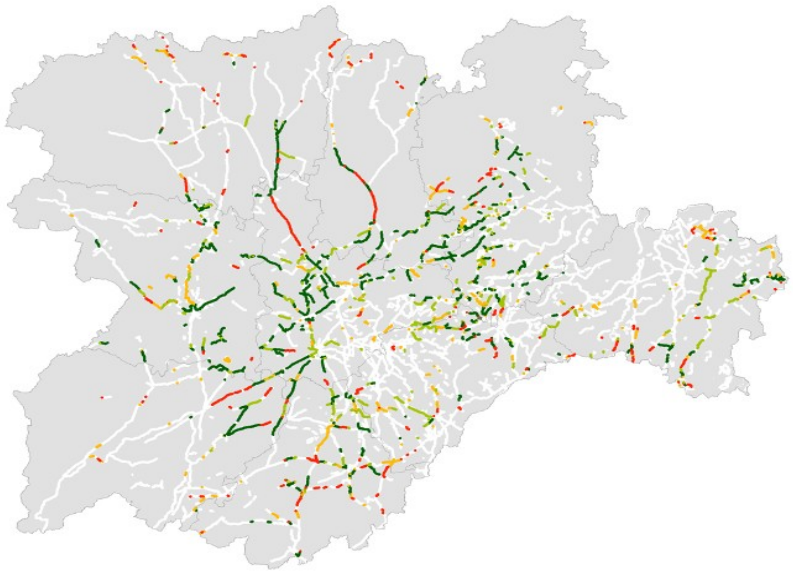

Figura 2. Priorización de tramos de cañadas y cordeles cuya restauración contribuiría a la mejora de la conectividad para especies de mamíferos forestales, considerando simultáneamente todas las distancias medianas de dispersión estudiadas. Colores por cuartiles de prioridad: Primer cuartil, verde oscuro; segundo cuartil, verde claro; tercer cuartil, naranja; cuarto cuartil, rojo. Resto de cañadas y cordeles en blanco.

5. Discusión

El método propuesto ha permitido identificar de una manera objetiva y sintética los tramos de vías pecuarias que podrían contribuir, una vez restaurados, a mejorar la conectividad ecológica para especies de mamíferos forestales en Castilla y León. Los corredores prioritarios para restauración identificados en este estudio tienen la ventaja de no transcurrir por terrenos privados, por lo que las Administraciones Públicas encontrarían menos impedimentos para implementar las actuaciones de restauración en estos corredores que en los corredores identificados previamente sin tener en cuenta el régimen de propiedad del suelo (DE LA FUENTE et al, 2018). En todo caso, aunque no se ha evaluado en este estudio, es de esperar que si los corredores prioritarios identificados se restauraran en su totalidad, sin tener en cuenta el régimen de propiedad del suelo,

como los identificados en DE LA FUENTE et al (2018), incluyendo por tanto también los terrenos privados, la mejora de la conectividad sería mayor y, en su caso, más efectiva, aunque a expensas de una mayor dificultad de ejecución, consolidación y permanencia de las acciones de restauración planificadas.

La consideración desde el inicio del régimen de propiedad del suelo en los análisis de conectividad, como hemos hecho en este estudio, ofrece unos resultados más adecuados cuando el objetivo de los análisis es informar los planes de restauración de la conectividad ecológica a través de gestión directa de las Administraciones Públicas. Ahora bien, cuando el objetivo de los análisis de conectividad es informar sobre prioridades de conservación o regular las actividades humanas en el territorio, un enfoque que no considere el régimen de propiedad puede ser más adecuada, ya que ésta no es impedimento para que las Administraciones Públicas implementen medidas de conservación y regulación de usos.

A diferencia de los estudios previos sobre conectividad ecológica y vías pecuarias en los que se había comprobado que las vías pecuarias pueden jugar un papel destacado como corredores ecológicos (BUNCE et al, 2006), en este estudio, además de confirmar lo anterior, el método propuesto ofrece una priorización de los tramos en función de su contribución potencial a la mejora de la conectividad (GURRUTXAGA & SAURA, 2014). Esta cuestión es clave para la viabilidad de las propuestas de restauración que se pueden derivar de los resultados de este estudio. Dado que los recursos para restauración son limitados, conocer el grado de contribución, y por tanto de prioridad, de cada tramo de vía pecuaria es fundamental para planificar las actuaciones. Por ejemplo, para dar una idea del esfuerzo requerido asociado a esta priorización, restaurar la cuarta parte de los tramos más prioritarios requeriría acometer la restauración de una media de 123 km de cañadas y cordeles al año durante 10 años en Castilla y León. En caso de disponer de menos recursos, se podrían planificar las actuaciones de restauración usando un valor normalizado de prioridad menor y viceversa en caso de disponer de más. En todo caso, al respetar el orden de prioridad aquí presentado, se estaría garantizando que la inversión realizada generaría la mejora de la conectividad más alta posible para los recursos disponibles.

6. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos y de la discusión sobre los mismos realizada se extraen las siguientes conclusiones:

1. El método propuesto ha permitido identificar la red de corredores ecológicos en terrenos de dominio público más eficiente en términos de restauración de la conectividad para especies y hábitats de mamíferos forestales en Castilla y León.
2. La consideración del régimen de propiedad del suelo desde el inicio en los análisis de conectividad permite obtener una propuesta de restauración de corredores de mayor viabilidad de aplicación directa por parte de las Administraciones Públicas.
3. Los resultados confirman la importancia de las vías pecuarias como

corredores ecológicos al mismo tiempo que muestran la gran variabilidad entre la contribución que cada vía o tramo de vía pecuaria realiza o puede realizar para el conjunto de la conectividad en Castilla y León, lo que hace indispensable una adecuada selección de los tramos en los que acometer las acciones de restauración de la conectividad.

4. La priorización obtenida permite adecuar la planificación de las actividades de restauración forestal a los recursos disponibles, garantizando que la inversión realizada generará la mayor mejora de la conectividad posible para unos determinados recursos disponibles.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida para la elaboración del estudio por parte de la Consejería de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León (financiado por la Unión Europea a través del mecanismo de recuperación y resiliencia Next Generation-EU) y del proyecto Connect2restore (TED2021-129589B-I00), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (Agencia Estatal de Investigación) y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR.

8. Bibliografía

BOWMAN, J.; JAEGER, J. A.; FAHRIG, L.; 2002. Dispersal distance of mammals is proportional to home range size. *Ecology* 83(7): 2049 - 2055

BUNCE, R. G. H.; DE ARANZABAL, I.; SCHMITZ, M. F.; PINEDA, F. D.; 2006. A review of the role of drove roads (*cañadas*) as ecological corridors. *Alterra-rapport* 1428: 1 - 42

CROOKS, K. R.; SANJAYAN, M.; 2006. Connectivity conservation: maintaining connections for nature. In: Crooks, K.R.; Sanjayan, M. (Eds.); Connectivity Conservation. Cambridge University Press, pp. 1–20, New York

DE LA FUENTE, B.; MATEO-SÁNCHEZ, M. C.; RODRÍGUEZ, G.; GASTÓN, A.; PÉREZ DE AYALA, R.; COLOMINA-PÉREZ, D.; SAURA, S; 2018. Natura 2000 sites, public forests and riparian corridors: The connectivity backbone of forest green infrastructure. *Land Use Policy* 75: 429-441.

GURRUTXAGA, M.; LOZANO, P.J.; DEL BARRIO, G.; 2010. GIS-based approach for incorporating the connectivity of ecological networks into regional planning. *J Nat Conserv* 18: 318-326

GURRUTXAGA, M.; SAURA, S.; 2014. Prioritizing highway defragmentation locations for restoring landscape connectivity. *Environ Conserv* 41(2): 157-164

KROSBY, M.; TEWKSBURY, J.; HADDAD, N. M.; HOEKSTRA, J.; 2010. Ecological connectivity for a changing climate. *Conserva Biol* 24(6): 1686-1689

MCRAE, B.H.; KAVANAGH, D.M.; 2011. Linkage Mapper Connectivity Analysis Software. The Nature Conservancy, Seattle WA, USA.

MCRAE, B. H.; HALL, S. A.; BEIER, P.; THEOBALD, D. M.; 2012. Where to restore ecological connectivity? Detecting barriers and quantifying restoration benefits. *PloS One* 7(12): e52604

SAURA, S.; PASCUAL-HORTAL, L.; 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape Urban Plan* 83 (2-3): 91-103