

FRAGMENTACIÓN DE LOS HÁBITATS DE LA RED NATURA 2000 AFECTADOS POR EL PEIT (PLAN ESTRATÉGICO DE INFRAESTRUCTURAS Y TRANSPORTE)

BELÉN MARTÍN RAMOS^a, EMILIO ORTEGA PÉREZ^b, SANTIAGO MANCEBO QUINTANA^c, ISABEL OTERO PASTOR^d

TRANSyT (Centro de Investigación del Transporte de la Universidad Politécnica de Madrid)
ETSI Caminos Canales y Puertos. C/ Profesor Aranguren, S/N. 28040, Madrid, España

^abmartin@caminos.upm.es ^beortega@caminos.upm.es ^csmancebo@caminos.upm.es

^disabel.otero@upm.es

RESUMEN

En este artículo se presentan nuevos resultados obtenidos a raíz del proyecto fin de carrera del primer autor (Martín, 2006). En este proyecto se utilizó una metodología basada en SIG diseñada para trabajar a escalas propias del planeamiento territorial con el fin de evaluar los efectos del plan español de infraestructuras, PEIT. Este proceso de evaluación se realizó mediante el cálculo de tres indicadores que describen algunos de los efectos fundamentales del proceso de fragmentación de hábitats provocado por las infraestructuras de transporte: la pérdida de conectividad, el aumento en la complejidad de la forma de las teselas y la disminución de su área. Se expone su aplicación para la evaluación de la fragmentación de los hábitats españoles de la red Natura 2000 afectados por el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte.

Palabras clave: pérdida de biodiversidad, infraestructuras lineales, Península Ibérica.

NATURA 2000 HABITAT FRAGMENTATION CAUSED BY THE SPANISH PEIT (PLAN ESTRATÉGICO DE INFRAESTRUCTURAS Y TRANSPORTE)

ABSTRACT

In this paper new findings obtained from a former research project (Martín, 2006) are presented. Using a GIS methodology developed to work at planning scales, it focuses on the effects of the Spanish infrastructure plan on habitat fragmentation, measured through three indices. These fragmentation indices assess some of the main effects caused by transport infrastructures: the loss of connectivity, the gain in shape complexity of patches and their area loss. Finally, we show the application of this methodology to the habitat fragmentation caused by the Spanish plan.

Keywords: biodiversity loss, linear infrastructures, Iberian Peninsula.

1. Introducción

La expansión de infraestructuras de transporte tiene efectos tan determinantes sobre la flora y la fauna de las regiones donde se construyen que está reconocida como una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad (Geneletti, 2006). Las nuevas infraestructuras de transporte afectan al funcionamiento de los ecosistemas, ya que sus condiciones bióticas y abióticas quedan alteradas, debido a que, en el proceso de la fragmentación, las teselas que conforman los hábitats se dividen en unidades de menor tamaño. Los efectos principales de la fragmentación debida a infraestructuras lineales se pueden resumir en tres: incremento del aislamiento de las teselas que conforman los ecosistemas, disminución de su tamaño, y aumento de su exposición a perturbaciones externas (Geneletti, 2004). Las infraestructuras de transporte actúan como barreras o filtros para algunos movimientos de materia y energía (Forman y Alexander, 1998) y, por tanto, alteran las entradas y salidas de los recursos físicos de un hábitat. Los cambios de las propiedades macroscópicas de los ecosistemas afectan a la composición y abundancia de las especies que habitan dentro de las teselas, lo que puede comprometer la persistencia de las mismas a largo plazo, dado que degradan la biodiversidad y la integridad de las áreas naturales afectadas así como su estabilidad y su capacidad de recuperación frente a perturbaciones externas (Baskent, 1999; Saunders *et al.*, 1991).

La fragmentación provocada por las infraestructuras de transporte afectará de forma notable al funcionamiento de la matriz del paisaje que rodea a las teselas de hábitat. Los hábitats naturales son estructuras complejas y dinámicas inmersas en matrices territoriales más amplias. La conservación de la biodiversidad depende del mantenimiento de flujos y conexiones en el paisaje a diferentes escalas, esto es, del mantenimiento de la conectividad tanto funcional como estructural entre ellos (Adriaensen *et al.*, 2003), y no se limita a la gestión de zonas protegidas de forma aislada ni al establecimiento de zonas de influencia alrededor de las infraestructuras lineales (Geneletti, 2006).

La Directiva 2001/42/CE relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente, así como su trasposición en la legislación española (LEY 9/2006) citan explícitamente la necesidad de evaluar los efectos sobre la biodiversidad, entre otros.

El Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020 (PEIT) prevé ampliar la red española de vías de gran capacidad para el transporte por carretera hasta los 15.000 km e incrementar la red ferroviaria de altas prestaciones hasta alcanzar los 10.000 km en el año 2020. Una de las cuestiones clave incluidas en el PEIT es la consideración de los impactos del transporte sobre el medio ambiente. Particularmente, el PEIT admite el importante deterioro en el medio ambiente provocado por la construcción de las infraestructuras y reconoce que, aunque las medidas correctoras introducidas en las Declaraciones de Impacto Ambiental intentan paliar algunos de sus efectos negativos, 'difícilmente podrán eliminar la progresiva ocupación del territorio y su fragmentación, con efectos muy negativos sobre la biodiversidad' (Ministerio de Fomento, 2005, p. 30).

La Directiva 92/43/CEE (Consejo de las Comunidades Europeas, 1992) establece como principio básico evitar la afectación a los hábitats y especies prioritarios incluidos en la Red Natura

Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008): "Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 44-60. ISSN: 1578-5157

2000. Las consecuencias de la mala planificación de las infraestructuras de transporte generalmente se manifiestan a largo plazo, cuando su gestión resulta muy complicada o el desarrollo de los procesos empobrecedores de la biodiversidad son irreversibles (Comisión Europea, 2003). Por ello es necesario desarrollar metodologías que permitan evaluar el impacto de la fragmentación de hábitats a nivel de plan, para ser considerado en los primeros estadios del proceso de toma de decisiones.

En este artículo se presentan nuevos resultados obtenidos a raíz del proyecto fin de carrera del primer autor (Martín, 2006). En este proyecto se utilizó una metodología basada en SIG diseñada para trabajar a escalas propias del planeamiento territorial con el fin de evaluar los efectos del plan español de infraestructuras, PEIT. Este proceso de evaluación se realizó mediante el cálculo de tres indicadores que describen algunos de los efectos fundamentales del proceso de fragmentación de hábitats provocado por las infraestructuras de transporte: la pérdida de conectividad, el aumento en la complejidad de la forma de las teselas y la disminución de su área. Se expone su aplicación para la evaluación de la fragmentación de los hábitats españoles de la red Natura 2000 afectados por el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte.

2. Metodología

La metodología se basa en el cálculo de tres indicadores escogidos en función de su relevancia a la hora de representar los efectos del fenómeno de fragmentación de hábitats provocado por las infraestructuras de transporte (Martín *et al.*, 2006 y Mancebo *et al.*, 2007). Todos los indicadores se calcularon en dos escenarios distintos. El primero de ellos es el *escenario cero*, que corresponde a la situación inicial. Este escenario corresponde a la situación en el año 2005, cuando los hábitats están afectados por las infraestructuras de transporte por carretera y la red ferroviaria de altas prestaciones presentes en ese momento. El *escenario PEIT* contiene la superposición de los hábitats, tanto con las infraestructuras de transporte por carretera, como con la red ferroviaria de altas prestaciones previstas en el PEIT para el año 2020.

La metodología de cálculo de los indicadores se programó en macros AML que están disponibles en *Fragtuls* (Mancebo, 2007), paquete de herramientas de cálculo de indicadores de fragmentación causada por infraestructuras de transporte (URL: <http://topografia.montes.upm.es/fragtuls.html>).

2.1. Elección de los indicadores

Es frecuente la medida de la fragmentación a través de indicadores que miden diferentes características del paisaje, relacionadas con su composición o su configuración espacial (Rutledge, 2003), La elección de los indicadores utilizados tomó como base la clasificación que proponen McGarigal y Marks en el software *Fragstats* (1995), con el objetivo de encontrar aquéllos que mejor reflejen el fenómeno estudiado.

Las infraestructuras de transporte afectan a las características asociadas con la estructura del paisaje. Pueden modificar significativamente el número de teselas, pero apenas afectarán a la variedad de las clases de hábitats presentes en el paisaje. El paso de las infraestructuras de transporte también afecta a las características del paisaje asociadas con la configuración espacial de las teselas. Se provoca tanto la pérdida de área (y por tanto de biodiversidad) como la variación de la forma de las teselas, si bien no se verá afectado de forma significativa el emplazamiento de las teselas dentro de la matriz ni las distancias relativas entre ellas. Teniendo en cuenta estos factores, se eligió la relación perímetro-área (Krummel *et al.*, 1987, McGarigal y Marks, 1995) que mide la complejidad de las teselas y el efecto borde, y el indicador S que mide la riqueza en biodiversidad siguiendo la relación especies-área. El indicador S no está incluido en la clasificación de McGarigal y Marks, pero sí que proponen calcular el área de las teselas como un indicador de fragmentación e insisten en la importancia ecológica que tiene el área disponible para la persistencia de un hábitat. En este artículo se propone dar un paso más para cuantificar la relación que existe entre la pérdida de área y la biodiversidad, puesto que, como ya se ha dicho, la fragmentación de hábitats es una de las mayores amenazas para la conservación de la misma.

La conectividad del paisaje mide la permisividad de éste a los flujos de materia y energía que tienen lugar en los ecosistemas y al movimiento natural de individuos o dinámica de poblaciones. Las infraestructuras de transporte suponen una barrera muy fuerte a estos flujos (Comisión Europea, 2003). Algunos elementos de la matriz del paisaje ofrecen más resistencia al movimiento que otros y pueden condicionar los patrones de dispersión de los organismos (Gustafson y Gardner, 1996). Muchos estudios han utilizado modelos de "distancia efectiva" (Bunn *et al.*, 2000) para incluir en la medida de la conectividad el grado de hostilidad que ofrece el territorio al movimiento entre las teselas pertenecientes a un hábitat, y los aspectos propios de la percepción del paisaje por parte de cada especie (Adriaensen *et al.*, 2003; Marulli y Mallarach, 2005; Nikolakaki, 2004). En estos modelos, a cada elemento de la matriz se le asigna una fricción que cuantifica su oposición al movimiento de las especies a través de los diferentes elementos del paisaje.

2.1.1. Relación Perímetro-Área (PARA):

Es la relación entre el perímetro y el área de cada tesela:

$$PARA = \frac{P_i}{A_i}$$

siendo: P_i = el perímetro de la tesela i , A_i = el área de la tesela i .

La relación perímetro área cuantifica la complejidad de la forma de las teselas, lo que puede ser importante para ciertos procesos ecológicos. Por ejemplo, una tesela que tenga una forma cuadrada o circular tendrá, para una misma superficie, menos borde, que una tesela con una forma más alargada o sinuosa, y por lo tanto será más sensible a perturbaciones externas. Cuanto mayor sea esta relación, mayor es la complejidad de la tesela y mayor es la fragmentación.

2.1.2. Índice de biodiversidad S:

El área de cada tesela es quizás la información más útil e importante que contiene el paisaje desde el punto de vista ecológico, de hecho la presencia y la abundancia de muchas especies está íntimamente correlacionada con el tamaño de la tesela (McGarigal y Marks, 1995). La mayoría de las especies requieren un área mínima para su supervivencia, esto es el área de la tesela de hábitat donde vive una especie, debe ser mayor que el área mínima que necesita para su viabilidad. El crecimiento con el área de la riqueza en especies ("relación especies-área" o SAR), es una de los supuestos empíricos más robustos en ecología (Rosenzweig, 1995) y se puede aproximar a una función potencial de la forma:

$$S = CA^z$$

siendo: S = número de especies dentro de una tesela, A = área de la tesela, z = constante (pendiente de la función transformada logarítmica)

Para estudiar el comportamiento de SAR se usa la función transformada logarítmica $\log S = C + z \log A$. Ésta es lineal en escalas que van desde aproximadamente 1 ha hasta 10^7 Km^2 y no tiene asíntotas. Además los valores de su pendiente z , obtenidos de forma empírica, están entre 0,15 y 0,40 dependiendo del taxón que se considere (Williamson *et al.*, 2001). La pérdida de área es una consecuencia de la fragmentación del territorio, y se puede interpretar como una reducción de biodiversidad de acuerdo con la relación especies-área.

En la aplicación de estos indicadores, las infraestructuras de transporte son consideradas como barrera absoluta que a su paso dividen las teselas de hábitat.

2.1.3 Índice de conectividad

Fragstats ofrece un indicador de conectividad que tiene en cuenta la resistencia que ofrece el paisaje a la hora de ser atravesado por los organismos que se mueven entre sus teselas, pero no fue posible calcularlo en un área tan extensa como la que se presenta en este estudio, por ello se ideó un nuevo indicador de conectividad CI (Mancebo *et al.*, 2007) adaptado a zonas extensas.

La expresión del índice de conectividad es la siguiente:

$$CCI_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{A_j}{C_{i,j}}}{2\pi C_{\max}}$$

Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008): "Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p. 44-60. ISSN: 1578-5157

Siendo CCL_i = el valor del índice de conectividad para el origen i , A_j = el área de cada uno de los n destinos j que pertenece a la misma clase de hábitat que el origen i , C_{ij} = la distancia efectiva entre el origen i y el destino j , C_{max} = la distancia efectiva máxima encontrada entre el origen y todos sus destinos, por tanto, $2\pi C_{max}$ es la conectividad máxima.

El denominador de la ecuación no es más que un factor de normalización, es el valor del numerador en las mejores condiciones de movimiento, esto es, cuando el valor coincide con la distancia euclidiana entre el origen y el destino. Dividiendo por este factor, el valor del indicador siempre se encuentra entre 0 y 1. De esta manera, valores cercanos a 0 indican una mala conectividad, mientras que valores cercanos a 1 indican que el movimiento entre el origen y sus destinos ofrece poca resistencia.

2.2. Información necesaria

La aplicación de la metodología diseñada, para este caso de estudio, requiere para su implementación de los siguientes mapas:

- Mapa de hábitats de España. (DGBIO, 1995).
- Mapa de Lugares de Importancia Comunitaria, LIC (DGBIO; 2005)
- Mapa de Zonas de Especial Protección para las Aves, ZEPAs, (DGBIO; 2005).
- Mapa de usos del suelo, Corine Land Cover 2000 (CLC, 2000).
- Red de infraestructura actual y la red prevista en el PEIT con información referente a su tipología, proporcionadas por el Centro de Investigación del Transporte de la Universidad Politécnica de Madrid (www.transyt.upm.es).

2.3. Cálculo de la relación perímetro-área y de la relación especies-área

Para el cálculo del indicador se utiliza una metodología basada en el SIG (Sistema de Información Geográfica) Arc/Info en formato vectorial, que permitió estudiar cómo se ven afectados los perímetros y las áreas de todos los polígonos (o teselas) que constituyen cada hábitat, al ser atravesados por las infraestructuras de transporte que el PEIT ha incorporado o incorporará al territorio.

En primer lugar se reunió toda la información disponible sobre los hábitats españoles presentes en el anexo 1 de la Directiva 92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, que potencialmente, podrían verse afectados por las actuaciones previstas en el PEIT.

Después se creó el mapa de las redes de transporte que corresponden a cada escenario. Partiendo de estas redes, se determinó la zona de ocupación de las infraestructuras como un corredor de 100 metros de ancho. Estos corredores se superpusieron al mapa de hábitats, formando los dos escenarios, que quedaron definidos por los polígonos que componen los hábitats y por las infraestructuras de transporte. Así, cada escenario, en sus entidades poligonales, contiene

Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008): "Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p. 44-60. ISSN: 1578-5157

información sobre el perímetro y el área de cada tesela de hábitat, tanto de los que se forman al romper los hábitats con las infraestructuras de transporte, como de aquellos que no se ven afectados por las mismas. Los cálculos de los indicadores descritos, y la comparación con la situación inicial son sencillos, reduciéndose a un análisis de la información contenida en las tablas de atributos asociadas.

Para el cálculo del indicador S en cada escenario, se consideró el valor medio de los valores calculados para el mínimo y el máximo valor del exponente (z) de la relación especies-área. No se ha usado el valor medio de este exponente al no ser lineal la ecuación.

2.4. Cálculo del indicador de conectividad

Para el cálculo del indicador se utiliza una metodología basada en el SIG (Sistema de Información Geográfica) Arc/Info en formato *raster*. Para poder calcularlo se programó una macro en el lenguaje AML (Arc/Info Macro Language). El índice tiene en cuenta la resistencia que ejercen los distintos elementos de la matriz del paisaje: las infraestructuras lineales de transporte, la tipología de los distintos hábitats, y los usos del suelo. Este efecto se modeliza a través de la distancia efectiva, que se calcula mediante el algoritmo de Dijkstra (1959). Para calcular esta distancia es necesario establecer los orígenes y los destinos del movimiento de los organismos y la resistencia que opone el paisaje a dicho movimiento en función de las características de los elementos del mismo, que se traduce en un mapa de resistencia.

Los orígenes del movimiento de los organismos son cada una de las celdillas del mapa de hábitats en formato raster que pertenecen a una tesela clasificada como hábitat en la Directiva 92/43/CEE. Los destinos para cada uno de los orígenes son las celdillas del mismo mapa que pertenecen a su misma clase, considerando que las distintas clases se corresponden con los códigos que identifican los distintos tipos de hábitat que establece la Directiva.

Cada celda del mapa de resistencia tiene un valor función de la resistencia que opone la matriz del territorio al movimiento de los organismos entre los hábitats. Esta resistencia es función de varios factores. Se ha construido un modelo a partir de la clase de hábitat, el uso del suelo y el tipo de infraestructura de transporte.

Una vez establecidos los orígenes, los destinos y el mapa de resistencia, se calculó el indicador *CCI* para cada uno de los orígenes en los dos escenarios estudiados.

2.5. Cálculo de la fragmentación en la Red Natura 2000.

Con el objetivo de evaluar los efectos globalmente, se integraron los resultados obtenidos para cada tesela en función del elemento de la Red Natura 2000 (Zonas de Especial Conservación o ZECs) al que pertenecen. Así, una vez calculados los tres indicadores tesela a tesela en los dos escenarios, ambos se superpusieron a los LIC y las ZEPAs españoles presentes en la Península Ibérica. Después se realizaron resúmenes estadísticos de los resultados. La agregación realizada

Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008): "Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p. 44-60. ISSN: 1578-5157

consistió, en todos los casos, en una media ponderada a la superficie, relativizando, en consecuencia, la importancia de los resultados de cada tesela a la superficie de dicha tesela:

$$I_{ZEC_j} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i \times A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}, \forall i \in ZEC_j$$

siendo: I_{ZEC_j} = el valor del indicador I en la ZEC j , I_i = el valor del indicador I en la tesela i , A_i = área de la tesela i .

El resultado final de aumento del indicador *PARA*, de la disminución de *S* y de la pérdida de conectividad consecuencia del proceso de fragmentación de hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT, se obtiene como diferencia de los valores resultantes para cada ZEC en cada uno de los escenarios (*escenario PEIT* y *escenario cero*), en porcentaje respecto a la situación inicial:

$$\text{Variación del indicador } I \text{ en la } ZEC_j = \frac{|I_{ZEC_j \text{ PEIT}} - I_{ZEC_j \text{ cero}}|}{I_{ZEC_j \text{ cero}}} \times 100$$

3. Resultados

A continuación se presenta una descripción de los resultados obtenidos. Se analizan los resultados de los tres indicadores en cada LIC, por medio de ejemplos en los que se muestran los diferentes casos que se presentan. Únicamente se exponen los resultados de los LIC, ya que los que se refieren a las ZEPAs son análogos.

En la [figura 1](#), [figura 2](#) y [figura 3](#), en las que se representan todos los LIC de la España peninsular, se puede observar la pérdida de biodiversidad, la variación en la relación perímetro-área, y la pérdida de conectividad, en porcentajes, de cada uno de ellos. También se muestra la distribución de las variaciones de los indicadores ([figura 4](#)).

Se ha comprobado que existe una fuerte correlación entre los valores obtenidos en la relación perímetro-área y la pérdida de biodiversidad con un valor para el índice de correlación de 0,79. El índice de conectividad también está correlacionado con los otros dos indicadores pero con un valor de 0,52 y 0,54, sensiblemente menor debido a que el índice de conectividad es una medida que no sólo depende del área del hábitat, sino que también depende de las barreras que existan entre las teselas de la misma clase de hábitat, y no es necesario que los trazados de las infraestructuras las atraviesen para que haya pérdida de conectividad, por lo que casi todos los LIC se ven afectados.

De forma general, se puede observar que en la mayoría de los LIC la pérdida de biodiversidad y la variación en la relación perímetro-área que sufrirán es reducida, así como la

Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008): "Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 44-60. ISSN: 1578-5157

pérdida de conectividad. Sin embargo, existe un número considerable en los que esta pérdida alcanza unos valores que se deben tener en cuenta y analizarlos por separado para intentar minimizar la afección que sufren.

Así, existen varias situaciones destacables ([tabla 1](#)). La más frecuente es que un determinado LIC no se vea casi afectado por las nuevas infraestructuras lo que se verá reflejado en una pequeña variación de los tres indicadores. Tal es el caso del LIC ES4250005 (Montes de Toledo), que tiene una superficie de 218.000 ha y apenas hay variación en el valor de los indicadores.

Otra situación que se produce, que sería la más preocupante, es que LIC de gran superficie sufran variaciones importantes en los indicadores, lo que quiere decir que se verán muy afectados por las nuevas infraestructuras. Ejemplos de este caso son el LIC ES6150005 (Marismas de Isla Cristina, en Huelva) con un 20,58% de la variación en la relación perímetro-área y un 54,11% de pérdida de conectividad, o los LIC ES2410040 (Puertos de Panticosa, Bramaturo y Brazatos, en Aragón) y ES6130001 (Sierra de Cardeña y Montoso, en Córdoba) con variaciones similares.

También puede ocurrir que el porcentaje de variación de los indicadores sea elevado, debiéndose a que el área del hábitat es muy pequeña y cualquier afección que se realice sobre él provocará un aumento en su complejidad y una pérdida importante de su biodiversidad y conectividad, como ocurre con el LIC ES1200032 (Río Sella, en Asturias) con una variación de S, PARA y conectividad del 13,94%, 11,99% y 23,90% respectivamente. Este es el caso más conflictivo, ya que el poco nivel de detalle de las actuaciones a nivel de plan podría ocasionar la obtención de resultados que no se corresponden con la realidad, como aparentemente ocurre con el LIC ES4230009 (Cueva de la Judía, en la provincia de Cuenca) con una variación en los indicadores importante seguramente debida a la indefinición del Plan ya que parece lógico que las nuevas infraestructuras no le atraviesen y afecten al ser una cueva.

Por último, se puede dar el caso de que ninguna de las teselas de hábitat presentes en el LIC se vea atravesada por nuevas infraestructuras, por lo que la variación de los indicadores PARA y S será prácticamente nula, sin embargo como consecuencia de la aplicación del PEIT quedará rodeado de barreras que afectarán de manera notable a su conectividad. Es el caso, entre otros, del LIC ES4150098 (Campo de Argañan, en Salamanca) que, a pesar de que ninguna de las teselas de hábitat presentes en el mismo es atravesada por infraestructuras nuevas, sufrirá una pérdida del 24,31% de conectividad ([figura 5](#)).

Como valor total que resume los tres indicadores, se ha tomado la media de los valores de la variación de los mismos obtenidos para cada LIC, ponderada con el área de todos los LIC considerados en este estudio. Así, considerando la incertidumbre consecuencia de la indefinición de las actuaciones a nivel de plan, así como en la definición de los hábitats y las suposiciones tomadas en el cálculo de los indicadores se obtienen, los siguientes resultados:

- La construcción de las infraestructuras previstas en el PEIT podrá suponer una pérdida del 0,30% de la biodiversidad presente en los LIC. La relación perímetro área, como consecuencia de la intervención, aumentará un 0,32%, aumento que va ligado a la sensibilidad a las perturbaciones externas de los hábitats que pertenecen a dichos LIC.

Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008): "Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p. 44-60. ISSN: 1578-5157

- Las nuevas infraestructuras de transporte supondrán una pérdida de conectividad del 9,73% en los hábitats presentes en los LIC.
- El 6% de los LIC sufrirá variaciones superiores al 2% en los indicadores *PARA* y *S*.
- El 87% de los LIC sufrirá una pérdida en el indicador de conectividad superior al 2%

4. Discusión y conclusiones

El fin de este trabajo es proporcionar una herramienta útil para facilitar la incorporación de la fragmentación de hábitats a la toma de decisiones a nivel de plan o programa. Por ello, la escala de trabajo y los métodos se adaptan al contexto de la EAE.

El indicador *S* estima la riqueza de especies, pero no la distribución de las mismas. Se trata de un modelo simplificado como consecuencia de la falta de un inventario detallado de áreas de distribución para cada especie, así como su abundancia relativa dentro de cada tesela. Este indicador está basado en la relación que existe entre la diversidad y el área, $S = CAZ$ (García y Goldenfeld, 2006; Lomolino, 2000; Ney-Niffle y Mangel, 2000; Rosenzweig, 1995). Esta ecuación ha sido utilizada en diversos estudios para estimar la pérdida de especies en función de la pérdida de hábitat (Brook *et al.*, 2003; Kinzig y Harte, 2000; Rosenzweig, 1999). Con este indicador no se calcula una pérdida de especies global o regional, sino local, como consecuencia de considerar que las infraestructuras son una barrera absoluta. Este cálculo es válido para especies que tienen menor movilidad, las más especialistas. Para otro tipo de especies, para las que las nuevas infraestructuras suponen una barrera parcial, se ha calculado el indicador de conectividad *CI*. Las especies multihábitat, es decir, más generalistas no han sido consideradas en este estudio. La introducción de infraestructuras lineales en general supone la creación de un nuevo ecotono, sobretudo en bordes de autopistas y autovías. Este hecho, en ocasiones, puede favorecer un aumento de la riqueza de especies (Forman *et al.*, 2003). Este aumento no se ha considerado por la escala a la que se trabaja y porque este trabajo se ha centrado en la pérdida de biodiversidad preexistente.

En relación a la elección del índice *PARA* es importante comentar que existen otros indicadores más robustos que cuantifican el impacto debido al aumento del borde, como por ejemplo el índice perímetro-área normalizado a una forma euclidiana simple, por ejemplo a un cuadrado, (indicador *SHAPE* en *FRAGSTATS*). Si bien, al hacer un análisis comparativo entre escenarios, ambos indicadores producen resultados idénticos.

El indicador *CI* también fue diseñado para su uso a la escala territorial propia de la evaluación de planes y programas. Se trata de un indicador indirecto de biodiversidad porque relaciona dicha biodiversidad con la probabilidad de supervivencia de cada especie en una tesela dada. Esta probabilidad se estima aplicando un modelo simplificado de dinámica de poblaciones (Hanski, 1994).

Como conclusiones de este trabajo se destaca:

- El análisis de la fragmentación causada por planes de infraestructuras en territorios extensos es posible a escalas de análisis de gran detalle. El modelo vectorial finalmente seguido en el estudio para calcular los indicadores de fragmentación ha resultado ser más rápido, sencillo

Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008): "Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 44-60. ISSN: 1578-5157

y efectivo que los modelos tradicionales en *ráster* implementados en aplicaciones informáticas, como las últimas versiones del conocido *Fragstats*, desarrollado en la Universidad de Massachussets.

- También es posible analizar la pérdida de conectividad causada por las nuevas infraestructuras de transporte en un territorio extenso a nivel de plan. El modelo *ráster* elegido, basado en distancias efectivas, resulta más complejo de implementar y más lento de calcular que el vectorial, si bien ofrece mejores resultados que otros modelos vectoriales basados en la medida de distancias euclidianas entre los centroides de las teselas.
- Los resultados en los indicadores de fragmentación, *PARA* y *S* muestran que la mayoría de los LIC y las ZEPAs, así como los hábitats que protegen, no se ven afectados por las infraestructuras planteadas en el PEIT, por tanto, a nivel de plan se comprueba que se está evitando la afección a la Red Natura 2000 no atravesando las zonas protegidas. Sin embargo, el indicador de conectividad CCI muestra variaciones en casi todos los elementos de la Red Natura 2000, puesto que no es necesario que las infraestructuras atraviesen los hábitats para que exista una disminución de la conectividad. Dada la gran pérdida de conectividad, la legislación debería no sólo evitar en lo posible que las infraestructuras atraviesen las zonas más valiosas, sino todo el territorio necesario para garantizar su persistencia.
- Conviene estudiar los casos en los que se producen las mayores alteraciones, ya que en algunas ocasiones, el poco nivel de detalle de las actuaciones existentes a nivel de plan podría ocasionar la obtención de resultados que no se corresponden con la realidad, lo que podría llevar a una toma de decisiones incorrecta. Tal es el caso de los LIC, las ZEPAs, y los hábitats de menor superficie.

Referencias bibliográficas

- Adriaensen, F., Chardon, J.P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulink, H., Matthysen, E., (2003): "The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model", *Landscape and Urban Planning*, 64, pp.233-247.
- Baskent, E.Z., (1999): "Controlling spatial structure of forested landscapes: a landscape study towards landscape management", *Landscape Ecology*, 14, pp. 83-97.
- Brook B. W., Sodhi, N.S., Ng P.K.L., (2003): "Catastrophic extinctions follow deforestation in Singapore", *Nature*, 24, pp. 420-423.
- Bunn A. G., Urban D. L., Keitt T. H.,(2000): "Landscape connectivity: A conservation application of graph theory", *Journal of Environmental Management*, 59, pp. 265-278.
- Consejo de las Comunidades Europeas, (1992): *Directiva 92/43/CEE Del Consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres*. Luxemburgo, Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- Comisión Europea (2003): *Habitat fragmentation due to transport infrastructure – The European Review*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- DGBIO, (1995): *Mapa de Hábitats, versión de octubre de 2005*. Dirección General de la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente.
- DGBIO, (2005): *Mapa de LICs*. Madrid, Dirección General de la Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente.

Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008): "Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 44-60. ISSN: 1578-5157

DGBIO, (2005): *Mapa de ZEPAs*. Madrid, Dirección General de la Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente.

Dijkstra, E. W., (1959): "A note on two problems in connexion [sic] with graphs", *Numeriske Matematik*, 1, pp. 269-271.

EEA (2000): *Corine land cover 2000 (CLC2000) 100 m, versión 8/2005*. Copenhagen, European Environment Agency.

Forman, R. T. T. y Alexander, L. E., (1998): "Roads and their major ecological effects", *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, pp. 207-231.

Forman R.T.T., Sperling D., Bissonette J.H., Clevenger A.P., Cutshall C.D., Dale V.H., Fahrig L., France R., Goldman C.R., Heanue K., Jones J.A., Swanson F.J., Turrentine T. y Winter T.C., (2003): *Road ecology, science and solutions*. Washington, Island Press.

García Martín, H. y Goldenfeld, N. (2006): "On the origin and robustness of power-law species-area relationships in ecology", en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, pp. 10310-10315.

Geneletti, D. (2006): "Some common shortcomings in the treatment of impacts of linear infrastructures on natural habitat", *Environmental Impact Assessment Review*, 26, pp. 257-267.

Geneletti, D., (2004): "Using spatial indicators and value functions to assess ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures", *International Journal of Applied Earth Conservation and Geoinformation*, 5, pp.1-15.

Gustafson, E.J., Gardner, R. H. (1996): "The effect of landscape heterogeneity on the probability of patch colonization", *Ecology*, 77, pp. 94-107.

Hanski I. (1994): "A practical model of metapopulation dynamics", *Journal of Animal Ecology*, 63, pp.151-162.

Kinzig, A.P., Harte J. (2000): "Implications of endemics-area relationships for estimates of species extinctions", *Ecology*, 12, pp. 3305-3311.

Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihara, G., O'Neill, R.V. y Coleman, P.R., (1987): "Landscape patterns in a disturbed environment", *Oikos*, 48, pp. 321-324.

Lomolino M.V. (2000): "Ecology's most general, yet protean pattern: the species-area relationship", *Journal of Biogeography*, 27, pp 17-26.

Mancebo, S. (2007): *Fragtuls* [online URL: <http://topografia.montes.upm.es>]

Mancebo, S., Martín, B., Otero, I. y Casermeiro, M. Á. (2007): "A model for assessing habitat fragmentation caused by new infrastructures in extensive territories. Evaluation of the impact of the Spanish Strategic Infrastructure and Transport Plan", (en prensa).

Martín, B. (2006): *Estudio sobre la fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (plan estratégico de infraestructuras y transporte)*. Proyecto Fin de Carrera. ETSI de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

Martín, B., Mancebo, S., Ortega, E., López, E. (2006): "Evaluación de los efectos del PEIT sobre la fragmentación de hábitats" *III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente, Zaragoza, 25-27 de octubre, 2006*.

Marulli, J., Mallarach, J.M. (2005): "A GIS methodology for assessing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan Area", en *Landscape and Urban Planning*, 71, pp. 243-262.

McGarigal, K., y Marks, B. J. (1995): *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. General Technical Report PNW-GTR-351, United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon, USA.

Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008): "Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 8, p. 44-60. ISSN: 1578-5157

Ministerio de Fomento (2005): *PEIT: Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020*. Madrid, Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento.

Ney-Niffle, M., Mangel, M. (2000): "Habitat loss and changes in the species area relationship", en *Conservation Biology*, 3, pp. 893-898.

Nikiolakaki P. (2004) "A GIS site-selection process for habitat creation: estimating connectivity of habitat patches", en *Landscape and Urban Planning*, 68, pp. 77-94.

Rosenzweig M. L. (1999): "Heeding the warning in biodiversity's basic law", en *Science*, 284, pp. 276-277,

Rosenzweig, M. L. (1995): *Species diversity in space and time*. Cambridge, Cambridge University Press.

Rutledge, D. (2003): "Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: Can pattern reflect process?", en *Doc Science Internal Series 98*. Wellington, New Zealand Department of Conservation.

Saunders, D.A., Hobbs, R.J., y Margules, C.R. (1991): "Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review", en *Conservation Biology*, 5, pp.18-32.

Williamson, M. K. J. Gaston y Lonsdale, W. M. (2001): "The species-area relationship does not have an asymptote!", *Journal of Biogeography*, 28, 827-830.

TABLAS

Tabla 1. Ejemplos de variación de los indicadores en LIC.

LIC	Nombre	Área (ha)	S	PARA	Conectividad
ES4250005	Montes de Toledo	218.003,04	0,14	0,19	1,94
ES6150005	Marismas de Isla Cristina	2.498,04	8,83	20,58	54,11
ES2410040	Puertos de Panticosa, Bramatuero y Brazatos	3.021,63	10,54	8,50	30,14
ES6130001	Sierra de Cardeña y Montoro	38.390,53	7,99	8,24	20,04
ES1200032	Río Sella	500,60	13,94	11,99	23,90
ES4230009	Cueva de la Judía	196,62	15,01	29,15	16,75
ES4150098	Campo de Argañan	31.802,20	0,00	0,00	24,31

Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008): "Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p. 44-60. ISSN: 1578-5157

FIGURAS

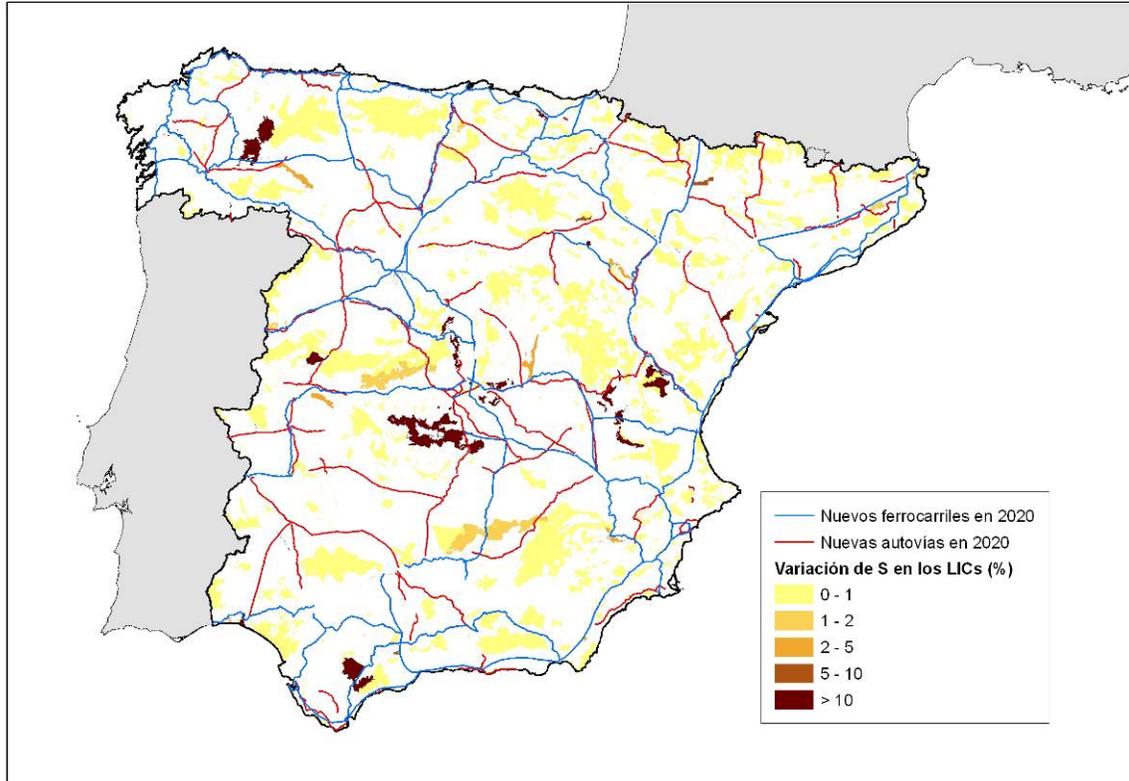


Figura 1. Pérdida de biodiversidad (S) en los LIC.

Elaboración propia.

Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008): "Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p. 44-60. ISSN: 1578-5157

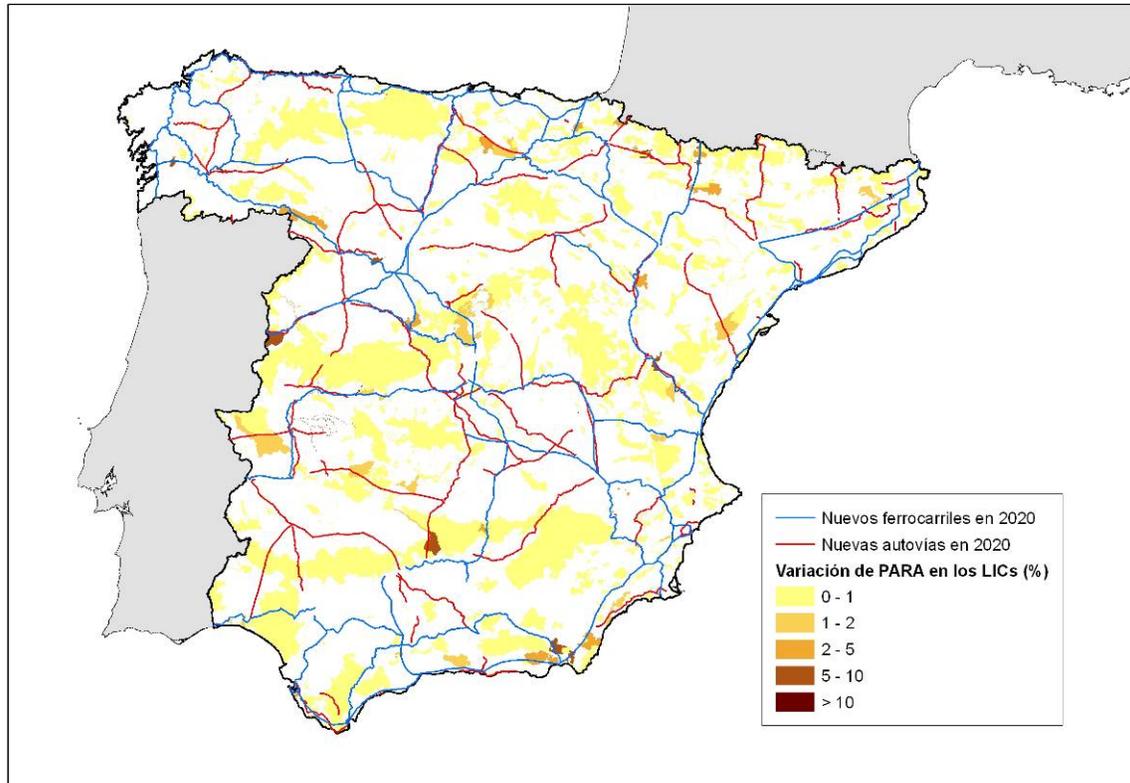


Figura 2. Variación de la relación perímetro-área (PARA) en los LIC.
Elaboración propia.

Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008): "Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p. 44-60. ISSN: 1578-5157

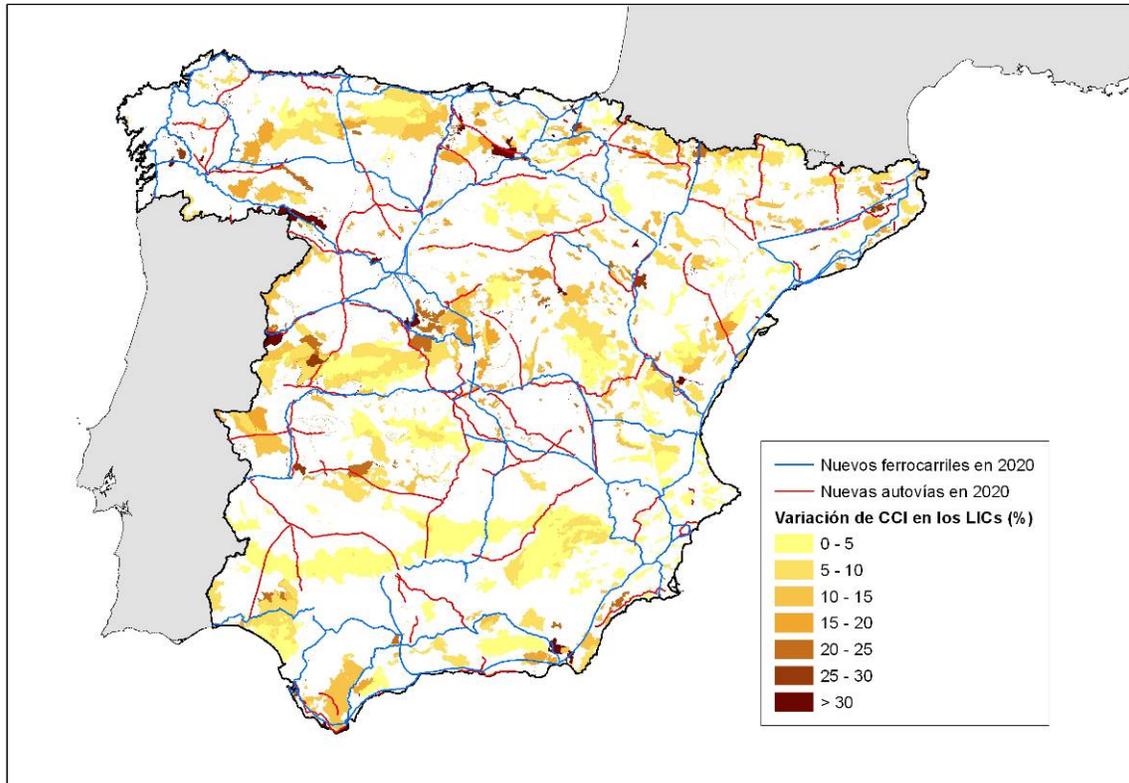


Figura 3. Pérdida de conectividad (CCI) en los LIC.
Elaboración propia.

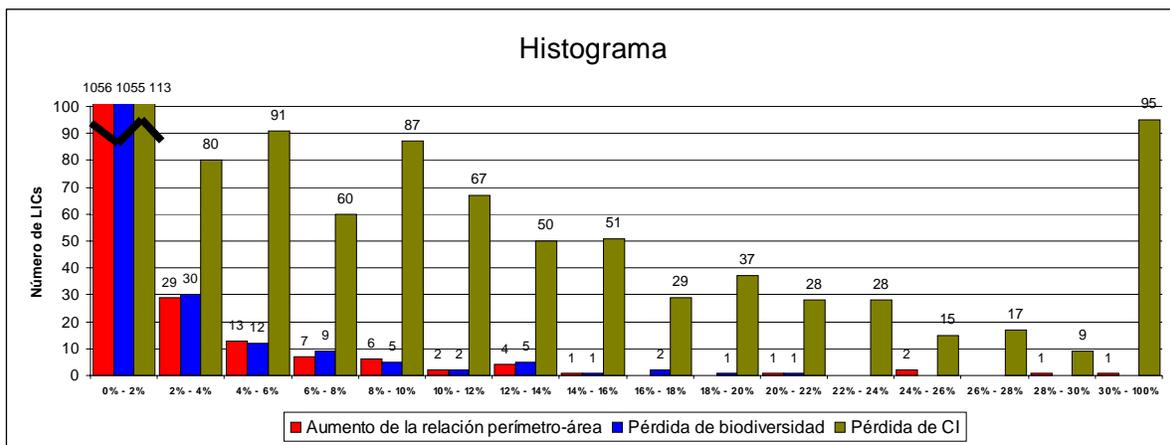


Figura 4. Distribución de la variación de los indicadores.
Elaboración propia.

Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008): "Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 8, p. 44-60. ISSN: 1578-5157

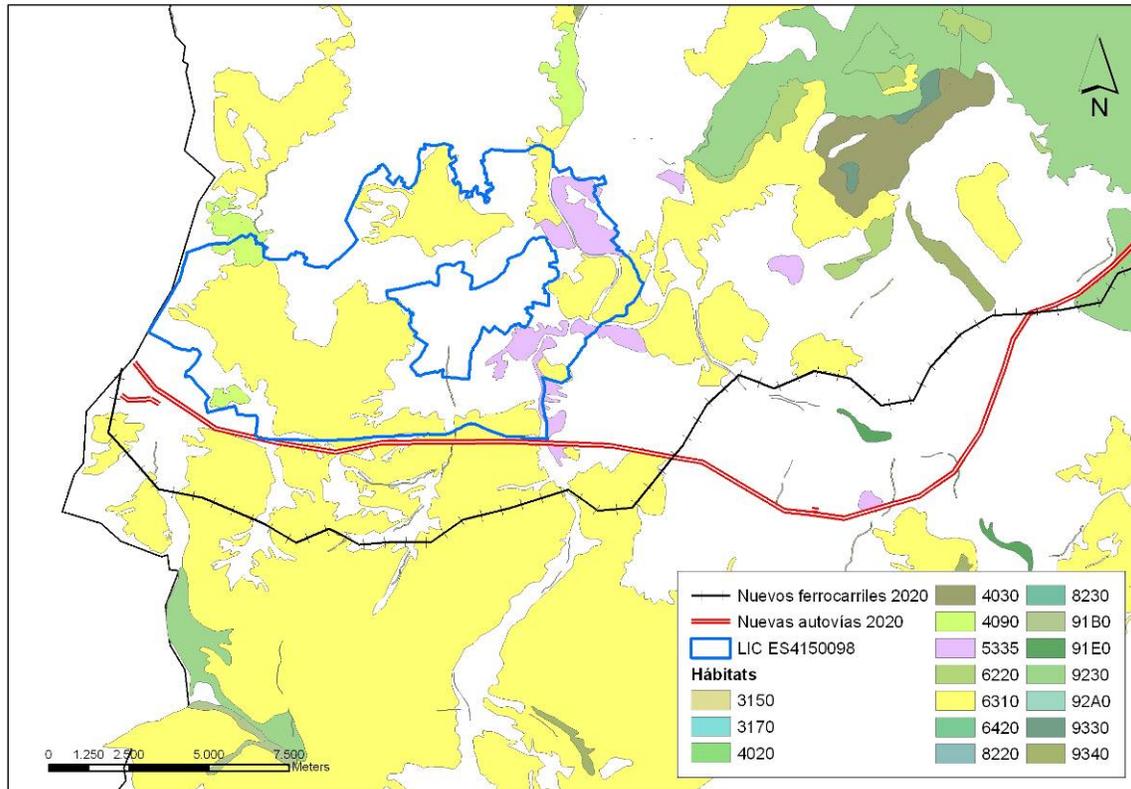


Figura 5. LIC ES4150098. Ejemplo de pérdida de conectividad (CCI).
Elaboración propia.