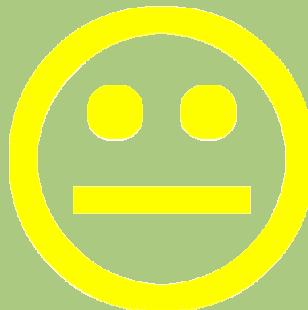


Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la CAPV



biodibertsitatea
eta paisaia
BIODIVERSIDAD Y
PAISAJE

2003



EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO
INGURUMEN ETAK LURRALDEK ANTOLAMENDU SAILA
DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE
Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



ingurumena.net

Destinatario	Dirección de Biodiversidad Gobierno Vasco Calle Donostia-San Sebastián, s/n 01010 Vitoria-Gasteiz
Documento	Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la Comunidad Autónoma del País Vasco
Referencia	
Fecha de edición	15 de agosto 2003
Autor	Mikel Gurrutxaga San Vicente
Revisión	18 de Septiembre de 2003

Tabla de contenidos

Tabla de contenidos.....	2
Introducción	3
Revisión de la fuente de información cartográfica de partida	3
Selección de ambientes y aplicabilidad de los índices de fragmentación y conectividad.....	6
<i>Vegetación de arenales costeros</i>	6
<i>Humedales</i>	7
<i>Brezales y matorrales</i>	7
<i>Formaciones herbáceas</i>	8
<i>Bosques autóctonos</i>	8
<i>Cultivos mediterráneos</i>	9
<i>Cultivos atlánticos.....</i>	9
Índice de fragmentación	12
Metodología.....	12
Cálculo del índice	13
<i>Vegetación de arenales costeros</i>	13
<i>Humedales</i>	14
<i>Brezales y matorrales</i>	15
<i>Formaciones herbáceas</i>	16
<i>Bosques autóctonos</i>	17
Interpretación del índice	18
<i>Rangos de variación del índice.....</i>	18
Análisis de situación y tendencias esperadas	19
<i>Vegetación de arenales costeros</i>	19
<i>Humedales</i>	19
<i>Brezales y matorrales</i>	20
<i>Formaciones herbáceas</i>	20
<i>Bosques autóctonos</i>	20
<i>Cultivos mediterráneos</i>	21
Información necesaria para seguir la evolución del índice	21
Otros índices de fragmentación	22
<i>Índices de fragmentación de hábitats rurales cultivados</i>	22
<i>Índices de fragmentación por infraestructuras viaarias</i>	22
Índice de conectividad	23
Metodología.....	23
Cálculo del índice	24
Interpretación del índice	29
<i>Rangos de variación del índice.....</i>	29
Análisis de situación y tendencias esperadas	29
Información necesaria para seguir la evolución del Índice	30
Bibliografía complementaria	31

Introducción

En el documento final del trabajo *Índice de biodiversidad y paisaje* (Paisaia S.L., 2003) se han propuesto unas bases de cara a la aplicación de índices de fragmentación y conectividad sobre aquellos ambientes de la Comunidad Autónoma del País Vasco de importancia para la conservación de la biodiversidad.

La incidencia de los procesos de fragmentación de hábitats naturales y semi-naturales y de pérdida de conectividad de las poblaciones silvestres que éstos albergan depende de una serie de factores y procesos interactuantes. No obstante, la reducción y creciente separación espacial de los hábitats presentes en un territorio se relacionan con la disminución en la abundancia, la distribución y la viabilidad de las poblaciones de organismos estrechamente ligados a los ambientes fragmentados. Así, los procesos de fragmentación de hábitats afectan de manera especialmente directa a especies de elevado interés conservacionista con exigentes requerimientos de hábitat.

La fragmentación se traduce en el creciente empequeñecimiento y aislamiento de las manchas de hábitat y poblaciones silvestres asociadas a éstas, si bien la magnitud de esta pérdida de conectividad depende de varios factores: la especie considerada, las características y la disposición en el paisaje de los fragmentos de hábitat, o las características de los espacios que separan dichos fragmentos son algunos de ellos. La sensibilidad de los organismos a la fragmentación de su ambiente no depende solo de su grado de especialización del hábitat, sino también de la capacidad de dispersión de la especie en cuestión. Ésta determina, a igualdad de condiciones de distribución del hábitat y de usos del suelo en el paisaje, la probabilidad de conservar el intercambio genético entre poblaciones que habitan manchas distantes o de colonizar nuevos territorios, factores considerados decisivos para la persistencia de las especies especialistas en paisajes fragmentados.

El índice de fragmentación propuesto es una medida cartográfica del grado de agregación espacial de las manchas de hábitat objeto de estudio. En cambio, el índice de conectividad se basa en la funcionalidad del territorio desde el punto de vista de la capacidad de movimiento de los organismos a través de los distintos usos del suelo (y la resistencia que éstos oponen a dicho movimiento), de forma que este indicador solo es aplicable cuando la capacidad dispersiva de especies indicadoras del hábitat objeto de estudio se ve influenciada de forma conocida por los diferentes usos del suelo del conjunto del territorio.

Revisión de la fuente de información cartográfica de partida

La definición de los ambientes propuestos por Paisaia, S.L. (2003) se ha fundamentado en el *Mapa de hábitats de la CAPV*. La elaboración de esta cartografía se ha realizado con base en la reclasificación del *Mapa de vegetación de la CAPV*, escala 1:25.000 (Aseginolaza *et al.*, 1987-1992), recogiendo la codificación de hábitats incorporada por la Directiva 92/43/CEE relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

Dado que la aplicación de los índices de fragmentación y conectividad ha de referirse a ámbitos territoriales continuos, el citado mapa de hábitats no la permite, al no incluir la información referida a las áreas de Treviño y Trucios, insertas en el interior del perímetro de la CAPV.

Por su mayor sencillez de manejo y por incluir información de la totalidad del territorio inmerso en los límites externos de la CAPV, se propone la sustitución del Mapa de hábitats como fuente de información cartográfica de partida por el Mapa de vegetación de la CAPV, escala 1:25.000 (Aseginolaza *et al.*, 1987-1992).

Las clases de vegetación y usos del suelo en que clasifica el territorio el citado *Mapa de vegetación* son las siguientes:

Bosques

- 1,pinar de pino carrasco
- 2,pinar de pino albar
- 3,pinar de pino marítimo
- 4,carrascal mediterráneo seco
- 5,carrascal montano subhúmedo
- 5a,carrascal con boj
- 6,encinar cantábrico
- 6a,alcornocal
- 7,quejigal con boj
- 8,quejigal subcantábrico
- 9,quejigal atlántico
- 10,robledal-quejigal calcícola
- 11,marojal
- 12,robledal eutrofo subatlántico
- 13,robledal acidófilo y robledal-bosque mixto atlántico
- 14,fase juvenil o muy degradada de la unidad anterior
- 15,bosque mixto de crestón o pie de cantil calizo
- 16,robledal de roble albar
- 17,abedular

- 18,hayedo con boj
- 19,hayedo calcícola o eútrofo
- 20,hayedo acidófilo
- 21,fresneda-olmeda
- 22,alameda-aliseda mediterránea y/o de transición
- 23,aliseda cantábrica

Matorrales

- 24,romeral
- 25,coscojar
- 26,bujedo
- 27,enebral-pasto con junquillo y/o prebrezal margoso
- 28,prebrezal subcantábrico petrano
- 28a,prebrezal subcantábrico petrano
- 29,prebrezal atlántico
- 30,brezal subcantábrico
- 31,brezal-argomal-helechal atlántico
- 32,brezal mediterráneo con *Erica escoparia* y/o madroñoo
- 33,bortal o matorral alto termo-atlántico
- 34,brezal alto montano
- 35,espinar o zarzar
- 36,sauceda

Vegetación herbácea

- 37,espartal
- 38,pasto xerófilo de *Brachypodium retusum* con tomillo y aulaga
- 39,complejo de pastos parameros
- 40,lastonar de *Brachypodium pinnatum* y otros pastos mesófilos
- 41,pasto silícícola de *Agrostis curtisiae*
- 42,pradera montana
- 43,herbazal alto de umbría silícea
- 44,prados y cultivos atlánticos
- 45,prados junciales-trampales o depresiones inundables
- 46,vegetacion de gleras
- 47,vegetacion de graveras fluviales
- 48,pasto petrano calcícola
- 49,complejo de vegetación de roquedos calizos
- 50,vegetación de roquedos silíceos
- 51,complejo de vegetación de acantilados litorales
- 52,vegetación de arenales costeros
- 53,vegetación de cubetas endorreicas
- 54,vegetación de marismas

- 55,turberas y brezales turbosos
- 56,carrizales y formaciones de grandes cárices
- 57,vegetación acuática

Vegetación antropogénica y nitrófila

- 58,vegetación ruderalf-nitrofíla
- 59,vegetación de erosiones margo-arcillosas
- 60,zonas sin vegetación
- 61,plantaciones forestales
- 62,parques urbanos y jardines
- 63,olivares
- 64,viñedos
- 65,cultivos en zonas arenosas
- 66,cultivos de cereal patata y remolacha
- 67,huertas y frutales mediterráneos

Selección de ambientes y aplicabilidad de los índices de fragmentación y conectividad

La selección de los ambientes objeto de estudio es clave de cara a dotar de significado a los indicadores propuestos, ya que la aplicación de éstos ha de realizarse sobre conjuntos de hábitats afines poseedores de una comunidad biológica propia, con especies especialistas sensible a la fragmentación del hábitat. En el presente texto se realiza una revisión de los ambientes o conjuntos de hábitats propuestos por Paisaia, S.L. (2003) con el fin de seleccionar grupos de hábitats sobre los que dichos indicadores tengan, con base en los criterios citados, una aplicación suficientemente fundamentada.

Por tanto, la presente selección se ha basado en la existencia (o presencia potencial) en el territorio de estudio de especies especialistas asociadas a los hábitats cuya evolución se pretende analizar, de forma que dichas especies sean sensibles al empequeñecimiento y el aislamiento de sus poblaciones provocada por la fragmentación y pérdida de conectividad de los hábitats en los que desarrollan su ciclo vital.

Vegetación de arenales costeros

No se han considerado aplicables los conceptos de fragmentación y conectividad con respecto al ambiente de costa y vegetación halofítica propuesto por Paisaia, S.L., por incluir diversos tipos de hábitats muy dispares entre sí y no poseedores de una comunidad biológica característica en su conjunto. Dentro de este conjunto de hábitats,

únicamente se han considerado conceptualmente aplicable el criterio de fragmentación a las manchas de vegetación de arenales costeros, con base en su flora vascular característica. Existen varias especies de flora amenazada asociadas los arenales costeros en la CAPV. La conectividad entre las manchas tan solo se ve condicionada por la propia fragmentación espacial, de forma que no se considera aplicable el índice de conectividad sobre este tipo de hábitat o ambiente. La capacidad dispersiva de dichas plantas no se ve condicionada, al menos de forma conocida, por la tipología de los usos del suelo existentes entre las manchas que ocupan.

Humedales

Las marismas y lagunas y charcas salobres, por otro lado, se han incluido en un ambiente que definimos como humedales en base a las especies de avifauna asociadas a los mismos, ya sean de agua dulce o de aguas salobres, interiores o costeros. Este ambiente es más amplio que el de agua dulce estancada y turberas, propuesto por Paisaia S.L. (2003). Dada la gran capacidad de desplazamiento de las citadas especies, muchas de ellas migratorias, se considera tan solo aplicable el índice de fragmentación sobre este tipo de hábitats. La conectividad en este caso es tan solo consecuencia del grado de separación espacial de los humedales y de la superficie de los mismos, ya que las especies asociadas a escala regional acceden a ellos por aire. Las especies de anfibios asociadas a los humedales no operan a escala regional de la CAPV, ya que restringen su área de distribución potencial a zonas menores del territorio debido a condicionantes biogeográficos; este el caso de la rana ágil (*Rana dalmatina*), la ranita meridional (*Hyla meridionalis*), el sapillo pintojo ibérico (*Discoglossus galganoi*) y el sapo corredor (*Bufo calamita*).

Los humedales y su vegetación asociada juegan un papel determinante en la conservación de la biodiversidad de la Comunidad Autónoma del País Vasco, existiendo 14 especies de fauna amenazada (dentro de las categorías de “en peligro de extinción”, “vulnerables” y “raras” del *Catálogo vasco de especies amenazadas*) asociados estrechamente a ellos.

Brezales y matorrales

Respecto a los ambientes de brezales y matorrales se han incluido los tipos de hábitats predefinidos en el documento final del *Índice de biodiversidad y paisaje* (Paisaia, S.L., 2003), a pesar de la dudosa presencia de especies sensibles a la fragmentación especialistas de este tipo de hábitats que operen a escala del conjunto de la CAPV. Las

especies que dependen estrechamente de los hábitats arbustivos suelen ser especies multihábitat, que desarrollan ciertas funciones en otro tipo de ambientes. No obstante, existen algunas especies de paseriformes que asientan sus poblaciones en matorrales y que se distribuyen en las masas arbustivas de mayor calidad. Otras especies como la perdiz roja (*Alectoris rufa*) dependen en gran medida de estos terrenos arbustivos. No obstante, al tratarse de aves, de dispersión aérea, el índice de conectividad no se considera aplicable sobre este ambiente a escala de la Comunidad Autónoma.

Formaciones herbáceas

En cuanto a los ambientes de formaciones herbáceas, se han incluido todos los tipos de hábitat predefinidos, a excepción de los prados-junciales que se han incluido en los ambientes de humedal. Los hábitats herbáceos incluidos en este grupo poseen características muy diversas y una distribución espacial condicionada por factores climáticos y altitudinales, así como por los usos del suelo que los han originado. Cabe diferenciar los herbazales de montaña de los de valle, en general asociados al pastoreo los primeros y a espacios cultivados los segundos. Por ello la consistencia de este ambiente es más débil que el del resto, dado lo dispar de los hábitats incluidos y de los organismos silvestres que los utilizan. No obstante, es posible definir ciertas especies de avifauna sensibles a la fragmentación que dependen de estos hábitats. Así, se considera aplicable el índice de fragmentación sobre este tipo de ambientes a escala regional, no así el de conectividad.

Bosques autóctonos

En los ambientes de bosque, que constituyen la vegetación climática en la mayor parte del espacio de estudio, se han incluido todos los tipos de bosques autóctonos. Los criterios de fragmentación y conectividad son claramente aplicables sobre estos ambientes, dada la dependencia que tienen de ellos ciertas especies forestales especialistas, tanto voladoras como de dispersión terrestre, que han visto reducido y fragmentado su hábitat a un archipiélago de manchas más o menos distantes entre sí. Entre las especie afectadas cabe citar la marta (*Martes martes*) y el lirón gris (*Glis glis*). Especialmente los mamíferos forestales ven dificultado su desplazamiento entre las manchas de bosque de forma diferente por los diversos usos del suelo presentes en el territorio. El índice de conectividad trata de cuantificar el grado de permeabilidad del territorio a estos desplazamientos entre hábitats favorables a través de una matriz de espacios más o menos inhóspitos.

La importancia relativa de los bosques en la conservación de la biodiversidad de la Comunidad Autónoma del País Vasco es muy elevada. Dentro del *Catálogo vasco de especies amenazadas*, en las categorías de “en peligro de extinción”, “vulnerables” y “raras” se encuentran 13 especies de fauna que dependen estrechamente de los bosques autóctonos.

Cultivos mediterráneos

Los hábitats rurales mediterráneos (que incluyen todos los cultivos mediterráneos) poseen una fauna característica asociada a los mismos. No obstante, la fragmentación, más allá de la disposición de las zonas cultivadas en el territorio, es un concepto relacionado en este caso con la pérdida de estructuras de vegetación espontánea dentro de las parcelas, como setos, bosquetes y ribazos. Además, las grandes superficies dedicadas a los cultivos mediterráneos en Álava, algunas de ellas de gran continuidad espacial (Llanada Alavesa y Rioja Alavesa especialmente), hace escasamente presumible una problemática de fragmentación y pérdida de conectividad de las poblaciones silvestres que las habitan. Así, los conceptos de fragmentación y conectividad no tienen aplicación directa sobre estos hábitats en sentido amplio, sino más bien sobre aquellos cultivos que conservan una estructura adecuada y un modo de explotación poco agresivo. No se dispone de esta información geográfica de partida, tan solo la de la distribución de ciertas especies asociadas a estos hábitats.

Cultivos atlánticos

Por último, los hábitats rurales atlánticos (prados y cultivos atlánticos) no son habitados por organismos especialistas, si no por especies que utilizan el mosaico de elementos del paisaje de campiña de forma complementaria a otros tipos de hábitat. Así, no se han considerado aplicables los conceptos de fragmentación y conectividad sobre este ambiente, ya la magnitud de ambos fenómenos se asocia, al igual que en el caso de los cultivos mediterráneos, a la forma de explotación de los mismos y al grado de presencia de estructuras de vegetación espontánea como setos, bosquetes, arbolado añoso disperso, etc.

La importancia de la estructura de las áreas cultivadas tiene gran importancia de cara a la conservación de la biodiversidad de la CAPV. El mantenimiento de estructuras de vegetación espontánea es fundamental para el asentamiento, la alimentación o el refugio de diversas especies amenazadas. La destrucción de setos en los paisajes agrícolas, por ejemplo, es uno de los principales factores de regresión de 5 especies

del *Catálogo vasco de especies amenazadas* dentro de las categorías de “vulnerables” y “raras”.

Clases de vegetación de los ambientes definidos

A continuación se listan las unidades del *Mapa de vegetación de la Comunidad Autónoma del País Vasco*, escala 1:25.000 (Aseginolaza et al., 1987-1992) incluidas en cada ambiente definido:

- Vegetación de arenales costeros: 52
- Humedales: 45, 54, 55, 56, 57, 60 (zonas sin vegetación: solo embalses)
- Matorrales: 24 a 36, excepto 28 y 29 (prebrezales), 35 (espinar o zarzal) y 36 (sauceda)
- Formaciones herbáceas: 38 a 43, 48, 53
- Bosques: 1 a 23, excepto 3 (pinar de pino marítimo) y 14 (fase juvenil o muy degradada del robledal acidófilo y robledal-bosque mixto atlántico)
- Cultivos mediterráneos: 63 a 67
- Cultivos atlánticos: 44

AMBIENTES/INDICADORES	ÍNDICE DE FRAGMENTACIÓN	ÍNDICE DE CONECTIVIDAD
Arenales costeros	Aplicable	No aplicable
Humedales	Aplicable	No aplicable a escala CAPV
Matorrales	Aplicable	No aplicable a escala CAPV
Herbáceas	Aplicable	No aplicable a escala CAPV
Bosques	Aplicable	Aplicable
Cultivos mediterráneos	No aplicable	No aplicable
Cultivos atlánticos	No aplicable	No aplicable

Tabla 1. Aplicabilidad de los índices de fragmentación y conectividad sobre los ambientes.

Índice de fragmentación

Metodología

Una vez seleccionados los ambientes o grupos de hábitats afines cuya evolución del grado de fragmentación se desea evaluar, se crean los mapas que recogen las áreas del territorio que contienen cada uno de ellos, en base a la información cartográfica disponible actualmente (*Mapa de vegetación de la CAPV, 1987-1992*). Concretamente, para cada tipo de ambiente, se seleccionan aquellas áreas del territorio en las que están presentes tanto los hábitats correspondientes de mayor cobertura como los segundos de mayor cobertura.

Posteriormente se procede a aplicar el índice de fragmentación sobre cada uno de los mapas creados. Los valores numéricos resultantes en este primer cálculo serán comparados en años posteriores con los que se obtendrán con nueva información geográfica de tipos de vegetación, en períodos de cinco a diez años. Al tratarse de la primera medición del índice, no se puede realizar aún una valoración sobre la evolución del mismo para los diferentes ambientes.

La ecuación utilizada para calcular el índice de fragmentación es la siguiente:

$F = \text{superficie total del hábitat} / (\text{número de manchas} \times \text{dispersión de las manchas})$,

Donde, dispersión de las manchas (R_c) = $2 d_c (\lambda/\pi)$,

d_c = distancia media desde una mancha (su centro o centroide) hasta la mancha más cercana.

λ = densidad media de manchas = (número de manchas/superficie total del área de estudio en Ha.) x 100 = número de manchas por cada 100 Ha.

La superficie del área de estudio varía en función del ámbito espacial de distribución potencial de los diferentes ambientes. Así, se ha considerado que para los arenales costeros la superficie de estudio se restringe a una banda costera de dos kilómetros de ancho. Para los humedales (tanto costeros como interiores), matorrales, formaciones herbáceas y bosques el área de estudio corresponde a la totalidad de la Comunidad Autónoma del País Vasco, incluyendo los territorios de Trucios y Treviño. Por último, para los cultivos atlánticos y mediterráneos, el ámbito espacial de estudio corresponde a la vertiente cantábrica y mediterránea de la CAPV respectivamente.

Cálculo del índice

Vegetación de arenales costeros

En primer lugar se genera el mapa de áreas de vegetación de arenales costeros, sobre el que aplicar el índice de fragmentación.

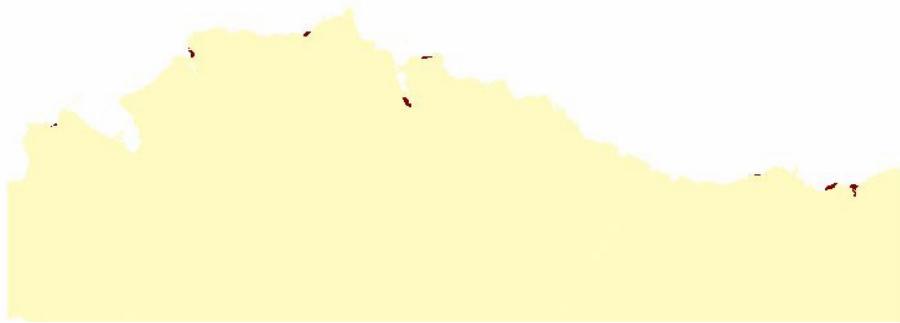


Figura 1. Zonas de vegetación de arenales costeros.

$F = \text{superficie total del hábitat} / (\text{número de manchas} \times \text{dispersión de las manchas})$

Superficie total del hábitat = 98,59 ha.

Número de manchas = 10

Dispersión de las manchas (R_c) = $2 d_c (\lambda/\pi)$

d_c = distancia media desde una mancha (su centro o centroide) hasta la mancha más cercana = 4.699 m = 46, 99 hm.

λ = densidad media de manchas = (número de manchas/superficie total del área de estudio en ha) x 100 = número de manchas por cada 100 ha

A = superficie total del área de estudio = 54.634 ha.

$\lambda = 0,02$

$R_c = 2 d_c (\lambda/\pi) = 0,55$

F = 18,01

Humedales

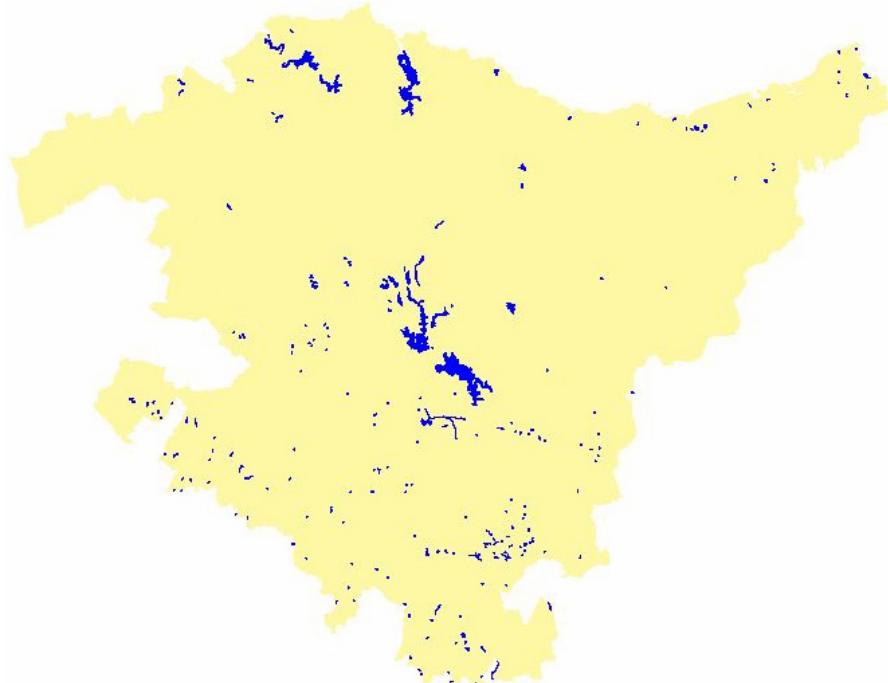


Figura 2. Humedales interiores y costeros y vegetación asociada.

$F = \text{superficie total del hábitat} / (\text{número de manchas} \times \text{dispersión de las manchas})$

Superficie total del hábitat = 5.095,36 ha.

Número de manchas = 498

Dispersión de las manchas (R_c) = $2 d_c (\lambda/\pi)$

d_c = distancia media desde una mancha (su centro o centroide) hasta la mancha más cercana = 1109 m = 11,09 hm.

λ = densidad media de manchas = (número de manchas/superficie total del área de estudio en ha) x 100 = número de manchas por cada 100 ha

A = superficie total del área de estudio = 752.526,90 ha.

$\lambda = 0,07$

$R_c = 2 d_c (\lambda/\pi) = 0,47$

F = 21,90

Brezales y matorrales

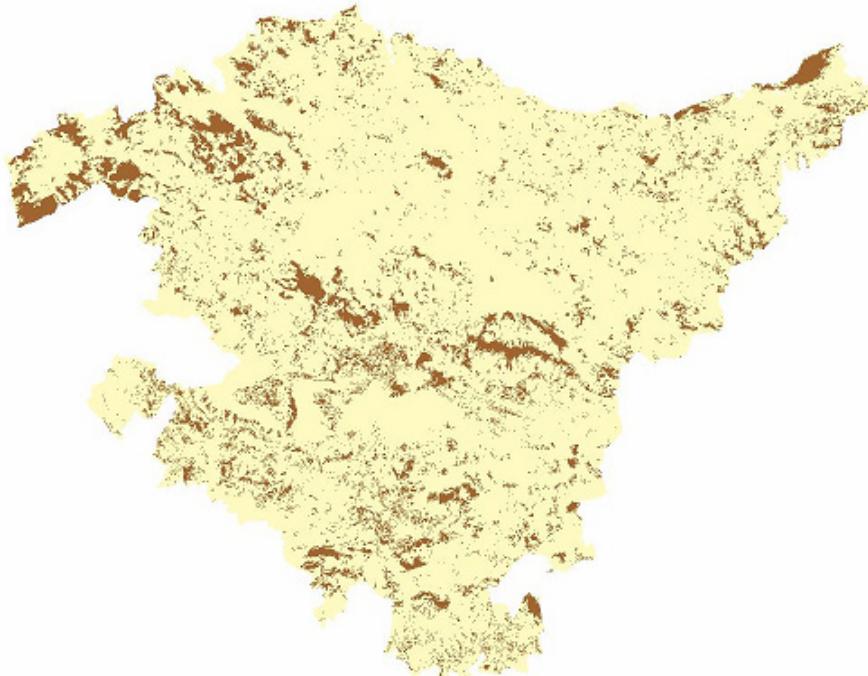


Figura 3. Formaciones de brezales y matorrales.

$F = \text{superficie total del hábitat} / (\text{número de manchas} \times \text{dispersión de las manchas})$

Superficie total del hábitat = 93.038,26 ha.

Número de manchas = 8.101

Dispersión de las manchas (R_c) = $2 d_c (\lambda/\pi)$

d_c = distancia media desde una mancha (su centro o centroide) hasta la mancha más cercana = 432 m = 4,32 hm.

λ = densidad media de manchas = (número de manchas/superficie total del área de estudio en ha) x 100 = número de manchas por cada 100 ha

A = superficie total del área de estudio = 752.526,90 ha.

$\lambda = 1,08$

$R_c = 2 d_c (\lambda/\pi) = 2,96$

F = 3,88

Formaciones herbáceas

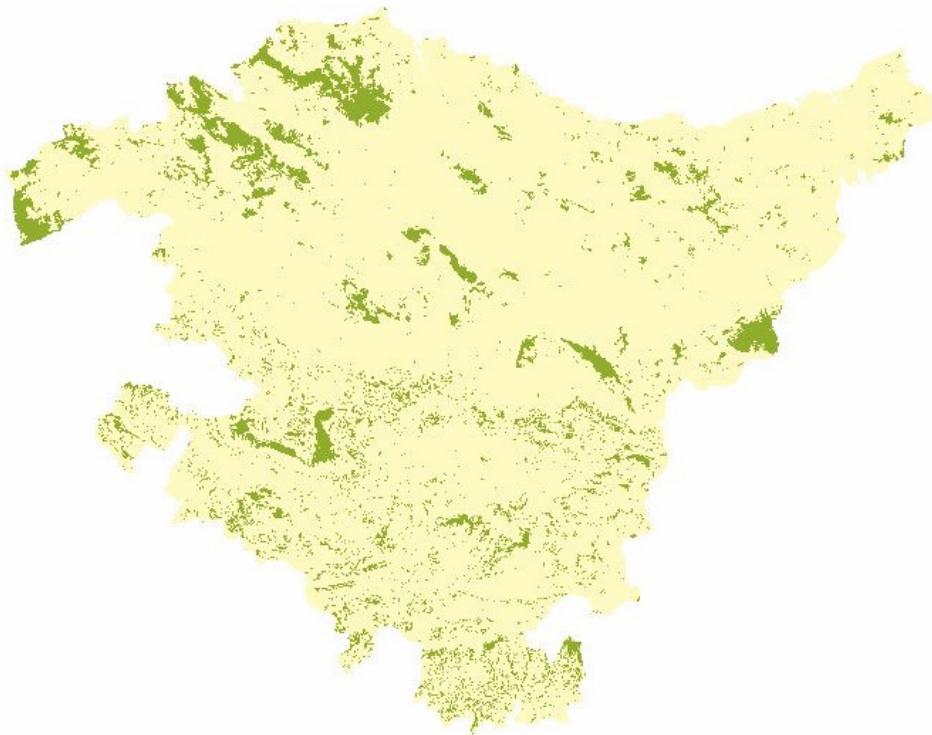


Figura 4. Formaciones herbáceas.

$F = \text{superficie total del hábitat} / (\text{número de manchas} \times \text{dispersión de las manchas})$

Superficie total del hábitat = 69.317,08 ha.

Número de manchas = 6141

Dispersión de las manchas (R_c) = $2 d_c (\lambda/\pi)$

d_c = distancia media desde una mancha (su centro o centroide) hasta la mancha más cercana = 444 m = 4,44 hm.

λ = densidad media de manchas = (número de manchas/superficie total del área de estudio en ha) x 100 = número de manchas por cada 100 ha

A = superficie total del área de estudio = 752.526,90 ha.

$\lambda = 0,82$

$R_c = 2 d_c (\lambda/\pi) = 2,31$

F = 4,89

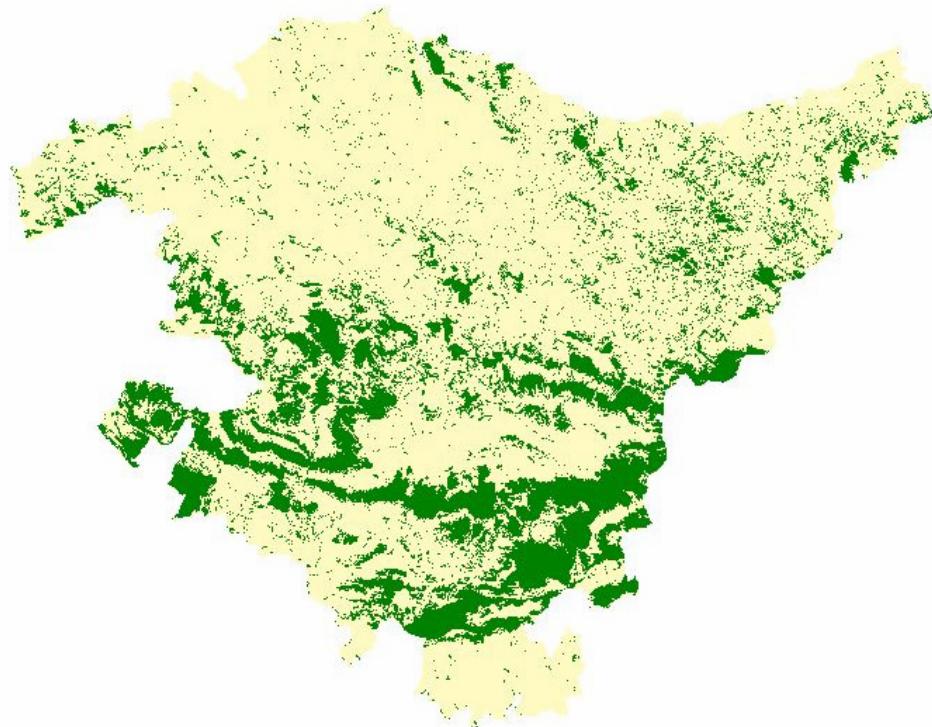


Figura 5. Bosques autóctonos.

F = superficie total del hábitat/ (número de manchas x dispersión de las manchas)

Superficie total del hábitat = 155.608,46 ha.

Número de manchas = 8563

Dispersión de las manchas (R_c) = $2 d_c (\lambda/\pi)$

d_c = distancia media desde una mancha (su centro o centroide) hasta la mancha más cercana = 419 m = 4,19 hm.

λ = densidad media de manchas = (número de manchas/superficie total del área de estudio en ha) x 100 = número de manchas por cada 100 ha

A = superficie total del área de estudio = 752.526,90 ha.

$\lambda = 1,14$

$$R_c = 2 d_c (\lambda/\pi) = 3,04$$

$$F = 5,99$$

Interpretación del índice

El índice de fragmentación no es comparable entre diferentes ambientes, dadas las dispares características propias de cada uno de ellos en cuanto a patrón de distribución espacial, factores que explican el origen o la presencia de los mismos, etc. Por tanto, la evaluación de la evolución de este índice se realizará únicamente entre datos referidos al mismo ambiente.

Para cada tipo de ambiente, la tendencia del índice será evaluada en función de su incremento o disminución. El índice propuesto utiliza una escala inversamente proporcional al grado de fragmentación del paisaje. Así, un aumento del valor del índice se relaciona con una disminución del grado de fragmentación, y a la inversa. Esto se debe, atendiendo a la fórmula del índice, a que el incremento de la fragmentación se relaciona con la disminución de la superficie total de las manchas, un mayor número de fragmentos (manchas) y una mayor dispersión de éstas.

Rangos de variación del índice

Los rangos numéricos entre los que puede oscilar el índice de fragmentación son diferentes para cada ambiente. En el caso de vegetación de arenales costeros y humedales, los bajos valores de dispersión de las manchas provocan valores de F sensiblemente mayores que en bosques, matorrales y formaciones herbáceas. Esta baja dispersión está causada por la baja densidad de manchas por unidad de superficie de los primeros ambientes respecto a los segundos, a pesar de las elevadas distancias medias entre manchas de arenal costero o de humedal.

De cara a establecer unos rangos de máximo y mínimo valor de F para cada ambiente, cabe resaltar ciertos aspectos. La vegetación potencial de la Comunidad Autónoma del País Vasco está, excepto en zonas concretas de roquedos, arenales costeros, marismas y vegetación acuática herbácea, formada por bosques. Éstos ocuparían, según el *Mapa de vegetación potencial de la CAPV* (Aseginolaza *et al.*, 1992), el 89,2 % del territorio. Por tanto, potencialmente la superficie máxima de las formaciones boscosas, arbustivas ó herbáceas (estas dos últimas tienen su origen en la degradación de los bosques) abarca una gran mancha que cubriría prácticamente todo el territorio de la CAPV. Así, el máximo valor del índice de fragmentación tiende a infinito, dado que la

distancia de la mancha única de cualquiera de los tres ambientes consigo misma sería cero. En cambio, el mínimo valor de F tendería a cero (máxima fragmentación).

Los rangos de variación del índice de fragmentación para arenales costeros y humedales son potencialmente más estrechos que los de bosques, matorrales y formaciones herbáceas. Dado que su área de distribución potencial es muy restringida en la CAPV y se distribuyen en manchas dispersas de forma natural, los valores teóricos máximos del índice (mínima fragmentación) no tienden a cero y se sitúan por encima de 10. Asimismo, los valores mínimos del índice (máxima fragmentación), debido al limitado número de manchas que pueden existir en el territorio (a pesar de que los humedales pueden ser de origen antrópico), no son tan altos como los que pueden alcanzar los ambientes de bosque, matorral o herbáceas.

Análisis de situación y tendencias esperadas

Vegetación de arenales costeros

Si bien no se dispone de datos comparables en el tiempo sobre la extensión y disposición de las zonas de vegetación de arenales costeros, es conocida la reducción superficial y consiguiente fragmentación de este ambiente por destrucción de hábitat debido a obras de urbanización principalmente, durante el siglo XX. Así, con base en estudios botánicos, se ha observado en la CAPV la desaparición de numerosas especies de flora de arenales costeros durante el siglo XX. La tendencia regresiva mantenida hasta la última década ha sido frenada por la creciente protección de estas formaciones de vegetación de arenales costeros. Así, desde la cartografía de 1987-1992 cabe esperar un mantenimiento de las áreas ocupadas por este ambiente e incluso un ligero aumento por la restauración de ciertos enclaves donde ésta ha sido posible.

Humedales

Durante el siglo XX los humedales se han visto severamente degradados por la acción del hombre. La reducción y fragmentación de las manchas presentes en la CAPV desde principios del siglo XX hasta el periodo 1987-1992 está fuera de toda duda. Entre los periodos de 1985 y 2001 se ha observado, con base en estudios faunísticos, una regresión en las especies que utilizan los humedales costeros y una mejora en las que utilizan los humedales interiores. Asimismo, con base en estudios florísticos se ha observado la desaparición de varios taxones de flora de humedales costeros desde inicios del siglo XX.

Brezales y matorrales

A falta de datos anteriores y posteriores comparables al índice de fragmentación de manchas arbustivas obtenido en el presente documento, no es posible establecer tendencias de forma directa. A partir del periodo analizado de 1987-1992 las próximas mediciones con nueva información cartográfica determinarán las tendencias hacia un futuro próximo.

Como dato a tener en cuenta, con base en la comparación de los inventarios forestales de la CAPV de 1985 y 1996, se aprecia una reducción de la superficie total de matorral de 6.030 ha en ese periodo. No obstante, la comparación entre inventarios ha de realizarse con cautela, dado que cada uno responde a diferentes metodologías condicionadas por las tecnologías al uso en el momento de su realización. A su vez, las clasificaciones empleadas presentan fronteras no fácilmente definibles en algunas de sus clases; ello es debido a que las formaciones vegetales presentan gran cantidad de mezclas y gran variedad de estados de desarrollo de las masas que las hace difícilmente clasificables. Esto puede introducir una pequeña dosis de subjetividad, homogeneizable a lo largo de todo el proceso de realización de un inventario, pero que puede distorsionar levemente la comparabilidad interinventarial.

Formaciones herbáceas

Al igual que en caso de las formaciones arbustivas, no es posible establecer tendencias de fragmentación de herbazales. Además, la escasa coherencia interna de éstos, hace más difícil la interpretación ambiental del índice de fragmentación de herbazales.

Bosques autóctonos

Si bien no existen datos comparables de fragmentación de bosques referidos a diferentes periodos temporales, teniendo en cuenta la potencialidad forestal del territorio de la CAPV, el patrón espacial de distribución del hábitat boscoso autóctono en el mapa de 1987-1992 pone de manifiesto una gran fragmentación de este ambiente.

No obstante, tomando como punto de partida épocas recientes, existen los datos de superficie de masas autóctonas de los inventarios forestales de la CAPV de 1985 y 1996, observándose una recuperación general en la superficie de las mismas durante ese periodo.

TIPO	SUPERFICIE 1985 (HA)	SUPERFICIE 1996 (HA)	BALANCE (HA)
Hayedo	52.200	54.200	+2.000

Robledal	11.700	13.600	+1.900
Bosque atlántico	22.000	26.000	+4.000
Pinar de pino silvestre	16.500	18.900	+2.400

Tabla 2. Superficie de bosques autóctonos según los inventarios forestales disponibles.

Cultivos mediterráneos

A pesar de que el índice de fragmentación propuesto no se ha considera aplicable sobre los hábitats rurales mediterráneos, con base en estudio faunísticos se ha observado una regresión comparativa de las especies silvestres asociados a ellos entre 1985 y 2001. Esto da idea de la fragmentación y degradación ecológica que han sufrido estos hábitats, tanto por la pérdida de setos y bosquetes intersticiales como por el uso abusivo de abonos y productos fitosanitarios.

Información necesaria para seguir la evolución del índice

De cara a la aplicación del índice de fragmentación propuesto, se requiere disponer de sucesivos mapas de vegetación, obtenidos de forma análoga al utilizado en este documento. El análisis deberá realizarse a la misma escala 1:25.000.

Cabe la posibilidad de que la aplicación de índices de fragmentación deriven en dos sentidos. Por un lado, los futuros mapas de hábitats incorporarán, a una escala espacial más detallada (1:10.000), nuevas unidades de vegetación y elementos del paisaje imperceptibles en el actual *Mapa de vegetación de la CAPV* (Aseginolaza *et al.*, 1987-1992). Así, la información de partida posiblemente no será directamente comparable.

En caso de trabajar a escala 1:25.000 con los futuros mapas de hábitats, se deberá depurar la información de manchas que no superen un umbral de superficie a determinar, evitando así considerar elementos del paisaje que no hubieran sido recogidos en el mapa de vegetación anterior (Aseginolaza *et al.*, 1987-1992).

En caso de trabajar con la nueva cartografía a escala 1:10.000, cuyo método de obtención se pretende sea estándar y repetitivo en el tiempo, podrán afinarse los índices y ser comparados con series de mapas posteriores, pero no con el que ha sido utilizado en el presente documento.

Así, cabe prever que será preciso adoptar criterios de corrección para la comparación de los índices fragmentación de ambientes del mapa de vegetación de 1992 y el próximo mapa, actualmente en elaboración.

Asimismo es previsible una mejora en la sensibilidad de la medición de la fragmentación, tanto mediante el diseño de índices más desarrollados como por la futura disponibilidad de series de mapas a escala 1:10.000 obtenidos mediante métodos estandarizados.

Otros índices de fragmentación

Índices de fragmentación de hábitats rurales cultivados

El índice de fragmentación propuesto en el presente documento no se ha considerado aplicable sobre cultivos atlánticos y mediterráneos, ya que no incorpora información geográfica sobre la estructura interna de las áreas cultivadas, no captadas en el mapa de vegetación disponible.

Con los futuros mapas de hábitats a escala 1:10.000, será posible adoptar y aplicar índices de fragmentación para las áreas cultivadas, teniendo en cuenta factores como densidad de setos, bosquetes, etc.

Índices de fragmentación por infraestructuras viarias

Un indicador sencillo de evaluar que cuantifica la fragmentación del paisaje provocada por infraestructuras lineales es la densidad de vías de transporte ($\text{km de vías}/\text{km}^2$ de territorio). Asimismo es posible ponderar las vías de transporte en función de su intensidad de tráfico, en función de si están valladas o no, en función de los tipos de hábitats que atraviesan, etc., obteniendo índices integrados del efecto barrera de las infraestructuras lineales sobre la fauna. Los índices de fragmentación por vías de transporte terrestre pueden referirse tanto a hábitats como al territorio en su conjunto.

Índice de conectividad

Metodología

Para el cálculo del índice de conectividad, que solo se ha considerado aplicable para el ambiente de bosques, se elaboran dos mapas en formato ráster con información de partida:

- Un mapa de “fuentes”, correspondiente a las zonas del territorio que contienen los hábitats cuya conectividad se desea medir (en este caso los bosques autóctonos de la CAPV).
- Un mapa de resistencias de los usos del suelo de la matriz territorial en la que se insertan las “fuentes”, al movimiento de las especies especialistas asociadas al ambiente de estudio.

Este último mapa fija unos valores de resistencias en una escala del 1 al 100, de mayor a menor permeabilidad, para los usos del suelo respecto al desplazamiento de una especie forestal “tipo” con una capacidad dispersiva limitada. El cálculo de la permeabilidad del territorio entre las manchas de bosque se realiza mediante la función CostDistance de la extensión Spatial Analyst de ArcView.

A diferencia de las funciones euclidianas de distancia, CostDistance no calcula la distancia real de un punto a otro, sino que determina la relación costo-distancia más corta (o el costo acumulado del viaje) desde cada celda hasta la otra más cercana en el conjunto de celdas de origen. Además las funciones de costo-distancia miden la distancia no en unidades geográficas, sino en unidades de costo. Todas las funciones de costo-distancia requieren una cuadrícula de origen (mapa de “fuentes”) y una cuadrícula de costo (mapa de resistencias). Una cuadrícula de origen puede contener zonas sencillas o zonas múltiples, que pueden estar conectadas o desconectadas. Todas las celdas que tienen un valor son procesadas como celdas de origen. A todas las que no son celdas de origen se les asigna *No Data* en la cuadrícula de origen. Una cuadrícula de costos asigna impedancia en un sistema de medición de unidades uniformes que ilustre el costo implicado en trasladarse e ambientes hace que los valores del Índice sean sensiblemente mayores que para el resto de ambientes a través de cualquier celda específica. Se supone que el valor de cada celda en la cuadrícula de costo representa la distancia de costo-por-unidad que tiene el paso a través de la celda, donde una distancia unitaria corresponde a la anchura de la celda.

Así, CostDistance calcula celda a celda el costo acumulado de desplazamiento entre las manchas del mapa de fuentes, teniendo en cuenta tanto las resistencias existentes en los espacios que las separan como la distancia espacial existente entre dichas manchas. Como resultado se obtiene una mapa de celdas con diferentes valores de permeabilidad del territorio para las especies sensibles a la

fragmentación ligadas al ambiente de estudio. Las cuadrículas correspondientes a las “fuentes” obtienen un valor de costo-distancia 0, mientras que a las restantes cuadrículas se les asigna un valor de costo-distancia o conectividad propio.

El índice de conectividad se calcula obteniendo el valor medio de todas las celdas del mapa de Costo-Distancia obtenido, exceptuando las de valor 0. Al tratarse de un valor procedente de una suma de valores acumulativos, el valor de costo-distancia de las cuadrículas y del índice de conectividad está condicionado por el tamaño de las cuadrículas de análisis. Los valores acumulados de costo-distancia serán mayores cuanto menor sea el tamaño de cuadrícula, es decir, cuanto mayor número de cuadrículas contenga el área de estudio.

Cálculo del índice

El índice de conectividad se ha considerado únicamente aplicable de forma clara a escala regional sobre el ambiente de bosques. Para el cálculo se ha partido del mapa de “fuentes”, de cuadrículas de 100x100 m, con todos los tipos de bosques autóctonos, incluyendo los bosques de ribera, representando todas aquellas zonas en que estuvieran presentes como hábitat de mayor cobertura o como el segundo de mayor cobertura.

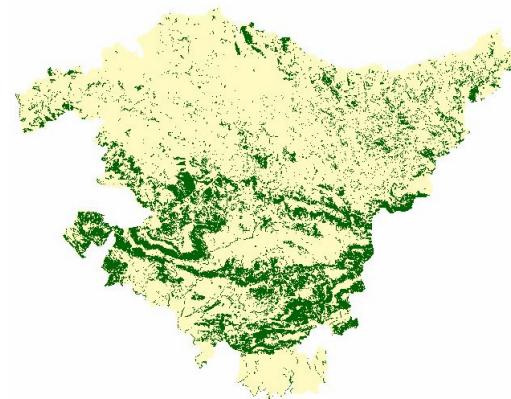


Figura 6. Fuentes: manchas y estructuras lineales de bosque autóctono.

Por otro lado, el mapa de resistencias de los usos del suelo se ha generado con base en los siguientes valores, obteniendo como unidades gráficas las manchas con el valor de resistencia de la clase de vegetación de mayor cobertura. Al igual que el mapa de fuentes, el mapa de resistencias se genera en formato ráster con cuadrículas de 100x100 m.

TIPO DE VEGETACIÓN - USO DEL SUELO (UNIDADES DEL MAPA DE VEGETACIÓN DE LA CAPV)	VALOR DE RESISTENCIA
Bosques (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23)	1
Fase juvenil de bosque (14)	5
Matorrales (24, 25, 26, 27, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36)	10
Plantaciones forestales (61)	15
Prebrezales (28, 29)	20
Vegetación herbácea (37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 52, 53)	30
Prados y cultivos atlánticos (44)	40
Erosiones margo-arcillosas (59)	50
Roquedos (49, 50, 51)	60
Cultivos leñosos (63, 64, 65, 67)	60
Cultivos de cereal, patata y remolacha (66)	65
Parques urbanos y jardines (62)	100
Zonas sin vegetación (60)	100
ELEMENTOS LINEALES	VALOR DE RESISTENCIA
Bosques de ribera (21, 22, 23)	1
Carreteras de tráfico medio	40
Carreteras de tráfico alto	60
Autovías y autopistas	100

Tabla 3. Valores de resistencia de los usos del suelo respecto al desplazamiento de una especie forestal “tipo”.

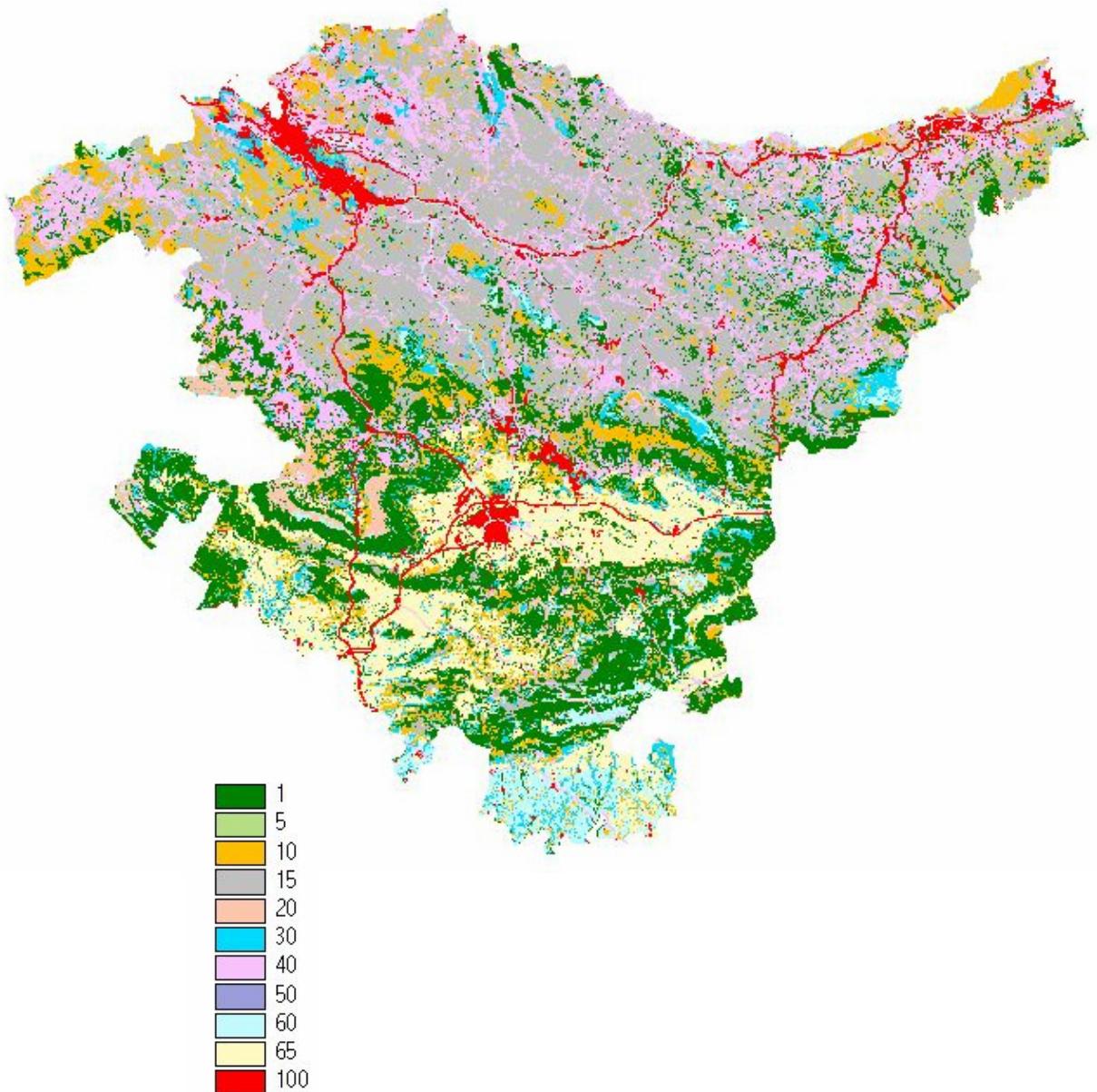


Figura 7. Resistencias de los usos del suelo al desplazamiento de una especie forestal “tipo”.

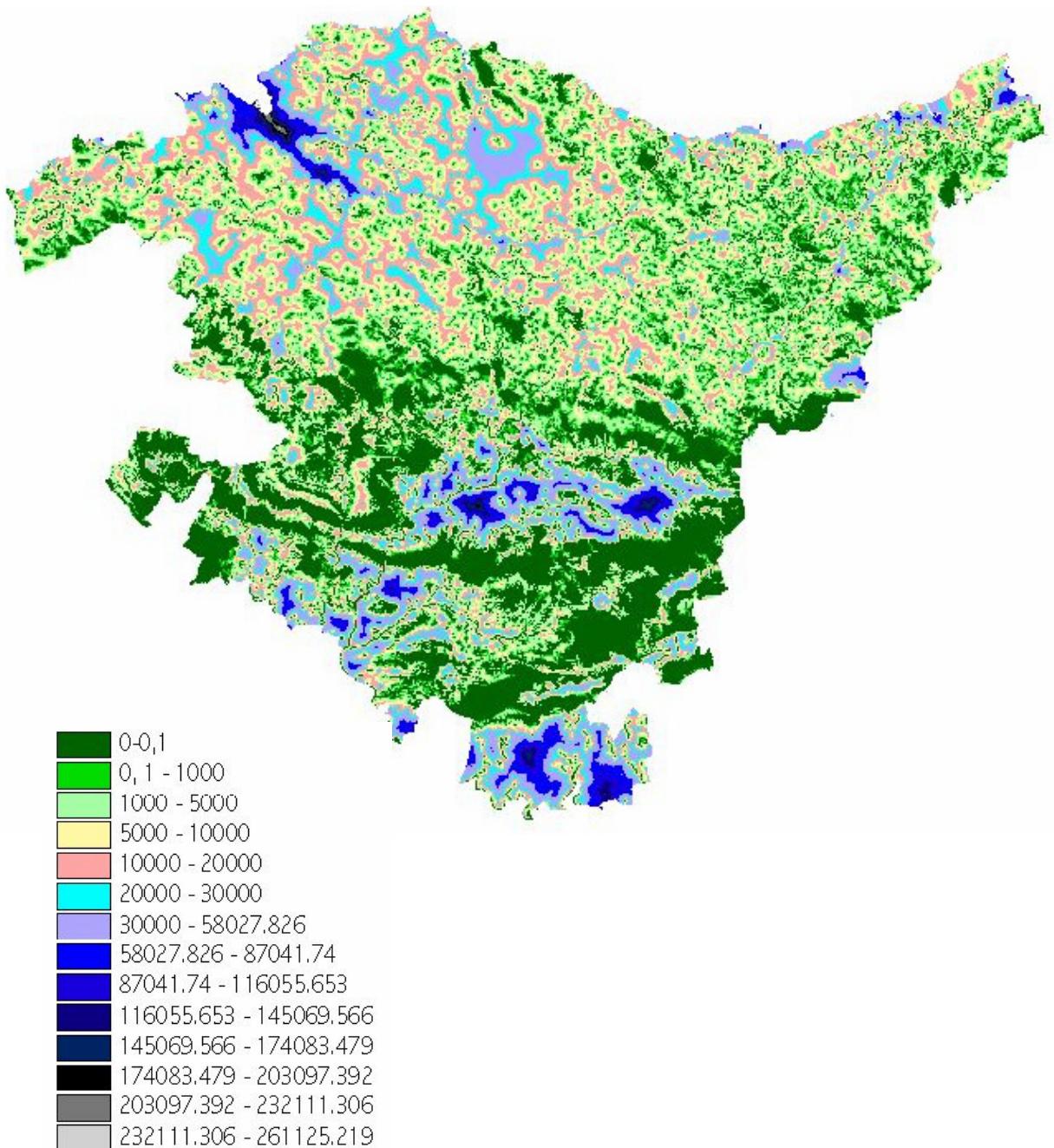


Figura 8. Distancias de coste de desplazamiento entre bosques.

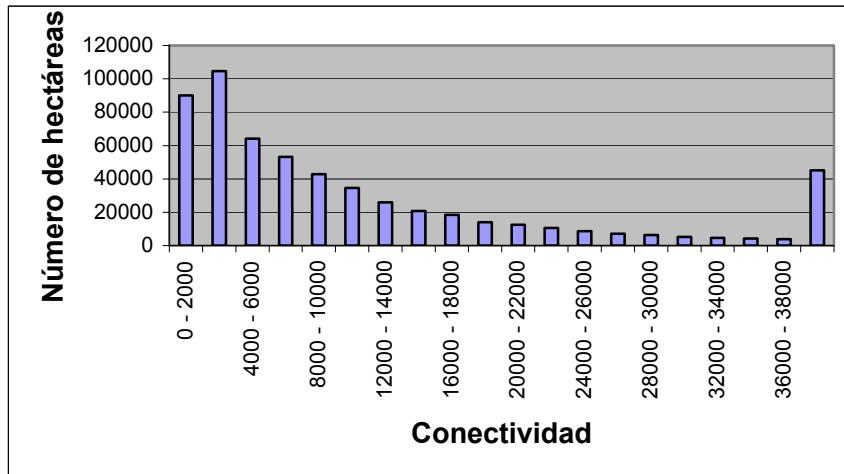


Figura 9. Relación n° de hectáreas/valores de costo-distancia o conectividad.

Una vez se han generado ambos mapas iniciales, mediante la función CostDistance se obtiene el mapa de valores de permeabilidad o conectividad del territorio entre las manchas de bosque. El índice de conectividad se calcula obteniendo el valor medio de las cuadrículas del mapa de costo-distancia con valor distinto a cero (las cuadrículas de valor cero corresponden a las “fuentes”, es decir, a los bosques). Por tanto, el índice obtenido es el valor medio de resistencia de la matriz territorial en la que se insertan las manchas remanentes de bosques autóctonos, para cuadrículas de 100x100 metros:

Índice de conectividad del ambiente bosque (1987-1992):

C = 13521, 13

Interpretación del índice

De cara a la interpretación de los resultados, la conectividad es inversamente proporcional al valor numérico obtenido mediante el índice, es decir, cuanto mayor es el valor de C, la pérdida de conectividad entre los bosques es mayor, de forma que la permeabilidad del territorio para las especies forestales estrictas será menor al aumentar el índice y mayor al disminuir éste.

Como se ha citado anteriormente, el índice depende del tamaño de la cuadrícula de análisis, siendo comparables los valores obtenidos con tamaños iguales de ésta.

Rangos de variación del índice

Los rangos entre los que puede oscilar teóricamente el índice de conectividad van prácticamente del 0 al infinito, no siendo posible establecer un baremo estándar de valoración del índice. La valoración del mismo se realizará por tanto mediante la comparación de los valores obtenidos en las diferentes fechas de estudio, observando su evolución al alza, a la baja o, en su caso, su mantenimiento sin variaciones significativas.

Análisis de situación y tendencias esperadas

Como en el caso de los índices de fragmentación obtenidos, se trata de la primera medición para el territorio de la CAPV del índice de conectividad para bosques, de forma que no se puede evaluar su evolución hasta que no se aplique sobre un nuevo mapa de vegetación de la CAPV escala 1:25.000 actualizado y obtenido mediante método análogo al anterior.

En esta aplicación sobre el *Mapa de vegetación de la CAPV* (1987-1992), el índice de conectividad entre bosques obtenido pone de manifiesto la gran pérdida de interconexión funcional que han sufrido los ecosistemas boscosos en el territorio de la CAPV. Exceptuando las laderas de los principales sistemas montañosos, dispuestos de este a oeste en la zona central y meridional del territorio, el área de distribución de los bosques autóctonos se restringe en las zonas de valle y en la vertiente cantábrica de la CAPV a pequeñas manchas dispersas fuertemente aisladas por una matriz de usos del suelo intensivos.

Dado el efecto fragmentador e impermeabilizador del paisaje que provoca la construcción de infraestructuras lineales de transporte, cuyo desarrollo sigue produciéndose en la CAPV, cabe esperar una evolución regresiva de la conectividad entre bosques (es decir, un aumento de C) desde el punto de partida considerado (1987-1992) hacia el presente y en un futuro próximo. En la medida en que continúe la tendencia al aumento de superficie boscosa observado entre 1985 y 1996, la impermeabilidad del territorio provocada por las vías de transporte puede ser compensada, al menos en parte, por la dinámica de la cubierta vegetal de la CAPV.

Información necesaria para seguir la evolución del Índice

La cartografía de vegetación o hábitats disponible para el análisis es, al igual que para el índice de fragmentación propuesto, el elemento clave de cara a aplicar y seguir la evolución del índice de conectividad. Para que el resultado de la aplicación del índice con próximos mapas de hábitats sea comparable con el valor obtenido en el presente documento con el *Mapa de vegetación de la CAPV* de 1992, deberán cumplirse ciertas condiciones. La escala de la cartografía de clases de vegetación deberá ser la misma (1:25.000) y la representación de las manchas deberá seguir un criterio análogo al utilizado en el mapa de 1992. Por último, la cuadrícula de análisis deberá ser la misma (100x100 m).

Dado que los próximos mapas de hábitats se realizarán a escala 1:10.000, deberá depurarse la información de partida para aplicar el índice de conectividad y ser comparable con el obtenido en el presente documento a escala 1:25.000.

El mayor detalle de la escala 1:10.000 permitirá cartografiar elementos del paisaje no recogidos en el *Mapa de vegetación* de 1992, de forma que cuando estén disponibles al menos dos mapas de hábitats a dicha escala, podrá aplicarse el índice con una mayor sensibilidad y comparabilidad.

Bibliografía complementaria

- BENNETT, A. F. 1999. *Linkages in the Landscape. The role of corridors and connectivity in wildlife conservation.* IUCN. Gland.
- BUREL, F. & BAUDRY, J. 2001. *Ecología del paisaje. Conceptos, métodos y aplicaciones.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- FORMAN R. T. & GODRON, M. 1986. *Landscape Ecology.* John Wiley and Sons. New York.
- MACARTHUR, R. H. y WILSON, E. O. 1963. *The Theory of Island Biogeography.* Princeton University Press, Princeton.
- MCGARIGAL, K. & MARKS, B. J. 1995. *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure.* USDA Forest Service.
- SASTRE, P.; DE LUCIO, J. V. & MARTÍNEZ, C. 2002. *Modelos de conectividad del paisaje a distintas escalas. Ejemplos de aplicación en la Comunidad de Madrid.* Ecosistemas, 2.
- <http://www.aeet.org/ecosistemas/022/investigacion5.htm>