

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL



GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL

TRABAJO FIN DE GRADO

**IMPACTOS EN LA CONECTIVIDAD DEL
PAISAJE DEBIDOS A LA MEJORA EN
ALTA VELOCIDAD.
EVOLUCIÓN 1990-2025**



ÁGATA DE ISIDRO NAVARRO

2019



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

Autor

Vº Bº del Director:

Vº Bº del Director:

Fdo.:

Fdo.:

Fdo.:

Julio de 2019



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

HOJA DE CALIFICACIÓN DEL TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO
Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025
AUTOR
Ágata De Isidro Navarro
GRADO EN
Ingeniería Forestal

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Presidente/a: _____

Vocal: _____

Secretario/a: _____

Reunido el Tribunal de calificación con fecha _____, acuerda otorgar al alumno la CALIFICACIÓN GLOBAL de _____

Indicar, en su caso, si se propone la concesión de la mención Matrícula de Honor

PRESIDENTE/A	SECRETARIO/A	VOCAL
Fdo.:	Fdo.:	Fdo.:

Informe explicativo de la calificación: _____



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

Título: Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

Autor: Ágata De Isidro Navarro

Director: Belén Martín Ramos

Codirector: Emilio Ortega Pérez

Departamento: Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental

RESUMEN

El ferrocarril de alta velocidad en España comenzó en 1992 y actualmente cuenta con una red de unos 3.200 km. Durante el periodo estudiado, la accesibilidad ha ido aumentado progresivamente, variando, además, su distribución espacial en el territorio. Estos efectos distributivos en la accesibilidad consecuencia de la alta velocidad tienen importantes implicaciones para la cohesión territorial, que es un objetivo de planificación estratégica para las infraestructuras de transporte en la Unión Europea. Sin embargo, el aumento de la accesibilidad conlleva perturbaciones ambientales; la construcción de nuevas infraestructuras de transporte implica consecuencias, de entre las cuales cabe destacar la pérdida de conectividad del paisaje. Dicha pérdida da como resultado la fragmentación del territorio, un proceso por el cual las teselas de hábitats se vuelven más pequeñas y aisladas.

Este estudio tiene como finalidad estudiar los cambios producidos en el territorio con la llegada de la red de alta velocidad a España y su evolución entre 1990 y 2025. Para ello, se partirá de los siguientes objetivos: (1) Estudiar, por un lado, la accesibilidad del territorio, y por otro lado, la conectividad del mismo, ambos medidos a través de indicadores cuyos cálculos se apoyan en Sistemas de Información Geográfica (SIG). (2) Evaluar la relación entre los cambios en la accesibilidad y las pérdidas de conectividad del paisaje que lleva asociadas, tanto a nivel nacional como resumidas en ocho corredores de la red de alta velocidad. (3) Programar una herramienta en Python para calcular el indicador de conectividad, compatible con las últimas versiones de SIG ArcGIS.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

Los resultados preliminares muestran que la accesibilidad debida a la alta velocidad aumentó en un 75% en toda España entre los años 1990-2025, pero a su vez conlleva pérdidas en la conectividad de hasta el 30%. El corredor de la red que más se beneficia de las mejoras en la accesibilidad es el que une Madrid al norte pasando por Zaragoza y el País Vasco. Sin embargo, las mayores pérdidas de conectividad en el período 1990-2025 se concentran alrededor del corredor Madrid-Galicia hacia el noroeste.



ABSTRACT

The High Speed Railway (HSR) in Spain began in 1992 and currently has a network of about 3,200 km. In this 25-year period, accessibility has progressively increased, changing its spatial distribution throughout the country. These distributive effects of HSR have important implications for territorial cohesion, which is a strategic planning objective for transport infrastructures in the European Union. However, the increase in accessibility entails environmental costs; the construction of new transport infrastructures implies, among other consequences, the loss of landscape connectivity. This loss of connectivity results in the fragmentation of the territory, a process by which the patches become smaller and more isolated.

This paper has three objectives: (1) To study the changes produced in the territory with the arrival of HSR in Spain and its evolution between 1990 and 2025. The analysis is carried out from two points of view. On the one hand, improvements in accessibility are studied through an indicator of potential accessibility, on the other hand, the evolution of landscape connectivity is studied using a landscape connectivity indicator. (2) To evaluate the relation between changes in accessibility and the consequences in landscape connectivity losses in the Spanish territory both at a national level and summarised in eight HSR corridors. (3) To program a tool in Python for calculating the landscape connectivity indicator, compatible with the last versions of the GIS ArcGIS.

Preliminary results show that accessibility in HSR increased by around 75% in the whole of Spain between 1990 and 2025, but in turn entails connectivity losses of up to 30%. As for the changes in accessibility in the HSR corridors, the one with the greatest increase in accessibility is the one linking Madrid to the north with Zaragoza and the Basque Country. However, the greatest connectivity losses in the period 1990-2025 are concentrated around the Madrid-Galicia corridor to the northwest.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
2. EFECTOS DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE EN EL TERRITORIO	5
2.1 Historia de la alta velocidad en España.....	6
2.2 Impactos de las nuevas infraestructuras	8
2.2.1 Variable socioeconómica: Accesibilidad del Territorio.....	9
2.2.2 Variable medioambiental: Conectividad/Fragmentación del Paisaje	10
3. METODOLOGÍA	13
3.1 Descripción de escenarios	13
3.2 Descripción de corredores	18
3.3 Variable socioeconómica: Accesibilidad del Territorio	23
3.4 Variable medioambiental: Conectividad/Fragmentación del Paisaje	25
3.5 Cálculo de las variables.....	26
3.5.1 Variable socioeconómica: Índice de Accesibilidad.....	26
3.5.2 Variable medioambiental: Índice de Conectividad “CCI”	31
4. RESULTADOS	39
4.1 Variable socioeconómica: Accesibilidad	39
4.1.1 Resultados a nivel nacional	39
4.1.2 Resultados por corredores: Resúmenes	48
4.2 Variable medioambiental: Conectividad	53
4.2.1 Resultados a nivel nacional	53
4.2.2 Resultados por corredores: Resúmenes	58
4.3 Relación entre la accesibilidad y la fragmentación del territorio	62
4.3.1 Resultados a nivel nacional	63
4.3.2 Resultados por corredores	65
5. CONCLUSIONES	69
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
Bibliografía	71
7. ANEXOS.....	75



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

7.1 Código herramienta “Set Up Barriers”	75
7.2 Código herramienta “Set Up Matrices”	78
7.3 Código herramienta “CCI”	84
8. INFORME	89
8.1 Fases del estudio	89
8.2 Descripción de las tareas realizadas.....	89
8.3 Cronograma de las fases	91
8.4 Coste del estudio.....	92
8.4.1 Costes desglosados	92
8.4.2 Coste total del estudio	92
9. PÓSTER	95

Índice de Figuras

Figura 1. Principales infraestructuras de transporte a nivel nacional	5
Figura 2. Esquema con los principales hitos de la historia de la alta velocidad española	8
Figura 3. Esquema de la fragmentación producida por una infraestructura lineal. Fuente Geneletti (2004)	11
Figura 4. Situación en el escenario cero.....	14
Figura 5. Situación en el escenario 1	15
Figura 6. Situación en el escenario 2.....	16
Figura 7. Situación en el escenario 3.....	17
Figura 8. Corredor “Galicia”	19
Figura 9. Corredor “Norte”	19
Figura 10. Corredor “Extremadura”	20
Figura 11. Corredor “Cataluña”	20
Figura 12. Corredor “Andalucía”	21
Figura 13. Corredor “Mediterráneo”	21
Figura 14. Corredor “Levante”	22
Figura 15. Corredor “Zaragoza – País Vasco”	22
Figura 16. Integración de las carreteras y ferrocarriles a los centros de población y estaciones.	28
Figura 17. Cálculo del tiempo de viaje entre un origen i y un destino j.	
Extraído del artículo “Road and railway accessibility atlas of Spain”	30
Figura 18. Captura de la interfaz de la herramienta <i>Set Up Barriers</i>	33
Figura 19. Captura de la interfaz de la herramienta <i>Set Up Matrices</i>	37
Figura 20. Captura de la interfaz de la herramienta <i>Connectivity Index</i>	38



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

Figura 21. Valor de accesibilidad en el escenario cero	39
Figura 22. Valor de la accesibilidad en el escenario horizonte 1	40
Figura 23. Valor de la accesibilidad en el escenario horizonte 2	41
Figura 24. Valor de la accesibilidad en el último escenario horizonte.....	42
Figura 25. Cambios en la accesibilidad en el escenario horizonte 1 respecto al escenario cero. .	43
Figura 26. Cambios en la accesibilidad en el escenario horizonte 2 respecto al escenario cero. .	44
Figura 27. Cambios en la accesibilidad en el periodo 2007-2016.....	45
Figura 28. Cambios en la accesibilidad en el último escenario horizonte respecto al escenario cero.....	46
Figura 29. Cambios en la accesibilidad en el periodo 2016-2015.....	47
Figura 30. Cambios en la accesibilidad por corredores respecto al escenario de referencia.....	49
Figura 31. Cambios en la accesibilidad por corredores respecto al escenario de referencia (2) .	50
Figura 32. Cambios en la accesibilidad en los períodos intermedios.....	51
Figura 33. Valor del índice CCI en el escenario cero	53
Figura 34. Cambios en la conectividad en el periodo 1990-2007	54
Figura 35. Cambios en la conectividad en el periodo 1990-2016	55
Figura 36. Cambios en la conectividad en el período 2007-2016	55
Figura 37. Cambios en la conectividad en el periodo 1990-2025	56
Figura 38. Cambios en la conectividad en el período 2016-2025	57
Figura 39. Cambios en la conectividad por corredores respecto al escenario de referencia	59
Figura 40. Cambios en la conectividad por corredores respecto al escenario de referencia (2)..	59
Figura 41. Cambios en la conectividad por corredores en los períodos intermedios	60
Figura 42. Relación entre la mejora de la accesibilidad y la pérdida de conectividad a nivel global.....	63
Figura 43. Relación entre la mejora de la accesibilidad y la pérdida de conectividad por corredores.....	67

Índice de Tablas

Tabla 1. Resumen longitud de la red de los corredores estudiados	18
Tabla 2. Coeficiente de fricción para los diferentes elementos.....	36
Tabla 3. Valores del índice ACPR agrupados por corredores y en los diferentes escenarios	48
Tabla 4. Valores medios del índice CCI en los diferentes corredores en el escenario cero y en el último escenario horizonte	58
Tabla 5. Valores globales de la mejora de la accesibilidad y la pérdida de conectividad.....	63
Tabla 6. Valores por corredores de la mejora de la accesibilidad y la pérdida de conectividad .	65



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las infraestructuras de transporte en cualquiera de sus estados, ya sean carreteras, vías de ferrocarril u otras vías permiten la interconexión del territorio permitiendo a la población la posibilidad de llegar a un destino del mismo.

La construcción de una nueva línea de ferrocarril de altas prestaciones supone que las áreas urbanas se vean beneficiadas de una mejora en la accesibilidad del territorio. Estas mejoras suponen un incremento del atractivo de las ciudades además del desarrollo socio-económico de las mismas (Monzón et al., 2013)

La apertura de una estación de ferrocarril de altas prestaciones implica una mejora de la accesibilidad y fomenta cambios en la configuración de los usos del suelo del área urbana cercana a la estación y sus alrededores (Blum et al., 1997; Ureña et al., 2009; Van den Berg & Pol, 1998). La organización espacial cambia para aprovechar el mayor atractivo de la ubicación recién conectada, en un proceso dinámico en el que se producen impactos simultáneos y multinivel en las esferas económica, social y ambiental (Banister & Berechman, 2002; Vickerman & Ulled, 2009)

Existen estudios que se enfocan además en la accesibilidad a la red de altas prestaciones teniendo en cuenta la totalidad del viaje (Monzón et al., 2016). Estos estudios resaltan la importancia de la calidad en el acceso a la estación de ferrocarril ya que se invierte la mayoría del tiempo y el esfuerzo de la totalidad del viaje en acceder a una determinada estación desde el origen y en llegar, desde la estación final del trayecto al destino final (Givoni & Banister, 2012). Unos de los indicadores que sigue esta metodología es el Indicador de Accesibilidad Potencial Real, cuyo cálculo está implementado en SIG. Este indicador ofrece un balance adecuado entre complejidad y facilidad de interpretación, y ha resultado eficaz para medir los efectos de la red de ferrocarril de altas prestaciones en diferentes trabajos de investigación (Gutiérrez et al., 2011; López et al., 2008; Monzón et al., 2013; Ortega et al., 2012) por lo que será el indicador elegido para el presente estudio.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

El incremento de la accesibilidad, sin embargo, supone un costo a nivel medioambiental; la construcción de nuevas infraestructuras de transporte trae consigo, entre otras consecuencias, la pérdida de conectividad del paisaje. Esta pérdida de conectividad se traduce en la fragmentación del territorio, proceso por el cual las teselas, entendidas como fragmentos de hábitats de seres vivos, se vuelven cada vez más pequeñas y se van aislando unas de otras (Jaeger, 2000). Este proceso supone un incremento en la dificultad que los seres vivos presentan a la hora de desplazarse a lo largo del territorio y la pérdida de superficie de los hábitats, lo que conlleva a la pérdida de diversidad de especies (Collinge, 1996) y a cambios en el funcionamiento de los ecosistemas.

Mantener la continuidad de hábitats y ecosistemas se ha convertido en un elemento esencial en las políticas de planificación territorial (Romano & Tamburini, 2001) por lo que es necesario estudiar la afección que supone la construcción de nuevas infraestructuras lineares a la conectividad del territorio.

En la literatura nos encontramos con numerosos indicadores que estiman la fragmentación o la conectividad del territorio. En el presente estudio se utilizó el indicador CCI (Connectivity index) propuesto por Mancebo Quintana et al., 2010. Este indicador estima la conectividad entre todas las teselas teniendo en cuenta tanto la configuración espacial de los usos de suelo artificial y natural como las barreras que suponen las infraestructuras lineales. Evalúa la resistencia que ofrece el paisaje a la hora de ser atravesado por los organismos que se mueven entre sus teselas. Este indicador, además, permite comparar los valores de conectividad entre diferentes áreas geográficas o diferentes períodos de tiempo en la misma área.

Tanto para la variable socioeconómica que queremos estudiar, la accesibilidad territorial, como para la variable medioambiental, conectividad del territorio, se calcularán los dos indicadores citados anteriormente utilizando los SIG.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

Los **objetivos** del presente estudio serán los siguientes:

- Estudiar los cambios producidos en el territorio con la llegada del ferrocarril de altas prestaciones a España y su evolución entre los años 1990 y 2025; se realizará un análisis de las mejoras en la accesibilidad que supone la construcción de estas nuevas infraestructuras al mismo tiempo que se examinan las consecuencias que tienen las mismas en la pérdida de conectividad del paisaje. Para ello se utilizarán dos índices; uno para medir la accesibilidad y otro para evaluar la conectividad del paisaje, y su cálculo se apoyará en una metodología basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este análisis se hace tanto a nivel nacional como en ocho corredores de la red.
- Evaluar la relación que existe entre la pérdida de conectividad del paisaje y la evolución de la accesibilidad, tanto a nivel nacional como en los ocho corredores antes mencionados.
- Aplicar y desarrollar una metodología de cálculo basada en SIG. El cálculo del índice de conectividad, programado inicialmente por Mancebo Quintana et al. (2010) en AML (ArcInfo Macro Language) para ArcInfo -ya obsoleto-, se traducirá a Python, creándose así tres herramientas actualizadas para las últimas versiones del SIG ArcGIS.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

2. EFECTOS DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE EN EL TERRITORIO

Para empezar, se va a mostrar un mapa con la situación de las principales infraestructuras de transporte a nivel nacional. La Figura 1 muestra la situación de la red de carreteras principal (alta capacidad y nacionales), la red de ferrocarril convencional y la red de altas prestaciones, diferenciando en esta última las conexiones que van apareciendo en cada uno de los años analizados en el presente estudio (2007, 2016 y 2025).

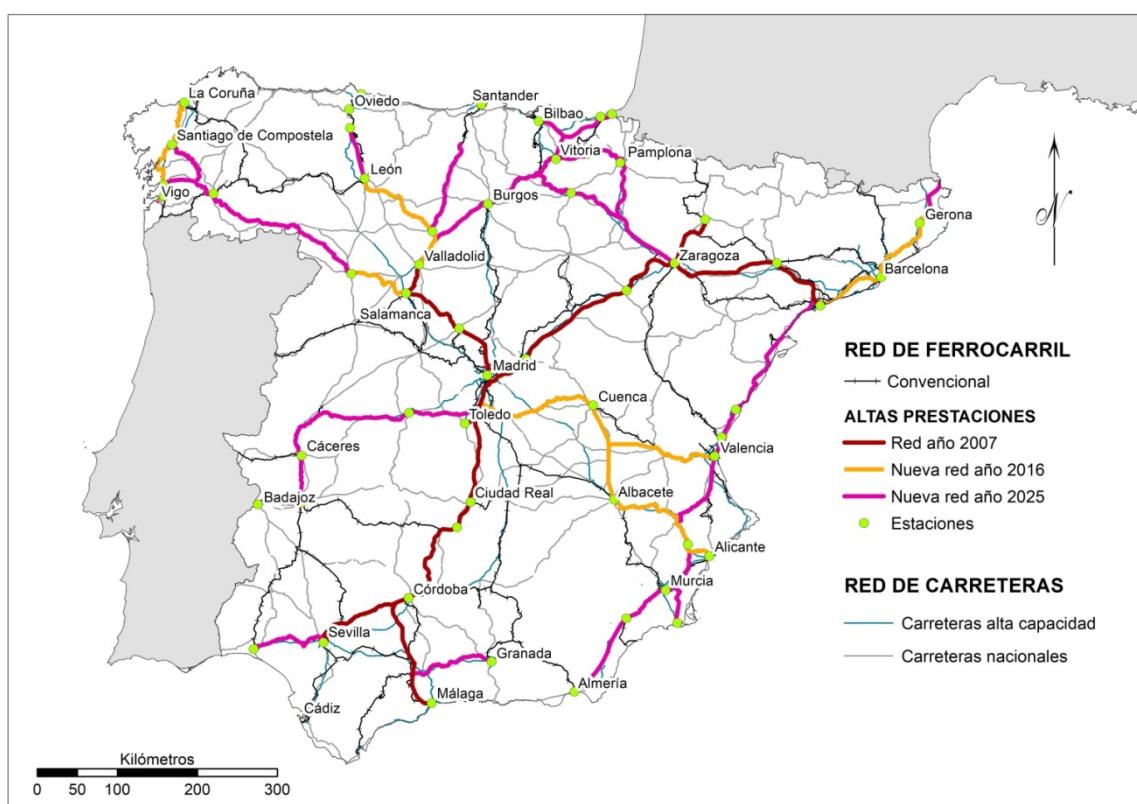


Figura 1. Principales infraestructuras de transporte a nivel nacional

El fin de este estudio es realizar un análisis detallado de cómo la red de ferrocarril de altas prestaciones ha influido en la mejora de la accesibilidad del territorio en detrimento de la conectividad del mismo. Por ello, es necesario empezar por describir



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

previamente el estado de las redes de transporte, tanto la del ferrocarril convencional como la de las carreteras.

Según datos del Ministerio de Fomento la red de carreteras españolas actualmente cuenta con 165.686 kilómetros, de los cuales 17.163 km corresponden a vías de gran capacidad. La red está formada por carreteras de diferente tipología (carreteras convencionales, autopistas, autovías, etc.) que discurren a lo largo de todo el territorio, comunicando todas las poblaciones del estado y otras entidades de interés como pueden ser los espacios naturales.

Como ya se explicará en el apartado “Metodología”, la red que se utilizó en el presente estudio corresponde a la del año 1990 que contaba con un total de 156.243 kilómetros, de los cuales 5.624 correspondían a vías de gran capacidad. Los mayores cambios entre dicho año y la actualidad se deben a la construcción de nuevas vías de gran capacidad, sin embargo, la compleja configuración de la red que da cobertura a todo el territorio apenas ha cambiado.

La red que ha permanecido invariable desde el año 1990 ha sido la de ferrocarril convencional cuya configuración es mucho más simple que la red de carreteras contando con un total de 10.754 km

2.1 Historia de la alta velocidad en España

Antes de comenzar a exponer la historia de la alta velocidad en España, hay que tener en cuenta que la construcción y la adecuación de este tipo de infraestructuras a la red de ferrocarril existente supuso una serie de problemas ya que las líneas existentes tenían un ancho de 1688 mm, también denominado ancho ibérico, diferentes por tanto al ancho estándar o ancho internacional, de 1435 mm. Esto supuso que se tuvieran que invertir mayores esfuerzos en la creación de este tipo de líneas que en otros países europeos. Se distinguen por lo tanto tres casos a la hora de la creación y ampliación de la red de altas prestaciones: (i) Líneas construidas directamente en ancho estándar que cuentan con un itinerario alternativo de ferrocarril convencional de ancho ibérico (este es el caso de la



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

mayoría de líneas); (ii) líneas que tienen un itinerario alternativo de ferrocarril convencional, al estar actualmente aisladas del resto de la red de altas prestaciones, se ha instalado temporalmente vía de ancho ibérico (Caso Santiago-Ourense) y por último (iii) líneas de ferrocarril convencional que han sido adaptadas mediante diferentes procedimientos para que circule el ferrocarril de altas prestaciones (Ferropedia, 2019)

La Empresa pública Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF), en su página web, resume la historia de la alta velocidad en España: En 1992, se inauguró la primera línea de alta velocidad (Madrid-Sevilla) conectando las ciudades de Madrid, Ciudad Real, Córdoba y Sevilla. La población de estas ciudades suponía alrededor del 20% del total de la población española. De esas cuatro primeras provincias que disponían de alta velocidad se ha pasado a un total de 27 provincias que disponen de una o más conexiones a la red. Por ello, la red de altas prestaciones que tiene un total de 47 estaciones conectadas, permite que alrededor de las dos terceras partes de la población española se beneficie de estos servicios.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

A continuación se reflejan los principales hitos de la alta velocidad española, extraídos de la misma página:

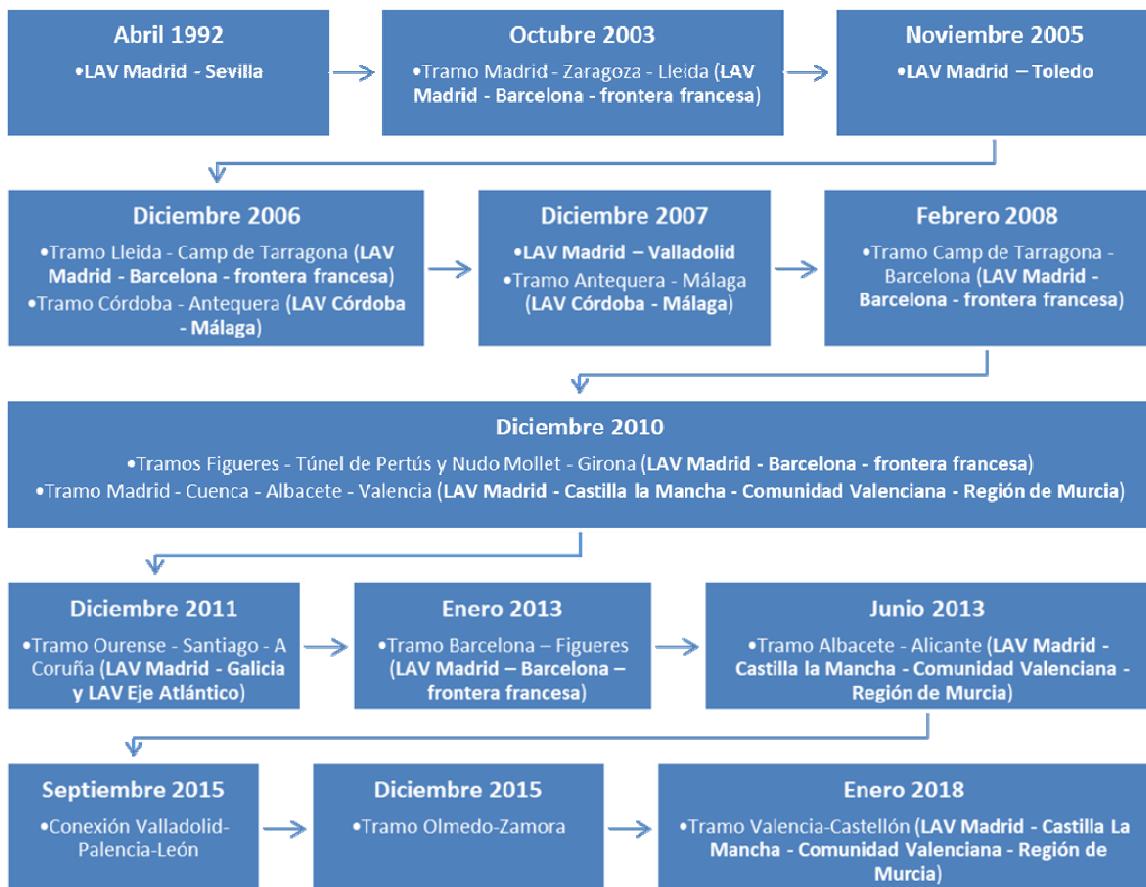


Figura 2. Esquema con los principales hitos de la historia de la alta velocidad española

2.2 Impactos de las nuevas infraestructuras

A partir de otros trabajos similares, que han demostrado ser eficaces para alcanzar objetivos similares a los del presente estudio, se ha elegido la fragmentación del territorio o conectividad del mismo como la variable que mejor refleja la calidad ambiental de la zona y los impactos que las nuevas infraestructuras lineales producen en la misma (Mancebo Quintana et al., 2010; De Montis et al., 2018). Asimismo, se ha escogido la accesibilidad del territorio como la variable socioeconómica que analiza los



efectos del ferrocarril de altas prestaciones en el territorio (Monzón et al., 2019; Ortega Pérez et al., 2011)

2.2.1 Variable socioeconómica: Accesibilidad del Territorio

La accesibilidad se entiende como la posibilidad existente para alcanzar un determinado destino. Está considerada como el beneficio que obtiene la población de una determinada localización, del uso del sistema de transporte (López, 2007). La mayor o menor accesibilidad de un territorio depende de la complejidad y la configuración de las redes de transporte del mismo.

La construcción de una nueva línea de ferrocarril o de carretera supone que las áreas urbanas conectadas a esa red se vean beneficiadas de una mejora en la accesibilidad del territorio al mejorar el acceso al resto de destinos (oportunidades). Esta mejoras supone un incremento del atractivo de las ciudades además del desarrollo socio-económico de las mismas (Monzón et al., 2013)

La accesibilidad se puede medir desde diferentes puntos de vista y por ello existen numerosos indicadores de accesibilidad, según el efecto que se desee medir, la escala temporal y la escala geográfica. Los indicadores de accesibilidad pretenden transformar este concepto a términos matemáticos teniendo en cuenta tanto el estado de las conexiones entre los centros de actividad económica como la importancia socio-económica de los mismos (Solís, 2013)

Para el cálculo de accesibilidad mediante el uso de sistemas de información geográfica los indicadores de accesibilidad más utilizados se basan en el tiempo de viaje a través de una red. Esto es, el coste (tiempo) que supone desplazarse a través de las infraestructuras de transporte para alcanzar un determinado destino (López et al., 2008). Estos destinos, también llamados nodos, corresponden a los núcleos urbanos del territorio estudiado. Existen estudios que se enfocan además en la accesibilidad a la red de altas prestaciones teniendo en cuenta la totalidad del viaje (Monzón et al., 2016). Estos estudios resaltan la importancia de la calidad en el acceso a la estación de ferrocarril ya que se invierte la mayoría del tiempo y el esfuerzo de la totalidad del viaje



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

en acceder a una determinada estación desde el origen y en llegar, desde la estación final del trayecto al destino final (Givoni & Banister, 2012)

2.2.2 Variable medioambiental: Conectividad/Fragmentación del Paisaje

La RAE define a los hábitats como lugares de condiciones apropiadas para que viva un organismo, especie o comunidad animal o vegetal.

Los hábitats pueden sufrir alteraciones a lo largo del tiempo atendiendo a diferentes razones; una de las cuales se debe a la construcción de infraestructuras de transporte que, desde el punto de vista medioambiental, se caracterizan por dividir ecosistemas, provocando un aumento de su fragmentación y una pérdida de hábitat (Reed et al., 1996)

La fragmentación del territorio es un proceso por el cual los hábitats se dividen en unidades de menor entidad denominadas “teselas” disminuyendo así la superficie total del hábitat y produciéndose su ruptura en partes más pequeñas. Las nuevas teselas que proceden de una unidad mayor tendrán características semejantes entre sí (Forman, 1995) y otras características propias que dependerán del tamaño y la forma que han adoptado tras la fragmentación. En el caso concreto de la fragmentación causada por las infraestructuras de transporte, los principales efectos espaciales de la fragmentación debida a infraestructuras lineales se pueden resumir en tres (Geneletti, 2004):

- Incremento del aislamiento de las teselas que conforman el paisaje
- Disminución de su tamaño
- Aumento de su exposición a perturbaciones externas



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

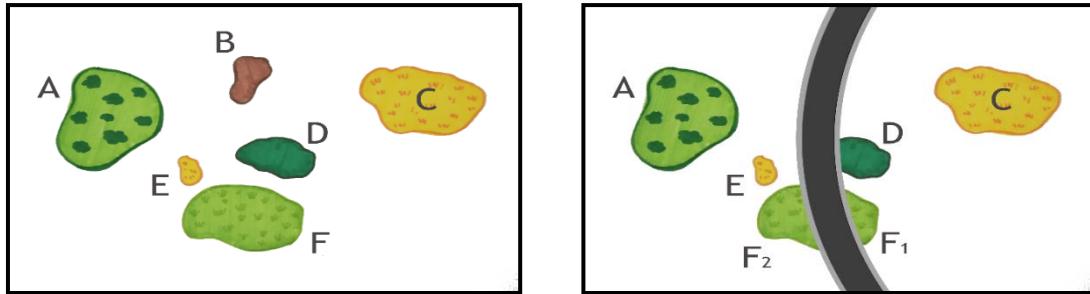


Figura 3. Esquema de la fragmentación producida por una infraestructura lineal. Fuente Geneletti (2004)

La fragmentación del territorio supone una pérdida de conectividad del mismo, entendida esta como la capacidad que tiene el territorio para que se produzca el movimiento de las especies (Taylor et al., 1993) por lo que la fragmentación dificulta el desplazamiento de los seres vivos entre las teselas y con ello el correcto funcionamiento del ecosistema ya que los flujos de materia y energía como los movimientos migratorios y dispersivos, la polinización, los flujos de nutrientes, etc. se ven alterados (Adrianesen et al., 2003)



3. METODOLOGÍA

Apoyándonos en el empleo de un SIG se estudiará la evolución de la alta velocidad en España en relación al incremento de la accesibilidad del territorio en detrimento de la conectividad del paisaje entre los años 1990 y 2025. El procedimiento que se realizará será el cálculo de dos indicadores seleccionados previamente que explicarán las dos variables que se quieren estudiar; accesibilidad y conectividad. Puesto que lo que se pretende es analizar la evolución de las mismas en ese periodo de tiempo se calcularán los valores que toman ambas variables en diferentes escenarios con el fin de comparar los cambios que se van produciendo. Para realizar esta evaluación necesitaremos partir de un escenario de referencia, denominado *escenario cero*, a partir del cual se calcularán las diferencias de los valores de las variables en otra serie de escenarios posteriores que se denominarán *escenarios horizonte*.

La zona de estudio es la totalidad del país, presente en la Península Ibérica.

3.1 Descripción de escenarios

-Escenario cero: El escenario cero corresponde al año 1990. En este año todavía no había aparecido la alta velocidad en España y las infraestructuras de transporte que coexistían eran la red de carreteras y la red de ferrocarril convencional de dicho año (Figura 4). A partir de este año no se han construido nuevas líneas de ferrocarril convencional mientras que la red de carreteras sí ha sufrido modificaciones. En los próximos escenarios estas dos redes (ferrocarril convencional y carreteras) se mantendrán estáticas para el mejor análisis de los cambios producidos por la aparición y la modificación de la red de ferrocarril de altas prestaciones.

Por último, este escenario queda definido por los usos de suelo del año 1990, los cuales mantendremos en los siguientes escenarios para controlar que los cambios en la conectividad del paisaje sólo estén influenciados por la construcción de nuevas infraestructuras de alta velocidad y no debidos a cambios en el uso de suelo producidos por otras actividades.



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025



Figura 4. Situación en el escenario cero



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

Escenario 1 (Escenario horizonte uno): Se le añade al escenario cero la situación de la red de ferrocarril de altas prestaciones en el año 2007 (Figura 5).

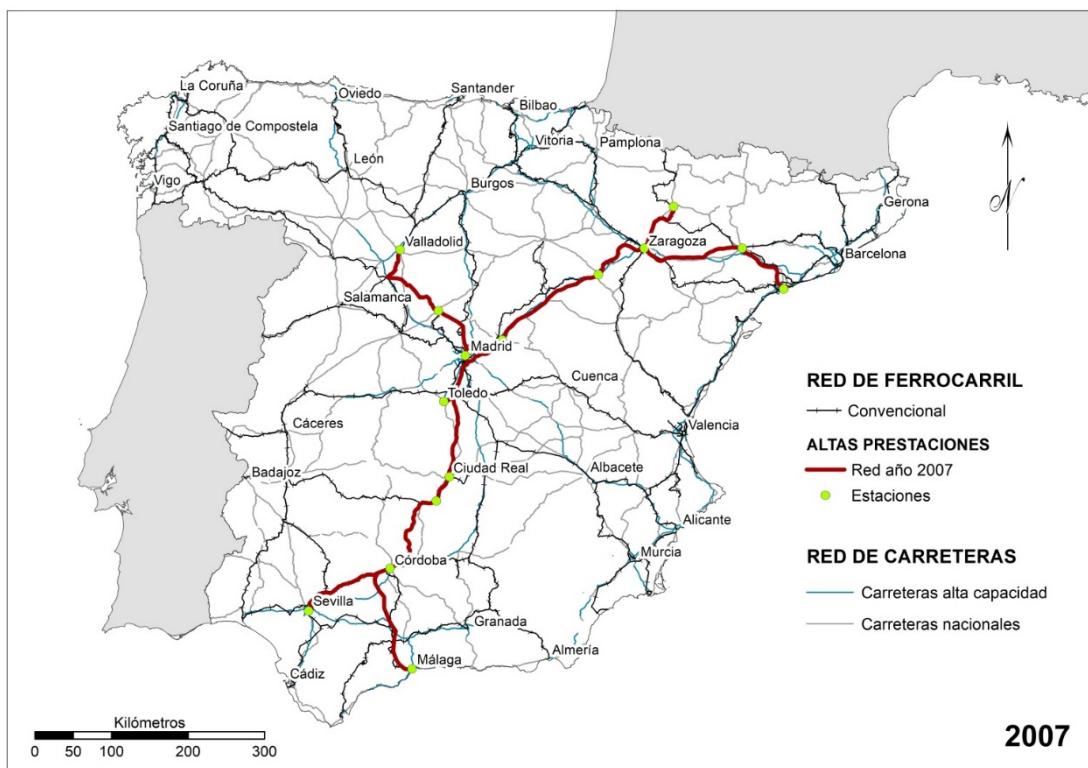


Figura 5. Situación en el escenario 1



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

Escenario 2 (Escenario horizonte dos): Se añaden las nuevas redes que se han construido desde el año 2007 hasta el año 2016 (Figura 6).

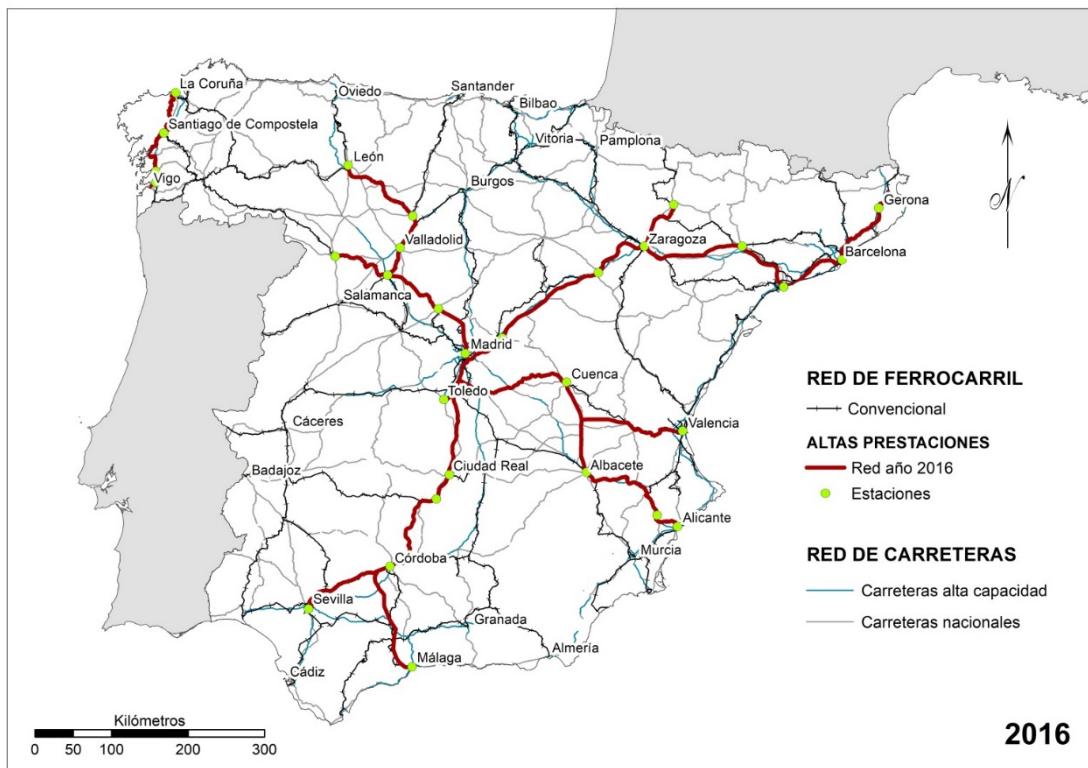


Figura 6. Situación en el escenario 2



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

Escenario 3 (Escenario horizonte tres): Se incorpora a la red todos los ferrocarriles de altas prestaciones construidos hasta la actualidad, además de los que están previstos en el año 2025 (Figura 7).

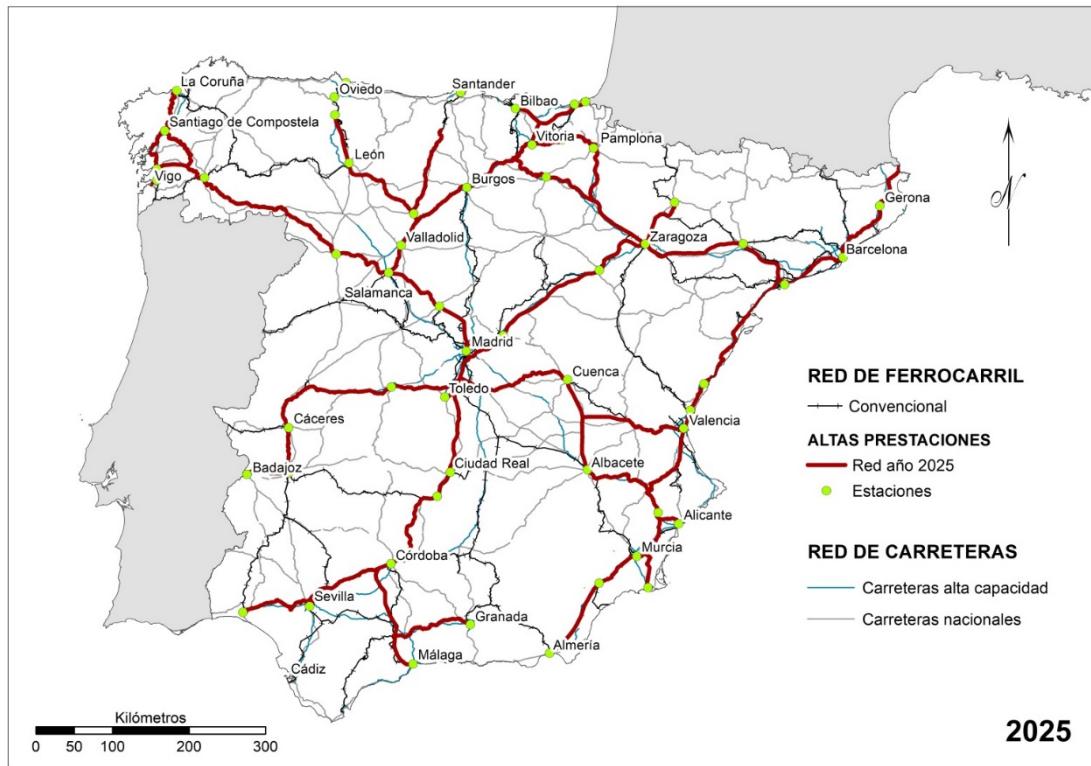


Figura 7. Situación en el escenario 3



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

3.2 Descripción de corredores

Los resultados del presente estudio se expondrán tanto a nivel nacional; mediante la presentación de los mapas correspondientes, como de forma aislada por corredores. Se han propuesto ocho corredores teniendo en cuenta la zona geográfica que conecta cada corredor. A continuación se muestra una tabla que resume la longitud total de infraestructura construida, para cada año y en total, por cada corredor y los mapas correspondientes a los mismos (Figuras 8-15)

CORREDOR	LONGITUD (km)			
	2007	2016	2025	TOTAL
Gallego	180,6	406,2	803,4	1390,2
Norte	267,8	321,2	856,0	1445,0
Extremadura	44,9	0,0	459,2	504,0
Cataluña	613,7	825,5	864,8	2304,0
Andalucía	636,2	634,6	862,9	2133,7
Mediterráneo	12,7	299,5	1002,8	1315,0
Levante	40,7	653,0	761,0	1454,7
Zaragoza - P. Vasco	0,0	0,0	586,4	586,4

Tabla 1. Resumen longitud de la red de los corredores estudiados



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

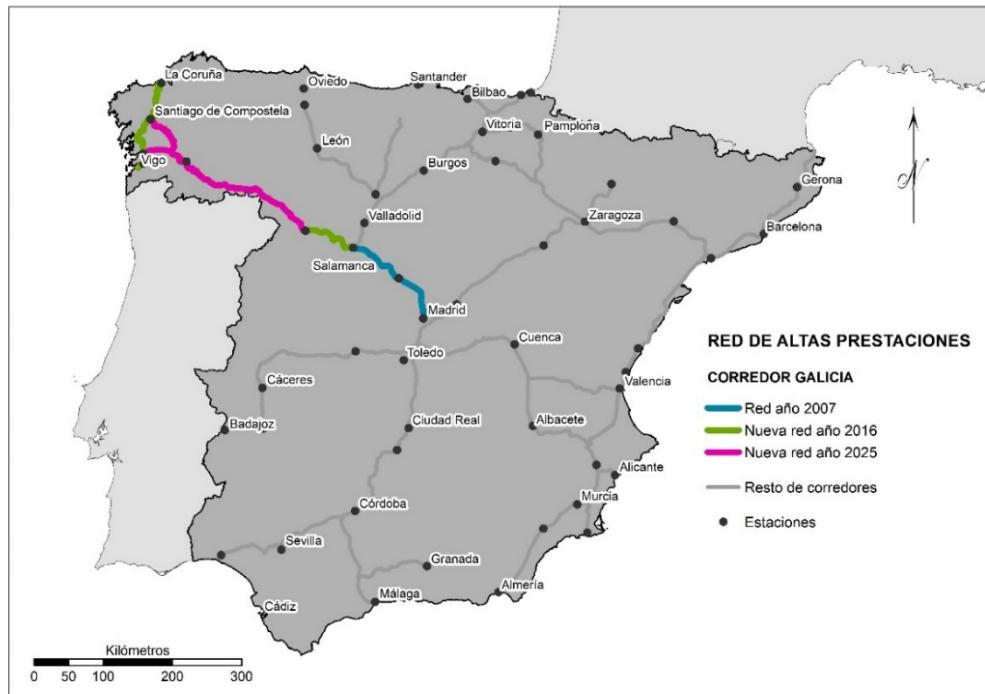


Figura 8. Corredor “Galicia”

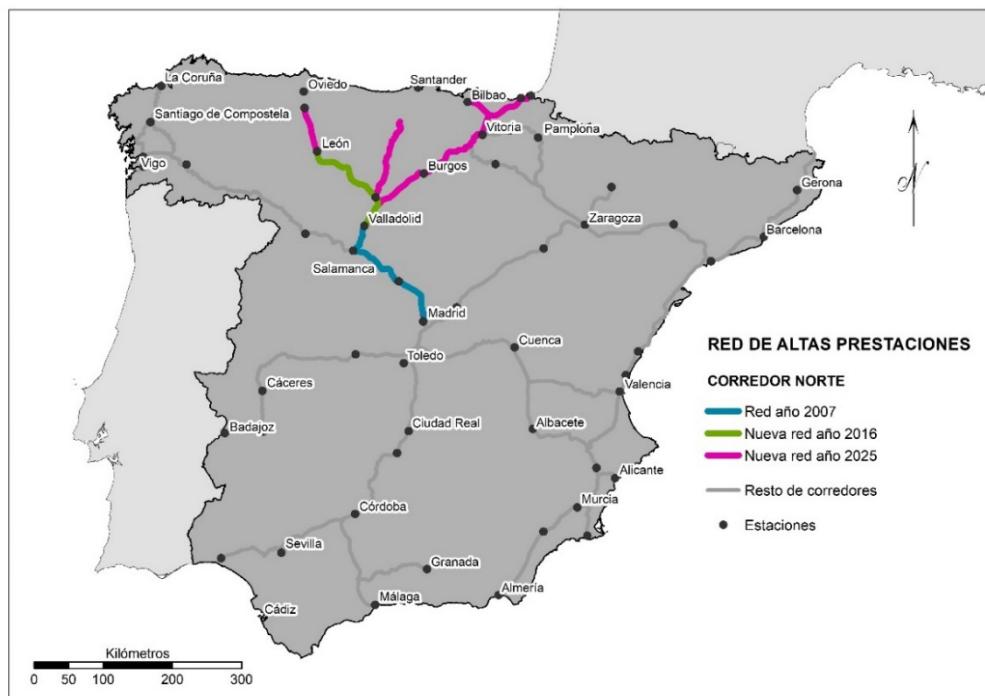


Figura 9. Corredor “Norte”



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

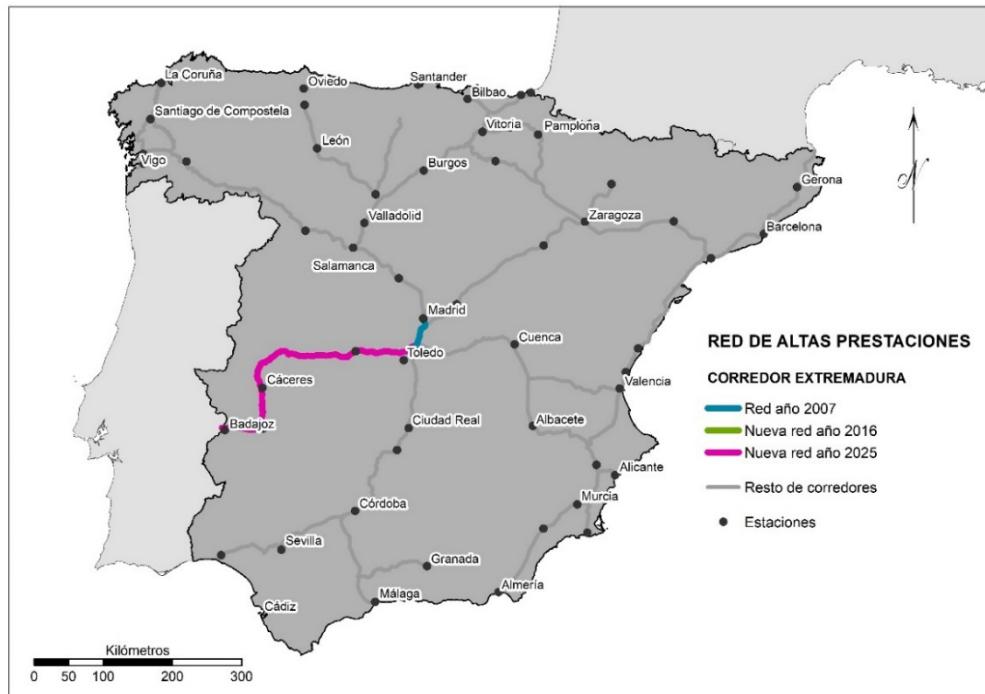


Figura 10. Corredor “Extremadura”



Figura 11. Corredor “Cataluña”



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

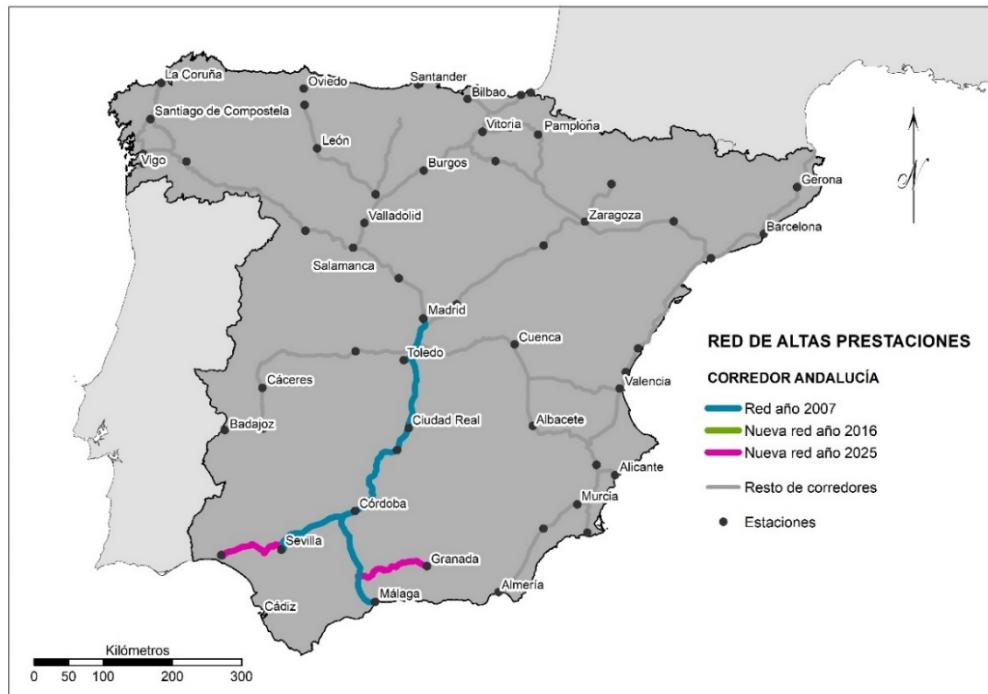


Figura 12. Corredor “Andalucía”

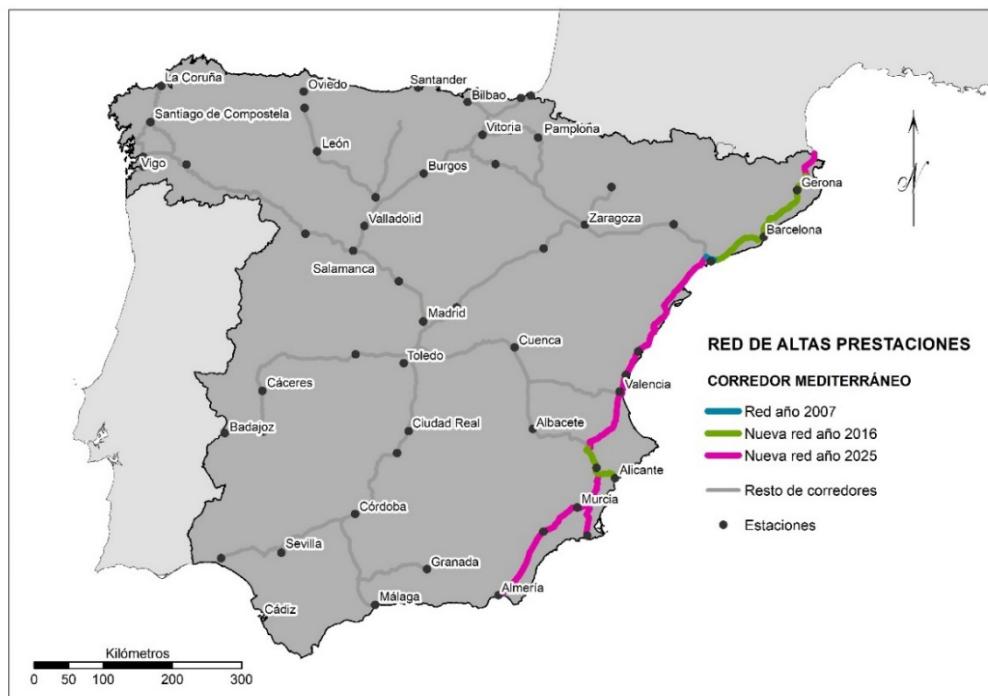


Figura 13. Corredor “Mediterráneo”



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

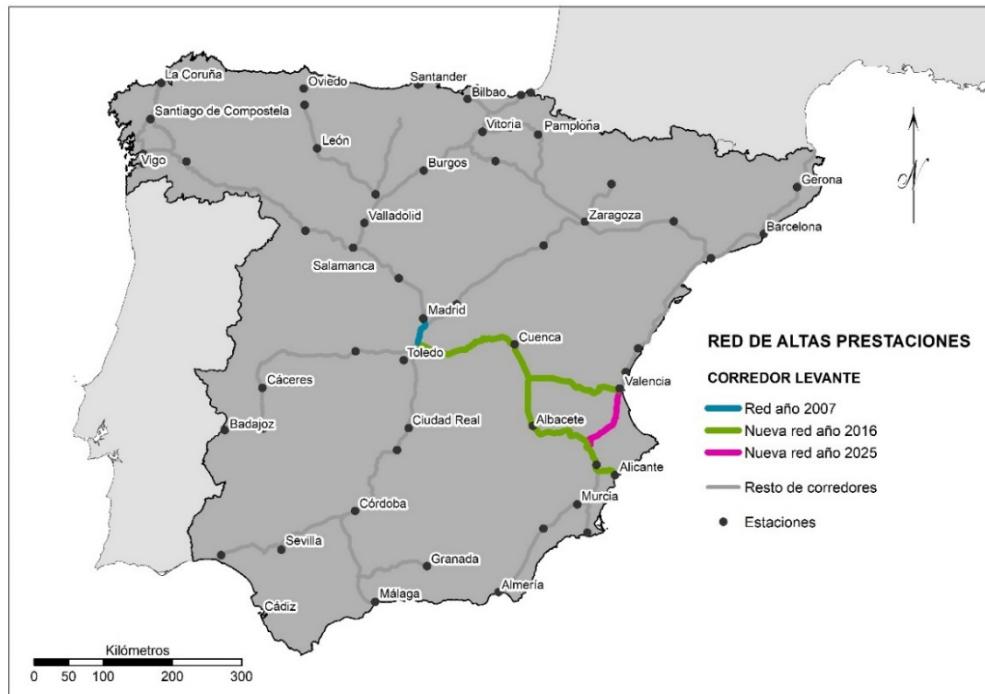


Figura 14. Corredor “Levante”

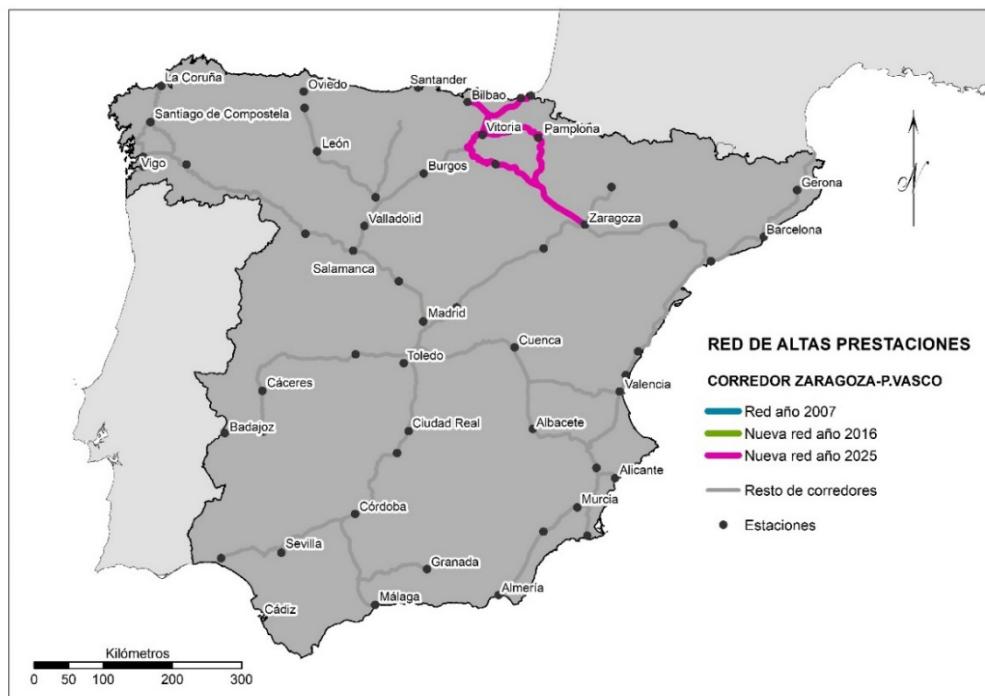


Figura 15. Corredor “Zaragoza – País Vasco”



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

3.3 Variable socioeconómica: Accesibilidad del Territorio

Para el presente estudio se eligió para medir la accesibilidad el Indicador de Accesibilidad Potencial Real, ACPR de aquí en adelante. Este indicador ofrece un balance adecuado entre complejidad y facilidad de interpretación, y ha resultado eficaz para medir los efectos de la red de ferrocarril de altas prestaciones en diferentes trabajos de investigación (Gutiérrez et al., 2011; López et al., 2008; Monzón et al., 2013; Ortega et al., 2012).

El indicador ACPR mide la “velocidad poblacional/económica” media y su valor se expresa en habitantes por unidad de tiempo.

$$ACPR_i^* = \sum_j \frac{P_j}{T_{ij}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$ACPR_i^*$ representa la accesibilidad del origen i para los j destinos en el escenario *

P_j es la población del destino j

T_{ij} es el tiempo de viaje entre cada par de origen-destino. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$T_{ij} = TTR(i, Ei) + TTF(Ei, Ej) + TTR(Ej, j) + \theta F$$

La ecuación considera los siguientes tiempos de viaje:

-El tiempo de viaje desde el origen hasta la estación más cercana por carretera:
 $TTR(i, Ei)$

-El tiempo de viaje que utiliza la red de ferrocarril desde la estación más cercana hasta la estación de destino: **$TTF(Ei, Ej)$**

-El tiempo de viaje por carretera desde la estación de destino hasta el destino final:
 $TTR(Ej, j)$



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

También considera una serie de penalizaciones (θF): frecuencia del servicio, cambios de línea de ferrocarril, cambio de modo de viaje (carretera-ferrocarril) y cambio de ancho de vía, utilizadas en (López et al., 2009)

La frecuencia de penalizaciones se calcula de acuerdo al modelo empírico definido por Megía (2002), el cual depende de la población, la distancia y el tiempo de viaje de cada par origen-destino. En este caso el modelo fue calibrado utilizando las frecuencias de servicio desde Madrid y Barcelona al resto de ciudades principales de España. La penalización debida a la frecuencia de servicio es de 15 minutos por cada hora de viaje en tren. El cambio de modo de carretera a ferrocarril se asume que es 30 minutos de media, incluyendo el tiempo de espera. El tiempo que se ha fijado para los cambios de ancho de vía es de 20 minutos.

Todos los cálculos fueron implementados en SIG programados en Arc Macro Language para ArcInfo.



3.4 Variable medioambiental: Conectividad/Fragmentación del Paisaje

En la literatura nos encontramos con numerosos indicadores que estiman la fragmentación o la conectividad del territorio. Estos indicadores se diseñan para intentar describir y predecir patrones en la fragmentación y qué efectos producen los mismos.

En el presente estudio se utilizó el indicador CCI (Connectivity index) propuesto por Mancebo Quintana et al., 2010. Este indicador estima la conectividad entre todas las teselas teniendo en cuenta tanto la configuración espacial de los usos de suelo artificial y natural como las barreras que suponen las infraestructuras lineales. Evalúa la resistencia que ofrece el paisaje a la hora de ser atravesado por los organismos que se mueven entre sus teselas

Una de las ventajas de este indicador es que permite comparar los valores de conectividad entre diferentes áreas geográficas o diferentes períodos de tiempo en la misma área.

El indicador atiende a la siguiente ecuación:

$$CI_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{A_j}{de_{i,j}}}{2\pi de_{max}}$$

Ecuación 2

CI_i^* : es el valor del indicador para el pixel i en el escenario correspondiente al año *

$de_{i,j}$: es la distancia efectiva entre el origen i y el destino j

A_j : es el área de cada uno de los n destinos j que pertenecen a la misma clase de hábitat que el origen i

$2\pi de_{max}$: es el máximo valor posible para el numerador, es un factor de normalización para que el índice oscile siempre entre 0 y 1



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

3.5 Cálculo de las variables

3.5.1 Variable socioeconómica: Índice de Accesibilidad

Los datos necesarios para el cálculo de accesibilidad mediante el uso de SIG en cada escenario u horizonte serán los siguientes:

- La red de carreteras con la información de tipología y velocidad
- Las redes de ferrocarril con los atributos de tipología, velocidad e impedancias
- La localización de los centros de población, que serán los orígenes y los destinos, con la información de la población total de los años estudiados

En este apartado se explicará la metodología en la que se basa el cálculo de la accesibilidad potencial, implementada para SIG y programada en Arc Macro Language para ArcInfo por Mancebo Quintana et al., 2010.

Esta metodología está recogida en el artículo “Road and railway accessibility atlas of Spain” Ortega Pérez, Mancebo Quintana, & Otero Pastor, 2011 y es la siguiente:

3.5.1.1 Preparación de la redes de carreteras y ferrocarriles

Preparación de las redes:

Las capas correspondientes a carreteras, ferrocarril convencional y ferrocarriles de altas prestaciones fueron cedidas por el centro de investigación del transporte TRANSyT. En cada una de las capas se diferencian los años a los que pertenece cada tramo de las infraestructuras y la tipología de las mismas.

Las redes son correctas topológicamente y no presentan errores de conexión.

Integración de los centros de población y las estaciones a las redes:

Los centros de población no coinciden exactamente con la capa de carreteras debido a que proceden de fuentes diferentes. Para arreglar esto se utiliza la herramienta *snapping* para hacer coincidir los centros con las carreteras.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

Puede ocurrir también que en la base de datos utilizada no haya ninguna carretera que conecte ciertas estaciones de ferrocarril. En este caso, como antes, las estaciones tienen que desplazarse a la carretera más cercana. Las estaciones deben mantenerse separadas de los centros de población, ya que generalmente es necesario realizar algún tipo de desplazamiento previo a lo largo de una carretera. Fue necesario desplazar las líneas de ferrocarril convencional y de altas prestaciones con el fin de hacerlas coincidir con las estaciones desplazadas.

Finalmente la red de carreteras, el ferrocarril convencional y la red de ferrocarril de altas prestaciones se unieron y por lo tanto se crearon los nodos de esta red. Estos nodos coinciden con los centros de población que serán los orígenes y los destinos y con las estaciones de ferrocarril, donde se cambia de modo de transporte.



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

La siguiente figura extraída del mismo artículo muestra la integración de las carreteras y ferrocarriles a los centros de población y estaciones:

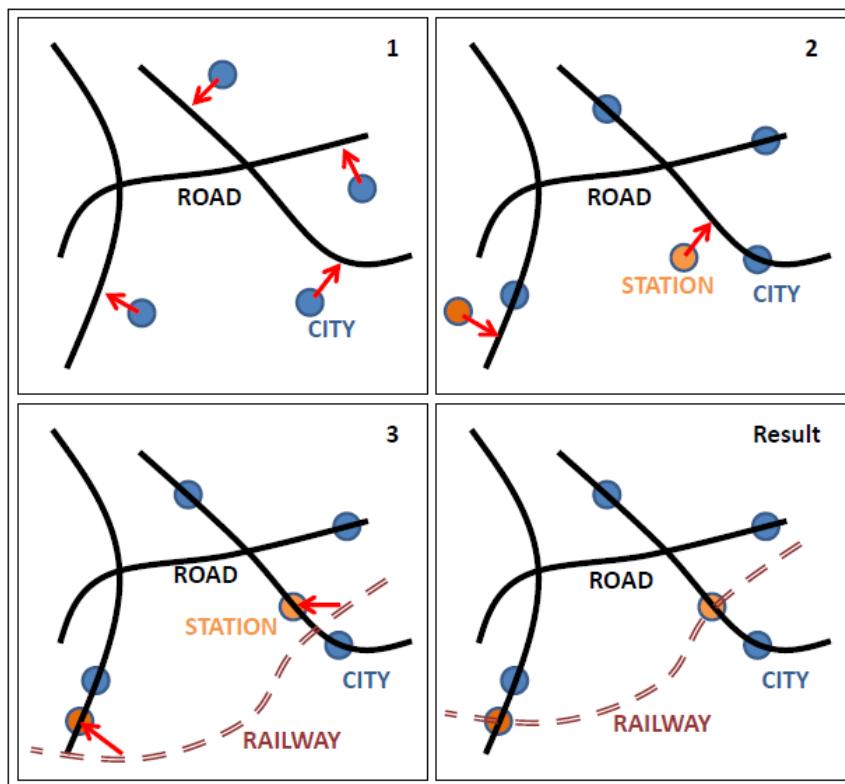


Figura 16. Integración de las carreteras y ferrocarriles a los centros de población y estaciones. Paso 1: Los centros de población son desplazados a la carretera más cercana. Paso 2: Las estaciones se desplazan a la carretera más cercana. Paso 3: Se desplazan las líneas de ferrocarril para que coincidan con las estaciones

Preparación de los centros de población:

La capa que representa los centros de población fue cedida por TRANSyT y abarca 8.250 pueblos y ciudades, esta capa contiene la información referente al número de habitantes de los mismos en los años 1990, 2007, 2016 y 2025 (INE, 2010).

3.5.1.2 Cálculo de los indicadores

Cálculo de los tiempos de viaje reales



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

Se calculan los caminos que minimizan el tiempo de viaje para ambas redes:

-Carreteras: El tiempo de viaje es igual la suma de los tiempos de viaje de los arcos del camino mínimo que se está recorriendo, de acuerdo con el algoritmo de Dijkstra (1959) asumiendo las siguientes velocidades: 120 km/h para autopistas y autovías de doble carril, 100 km/h para las carreteras nacionales y 90,80 y 70 km/h para carreteras autonómicas de primer nivel, carreteras autonómicas de segundo nivel y carreteras locales, respectivamente.

-Ferrocarriles: El tiempo de acceso entre cada par i-j es la suma del desplazamiento por carretera desde el punto de origen hasta la estación más cercana y del desplazamiento por carretera desde la estación más cercana al destino hasta el propio destino, más el tiempo de viaje a través de la red de ferrocarril. Este tiempo de viaje se calcula de acuerdo a la velocidad de la infraestructura que utiliza; 220 km/h para líneas de altas prestaciones, 120 km/h para líneas convencionales rápidas, 80 km/h para líneas convencionales y 40 km/h para ferrocarril de vía estrecha. Los desplazamientos a lo largo de la red de ferrocarril están sometidos a una serie de impedancias debidas a: cambio de modo de transporte (carretera a ferrocarril), frecuencia del servicio, cambios de línea y cambios de ancho de vía. El desarrollo de estas impedancias se puede encontrar en López (2007).



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

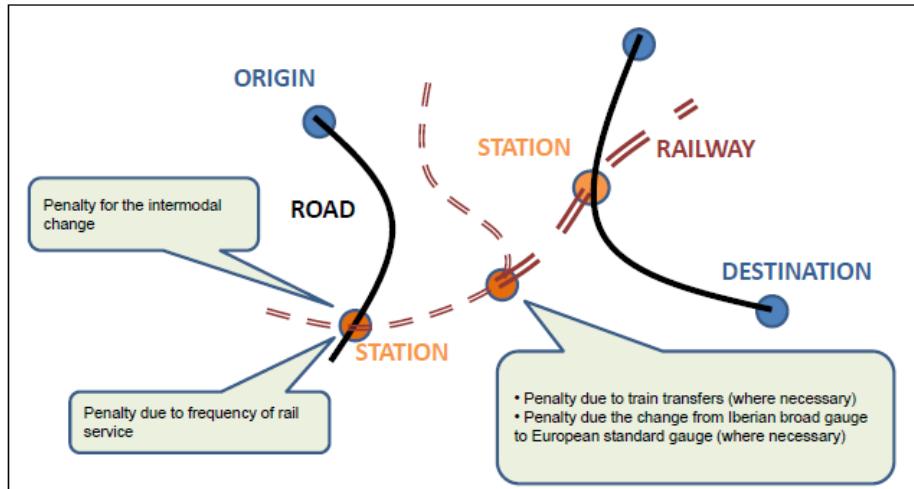


Figura 17. Cálculo del tiempo de viaje entre un origen i y un destino j.
Extraído del artículo “Road and railway accessibility atlas of Spain”

Cálculo de los indicadores:

Una vez que se han calculado los tiempos de viaje correspondientes, el programa calcula el valor de accesibilidad para cada centro de población siguiendo la Ecuación 1.

Se calculó la accesibilidad para los diferentes escenarios, manteniendo las carreteras y el ferrocarril convencional del año 1990 y variando el ferrocarril de altas prestaciones en los diferentes años estudiados.

Para representar gráficamente la accesibilidad se interpolaron los valores de accesibilidad de las poblaciones mediante IDW (Inverse Distance Weighting) obteniendo una capa ráster que contiene el valor de accesibilidad del territorio en cada celdilla. Los mapas de cambio de accesibilidad para cada escenario horizonte se calcularon como la diferencia relativa respecto al escenario cero expresado en porcentaje.

$$\text{Cambios } ACPR_{0 \rightarrow Hx}(\%) = \frac{|ACPR_{Hx} - ACPR_0|}{ACPR_0} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$



Por último se asignó un valor de accesibilidad a cada uno de los corredores. Teniendo en cuenta que cada corredor atraviesa diversas provincias, la suma ponderada de los valores de accesibilidad de cada centro de población de esas provincias considerando que el valor de accesibilidad de poblaciones con menor número de habitantes tiene menos peso en la accesibilidad global del conjunto.

$$ACPR_{corredor}^{Hx} = \sum_i^n \frac{ACPR_i^{Hx} * P_i^{Hx}}{\sum P_i}$$

Ecuación 4

Donde n es el número total de centros de población pertenecientes a las provincias que atraviesan el corredor.

3.5.2 Variable medioambiental: Índice de Conectividad “CCI”

La conectividad entre las teselas del territorio se mide analizando el coste que supone llegar de una tesela a otra. El coste que supone atravesar el territorio va más allá de la distancia euclídea más cercana entre origen y destino ya que se deben tener en cuenta otros aspectos que dificultan el movimiento de los organismos a través del territorio. Numerosos estudios utilizan “modelos de distancia de coste del desplazamiento” como aproximación para incorporar la información relativa a la matriz del paisaje y aspectos del comportamiento de las especies en la medida de la conectividad (Adriaensen, et al., 2003; Marulli & Mallarach, 2005). Esta herramienta está implementada en la mayoría de programas SIG disponibles en la actualidad y su funcionamiento se basa en una metodología ráster que calcula el coste acumulado que supone atravesar las celdas desde un origen y un destino teniendo en cuenta la resistencia que ofrece el paisaje debido a pendientes, barreras, etc.

El índice de conectividad propuesto por Mancebo Quintana et al. (2010) consiste en otorgar un valor de conectividad a cada celdilla que es inversamente proporcional a las distancias de coste de desplazamiento que existen entre cada origen y sus destinos.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

El cálculo de este índice de conectividad utiliza una metodología basada en el sistema de información geográfica Arc/Info y su cálculo fue programado en ArcInfo Macro Language (AML). El código original fue programado por Santiago Mancebo Quintana y el fragmento de código con las subrutinas asociadas al cálculo del índice de conectividad se tradujo a Python (Anexos 7.1, 7.2 y 7.3) creándose así tres herramientas para el sistema de información geográfica ArcMap.

La información de partida necesaria para realizar los cálculos es:

- Mapa de los usos de suelo clasificados como hábitats naturales según el Corine Land Cover
- Mapa de los usos de suelo clasificados como “superficie artificial” por el Corine Land Cover.
- Las capas correspondientes a las infraestructuras lineales con su tipología en los diferentes escenarios.

A continuación se describirá brevemente las funciones de las herramientas:

- **Set Up Barries** (Compatible con la versión 10.1 + Service Pack 1 o versiones superiores)

Se introducen todas las redes que se quieran tener en cuenta en el cálculo del índice (trenes, carreteras, etc) a las que previamente se les ha añadido un campo en común con el valor de la impedancia asignada a cada barrera (Ver Tabla 2. Coeficiente de fricción para los diferentes elementos). La herramienta extrae las barreras con una impedancia mayor a 0, las disuelve y las une en una misma capa.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

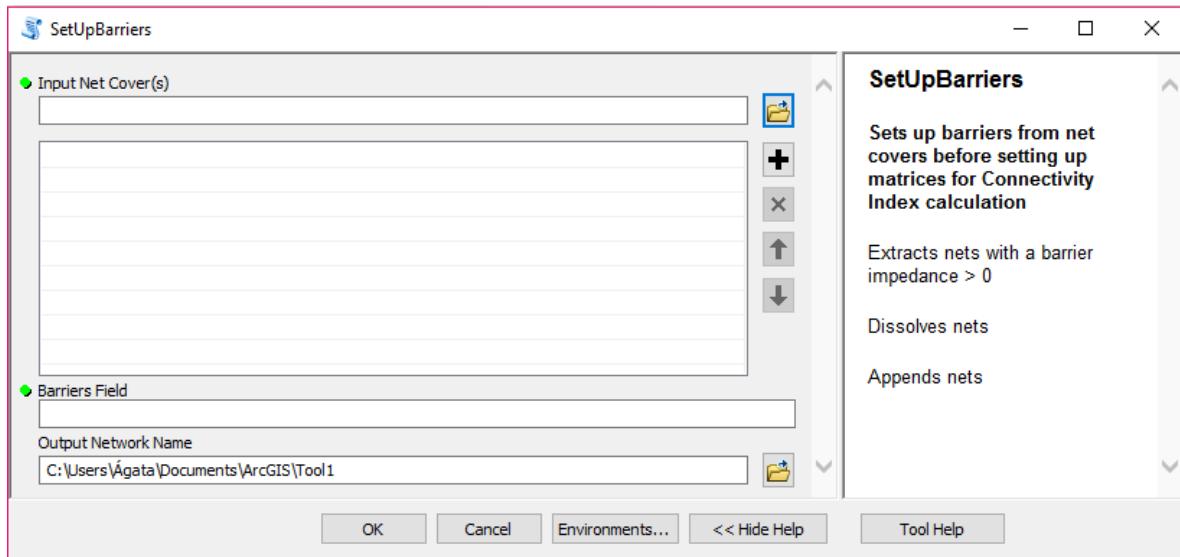


Figura 18. Captura de la interfaz de la herramienta *Set Up Barriers*

- **Set Up Matrices** (Compatible con la versión 10.5)

Esta herramienta crea las matrices de resistencia o mapas de impedancia en formato ráster que se utilizarán al calcular la “distancia de coste de desplazamiento”, uno de los factores que forman parte de la ecuación del índice de conectividad.

Los inputs de los que parte la herramienta son: el ráster que representa las clases naturales de hábitat, el ráster con los usos de suelo artificiales, la capa con las infraestructuras de transporte (output de la anterior herramienta), el nombre del campo que contiene la impedancia de la barrera, un número de “agregación de celdas” y un ráster de referencia del cual tomarán la extensión los ráster de salida y la carpeta donde se guardarán los ráster de salida. Al ejecutar la herramienta se irá llenando el directorio de salida elegido con cada una de las matrices de resistencia.

Antes de continuar con la explicación de esta herramienta se realizará un inciso para explicar qué son los orígenes y los destinos que aparecen en la Ecuación 2 y que son necesarios para los cálculos de estos mapas de impedancia así como para el cálculo del índice de conectividad:



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

Los orígenes del movimiento de los organismos son cada una de las celdillas del mapa de hábitats que pertenecen a una tesela clasificada como hábitat y los destinos para cada uno de los orígenes serán aquellas celdillas del mismo mapa que pertenecen a su misma clase de hábitat. Además se consideró que en aquellas celdillas donde predominaban las infraestructuras de transporte o que era superficie considerada como artificial en el mapa de usos de suelo se eliminaron de los cálculos ya que se consideró que el hábitat había sido sustituido por estos elementos (Mancebo Quintana et al., 2010)

Siguiendo con la explicación de la herramienta; cada celda del mapa de impedancia refleja la dificultad que presenta un organismo para atravesarla en función de diversos factores a los cuales se les asigna un coeficiente de fricción. Estos factores son la clase de hábitat, los usos de suelo que Corine land rover clasifica como “superficies artificiales” y la tipología de las diferentes infraestructuras de transporte.

La impedancia que supone atravesar un hábitat perteneciente a la misma clase de hábitat que el origen es 1, mientras que si atraviesa una clase de hábitat distinto la impedancia es de 2. El coste que supone atravesar una superficie artificial como son el tejido urbano, zonas industriales, escombreras, etc. es de $2\sqrt{\pi}$ puesto que un organismo no atraviesa directamente dichas zonas si no que para ello debe rodearlas. Este valor procede del siguiente razonamiento:

El área de una celda es el cuadrado de la longitud de su lado (resolución), por ejemplo $A = res^2$; si esta celda fuese un círculo de radio R, el área equivalente sería $A = \pi R^2$. Entonces, el radio sería $R = \frac{res}{\sqrt{\pi}}$. La distancia a recorrer para rodear este círculo es la mitad del perímetro del círculo de radio R. Si además tenemos en cuenta que la distancia que se recorre corresponde con un hábitat distinto al de la celdilla de origen, el coeficiente de fricción para este tipo de superficies es $2\sqrt{\pi}$. (Mancebo Quintana et al., 2010)



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

Por último, atravesar una infraestructura de transporte supondrá un costo mayor o menor dependiendo de su tipología. Además, si una zona es atravesada por varias infraestructuras a la vez se considera que la impedancia de atravesar esa zona es mayor.

A continuación se expone una tabla que resume el coeficiente de fricción asignado a los diferentes factores que forman parte del cálculo:



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

TIPO DE BARRERA	COEFICIENTE DE FRICCIÓN
Hábitat de la misma clase	1
Hábitat de distinta clase	2
Superficie artificial	$2\sqrt{\pi}$
Autopista de peaje	16
Autopista libre o autovía	16
Autopista libre o autovía. Acceso	16
Nacional	8
Nacional. Ramal	8
Autopista de peaje. Autonómica	16
Autopista libre o autovía. Autonómica	16
Autonómica de primer orden	8
Autonómica de segundo orden	4
Autonómica local	0
Calles y pistas	0
Ferrocarril altas prestaciones. Viajeros	16
Ferrocarril altas prestaciones. Tráfico mixto	16
Ferrocarril convencional rápido	0
Ferrocarril convencional lento	0
Ferrocarril convencional	0

Tabla 2. Coeficiente de fricción para los diferentes elementos

Por último mencionar que esta herramienta realiza una serie de simplificaciones para acelerar los cálculos y agrega las celdillas del mapa de fricción según el valor que introduzcamos. En nuestro caso al calcular el índice en toda España se agregaron las celdillas de 20 en 20 por lo para el ráster de entrada con un tamaño de celda de 100 m se crearon los mapas de impedancia con un tamaño de celda de 2000 m; es decir cuadrículas de 2x2 km



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

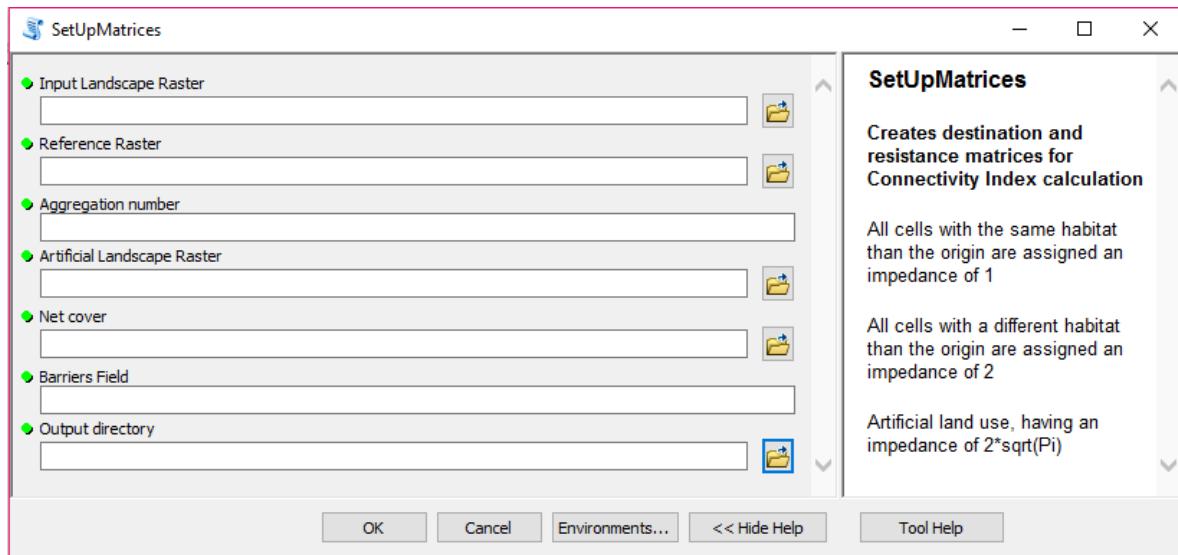


Figura 19. Captura de la interfaz de la herramienta *Set Up Matrices*

- **Connectivity Index** (Compatible con la versión 10.1 + Service Pack 1 o versiones superiores)

Esta herramienta calcula el valor del índice CCI en cada celda del ráster de salida siguiendo la Ecuación 2. Para ello, se debe introducir a la herramienta la siguiente información: el ráster que representa las clases de hábitat naturales de la zona de estudio, la carpeta donde se han calculado con la anterior herramienta las matrices de resistencia, para poder calcular las distancias de coste de la ecuación, y la distancia que se considera como la máxima que puede atravesar un organismo (Mancebo Quintana, et al., 2010) justifican la utilización 50 km como distancia máxima por lo que ese es el valor que se ha escogido para hacer los cálculos.

La herramienta calcula las distancias de coste desde cada origen al resto de destinos presentes en el mapa de hábitats para poder obtener el factor " $de_{i,j}$ " de la Ecuación 2.

Pese a que se realizó una simplificación del territorio (cuadrículas de 2x2 kilómetros), el volumen de cálculos es tan grande que se necesitó dividir el territorio en franjas para



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

poder asumir el cálculo. Para calcular el índice de conectividad en todos los escenarios descritos se necesitó el uso ininterrumpido de varios ordenadores durante varios días.

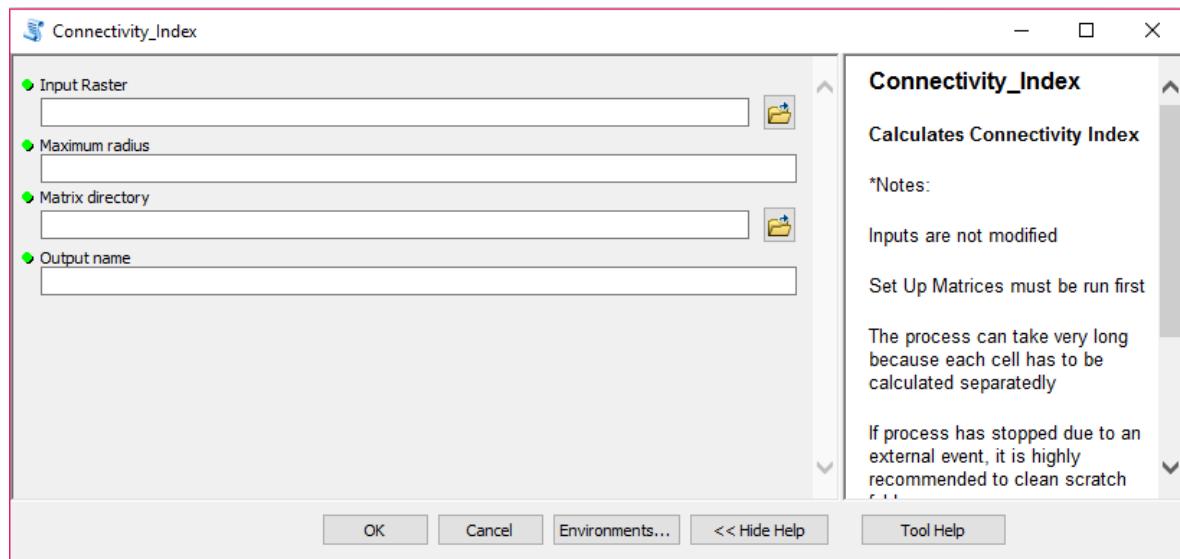


Figura 20. Captura de la interfaz de la herramienta *Connectivity Index*

Estas herramientas se utilizaron para calcular la conectividad del territorio para cada uno de los escenarios propuestos.

Los mapas de cambios en la conectividad para cada escenario horizonte se calcularon como la diferencia relativa respecto al escenario cero expresado en porcentaje.

$$\text{Cambios } CCI_{0 \rightarrow Hx} (\%) = \frac{|CCI_{Hx} - CCI_0|}{CCI_0} * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Por último para poder comparar el grado de afectación en los diferentes corredores se extrajo la media de los cambios producidos en las provincias que atraviesan cada corredor.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

4. RESULTADOS

4.1 Variable socioeconómica: Accesibilidad

En este apartado se muestran los resultados correspondientes a la accesibilidad del territorio; primero a nivel nacional, distinguiendo entre los valores netos del indicador y los cambios producidos en los diferentes escenarios, y después a nivel corredor.

4.1.1 Resultados a nivel nacional

4.1.1.1 Valores del indicador de accesibilidad ACPR

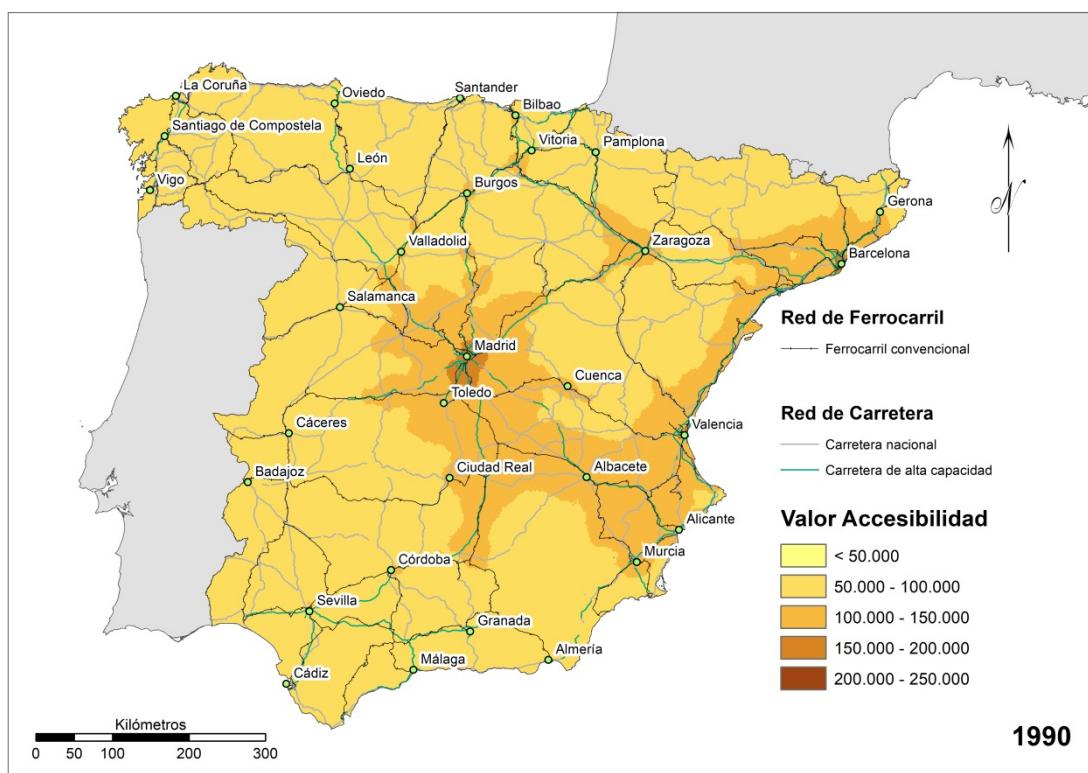


Figura 21. Valor de accesibilidad en el escenario cero

En el escenario de referencia se observa que los mayores valores de accesibilidad se corresponden con las zonas centro y levante peninsular y los alrededores de Zaragoza. Los mayores niveles de accesibilidad se localizan mayoritariamente en la provincia de Madrid (Figura 21)



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

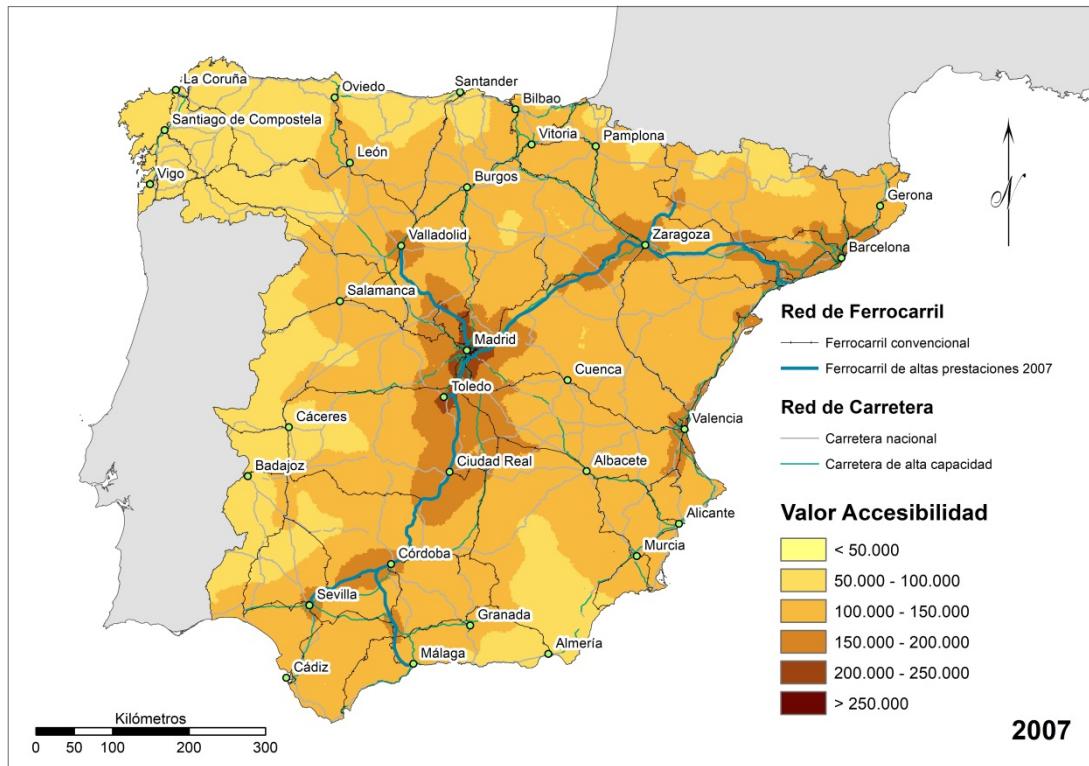


Figura 22. Valor de la accesibilidad en el escenario horizonte 1

La figura 22 muestra la situación en el primer escenario horizonte, correspondiente al año 2017. Las líneas de altas prestaciones que estaban en funcionamiento eran las conexiones Madrid-Sevilla, Madrid-Tarragona, Madrid-Toledo, Córdoba-Málaga y Madrid-Valladolid. Los centros de población que se encuentran dentro de estas conexiones y sus alrededores se ven beneficiadas de mayores valores de accesibilidad. Toledo; por su cercanía a la capital se ve especialmente beneficiada. Málaga, sin embargo, pese a estar conectada a la red apenas ve incrementada su accesibilidad. Otras ciudades como Barcelona o Valencia, aún no unidas a la red, también se ven incrementada su accesibilidad debido a las conexiones ya existentes.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

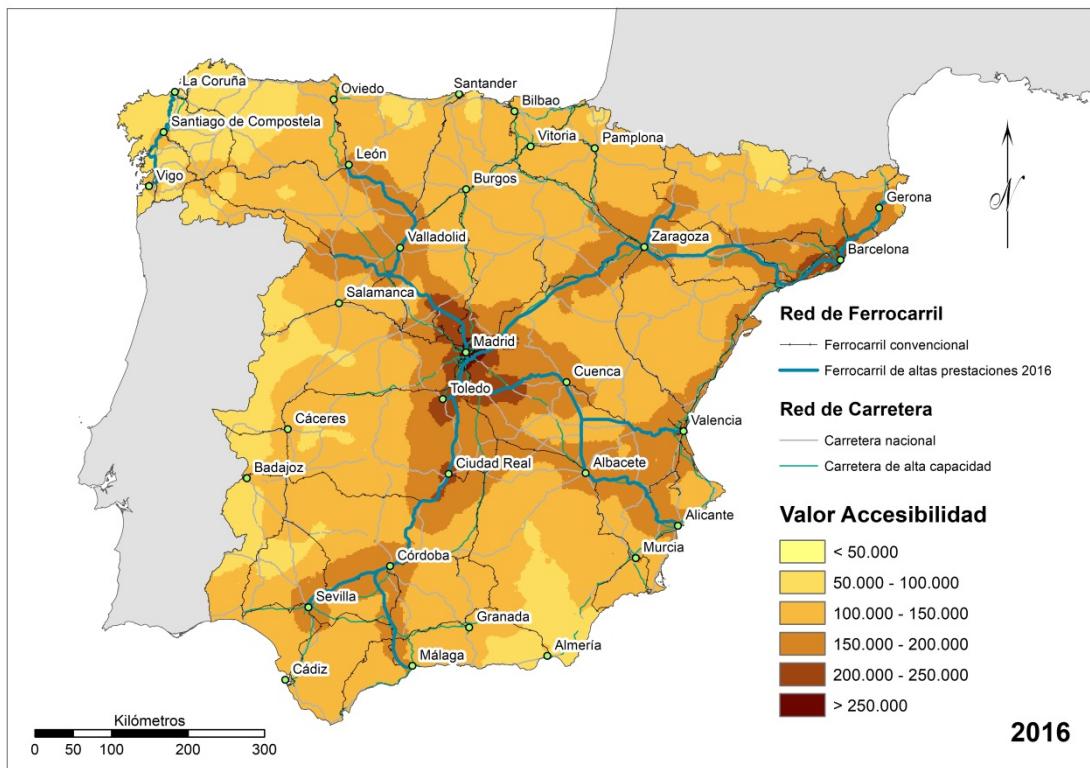


Figura 23. Valor de la accesibilidad en el escenario horizonte 2

La figura 23 representa la situación en el segundo escenario horizonte, 2016. La conexión Madrid-Tarragona se extiende hasta Gerona, pasando por Barcelona, incrementando así la accesibilidad de los centros de población catalanes.

La conexión Valladolid-Palencia-León y el tramo Olmedo-Zamora permite el incremento de la accesibilidad de las poblaciones que conectan.

La nueva línea Madrid-Castilla La mancha-Comunidad Valenciana permite un notable aumento de los valores del indicador en las ciudades de Cuenca, Albacete, Alicante, Valencia y los alrededores de éstas.

El tramo que conecta Vigo con La Coruña apenas mejora puesto que todavía no conecta con el resto de la red.

Las ciudades con mayores valores de accesibilidad son Madrid y Barcelona. A estas dos ciudades les siguen otras como Tarragona, Toledo y Ciudad Real.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

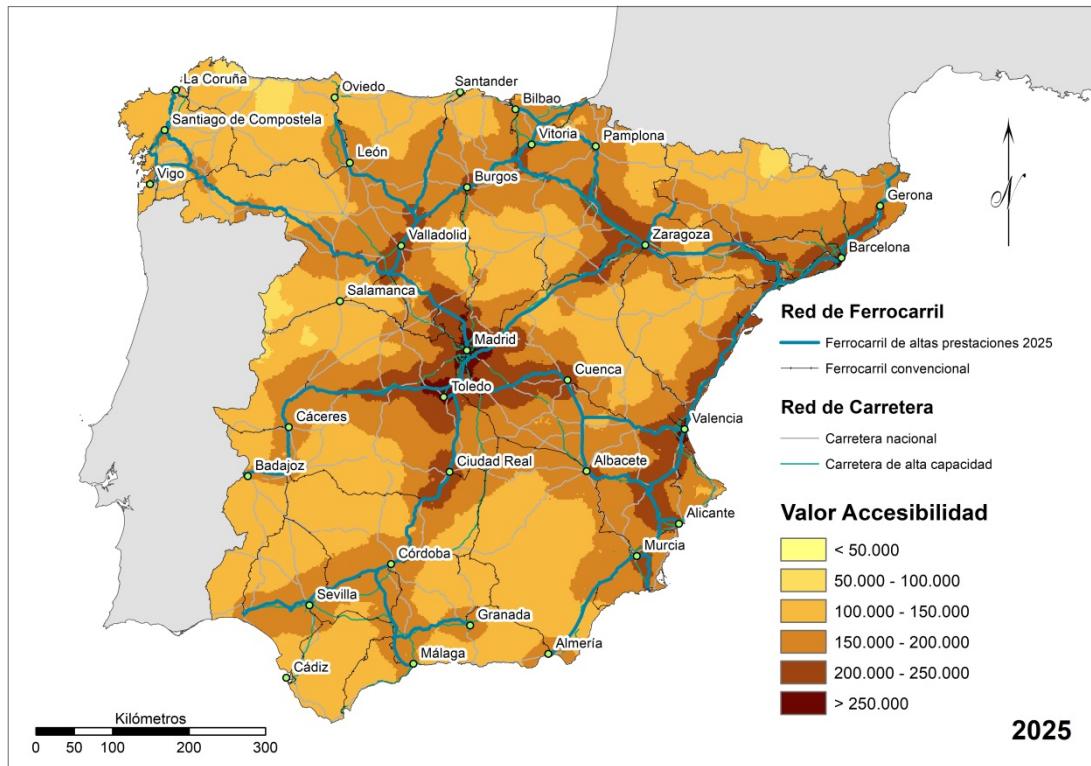


Figura 24. Valor de la accesibilidad en el último escenario horizonte

Tal y como se muestra en la figura 24; para el año 2025 se prevé que la accesibilidad haya mejorado en la totalidad del territorio y que todas las comunidades puedan acceder al servicio de altas prestaciones.

Para este escenario está prevista la conexión de la línea Eje Atlántico con el resto de la red. Los centros de población que conecta esta línea presentarían mejores niveles de accesibilidad pero éstos no serían similares a los del resto de poblaciones de la red puesto que las provincias gallegas y cántabras mostraban el mayor aislamiento territorial en el escenario de referencia.

También se conectarán a la red el País Vasco y Navarra con el consecuente aumento de la accesibilidad en esta zona norte de la península.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

El nuevo tramo que conectará Madrid con Extremadura, pasando por Cáceres y llegando hasta Badajoz, permitirá que aumente el valor del indicador en el oeste del territorio.

Por último, también está prevista la finalización de las obras de alta velocidad en la conexión Valencia-Barcelona por lo que se incrementaría el valor del indicador en el levante peninsular.

4.1.1.2 Cambios del indicador de accesibilidad ACPR en los diferentes escenarios

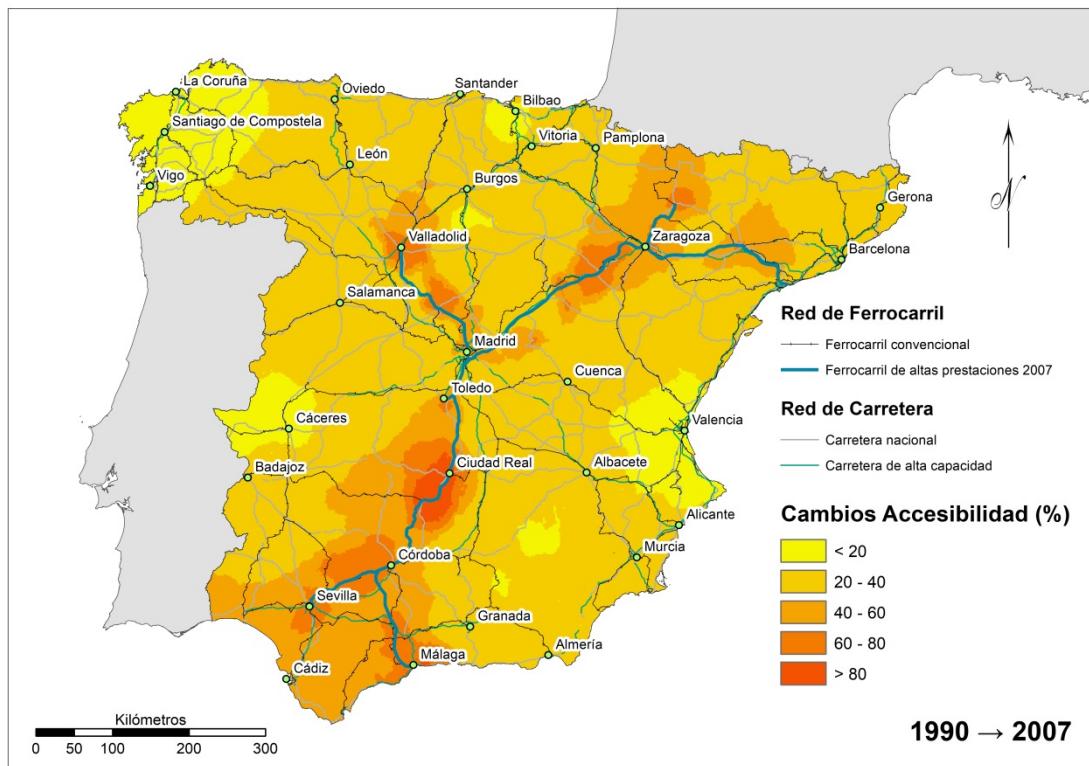


Figura 25. Cambios en la accesibilidad en el escenario horizonte 1 respecto al escenario cero

Durante el periodo 1990 a 2007 la mejora en la accesibilidad territorial debida al ferrocarril de alta velocidad para el conjunto de todo el territorio es de un 32,7%

Como se puede observar en la figura 25, los centros de población conectados a la red serán los que experimenten mayores cambios, volviéndose gradualmente menores conforme se alejen de la red. Las zonas donde apenas se producen cambios



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

corresponderían con la provincia de Cáceres, la Comunidad Valenciana, Galicia y parte del País Vasco.

Durante este periodo las ciudades de mayor población conectadas a la red son Madrid y Sevilla; la accesibilidad de la capital apenas sufre modificaciones debido a los altos valores que poseía en el escenario de referencia, sin embargo, Sevilla, que se encontraba en una situación más desfavorable, experimenta mejoras de hasta un 80%

Ciudades de menor entidad como Ciudad Real, Zaragoza, Calatayud, Valladolid, Córdoba y Málaga, entre otras, al conectarse a la red, experimentan mayores cambios en la accesibilidad, de hasta un 80% en todas ellas y más de un 80% en el caso de Ciudad Real.

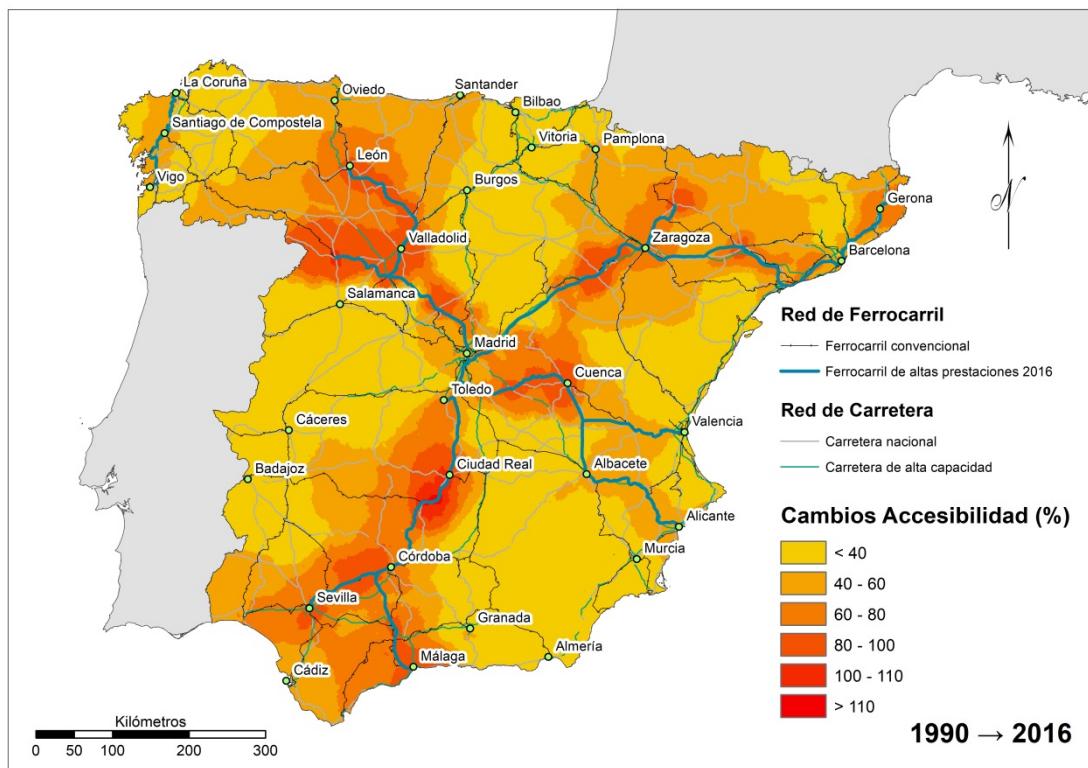


Figura 26. Cambios en la accesibilidad en el escenario horizonte 2 respecto al escenario cero



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

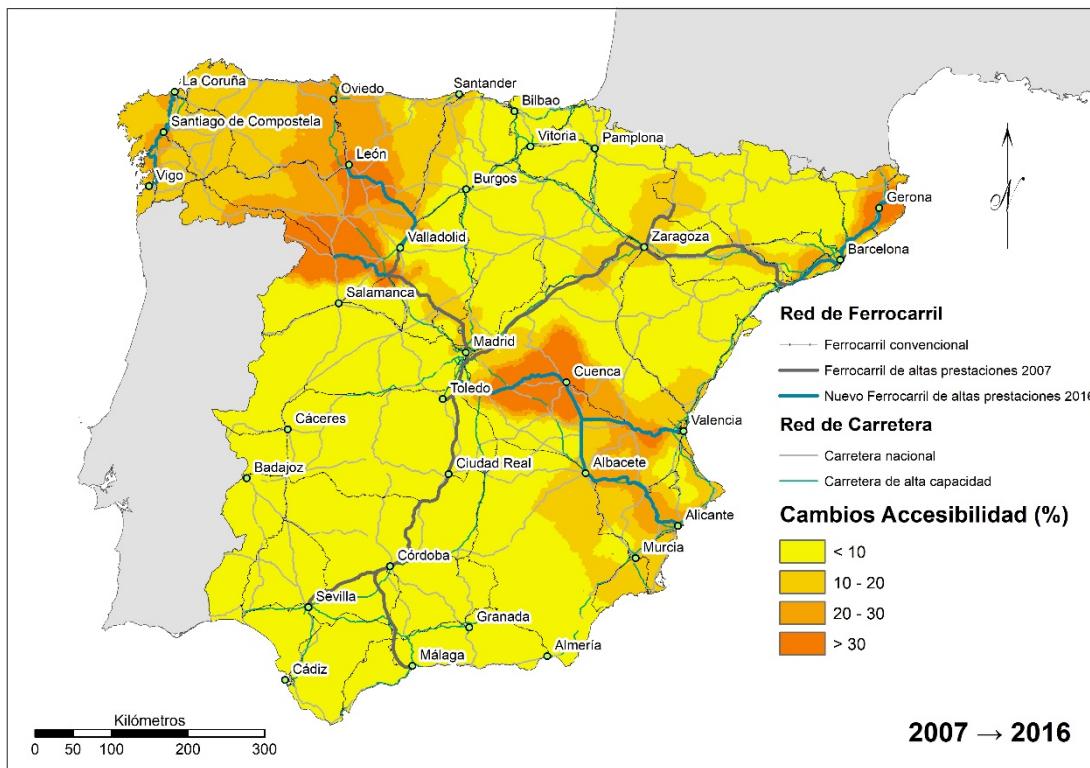


Figura 27. Cambios en la accesibilidad en el periodo 2007-2016

En el periodo 1990 a 2016 la construcción de nuevas infraestructuras de ferrocarril de altas prestaciones supuso una mejora de un 47,7% en la accesibilidad global del territorio. Esta mejora es de un 11,4% considerando únicamente los cambios desde el año 2007 al año 2016.

Al igual que en el periodo anterior, los cambios producidos desde el período de referencia se concentran mayoritariamente en los centros de población conectados a la red, siendo los cambios más relevantes en las ciudades de menor entidad. De la misma manera, la situación de las ciudades con mayor población en todo el territorio son Madrid, Barcelona, Sevilla y Valencia es la misma que la comentada anteriormente; Valencia y Barcelona, conectadas a la red en este período, experimentan cambios poco significativos (Figura 26)

Los cambios producidos con respecto al año 2007, que se concentran en aquellas ciudades intermedias que empiezan a contar con servicio de altas prestaciones como



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

Cuenca, Gerona, León, Zamora, que cuentan con mejoras en la accesibilidad de hasta más del 100% con respecto a 1990 (Figura 26) y de más del 30% (Figura 27) respecto al anterior período. Otras ciudades como Alicante, Murcia o Albacete se producen cambios menores, de entre un 20-30% respecto al periodo anterior (Figura 27).

Es en este período donde la línea del Eje Atlántico se conecta al resto de la red, sin embargo los cambios que se producen en el área gallega con respecto al período anterior oscilan entre un 10 y un 30% (Figura 27) y entre un 40 y 80 % respecto con el escenario de referencia (Figura 26).

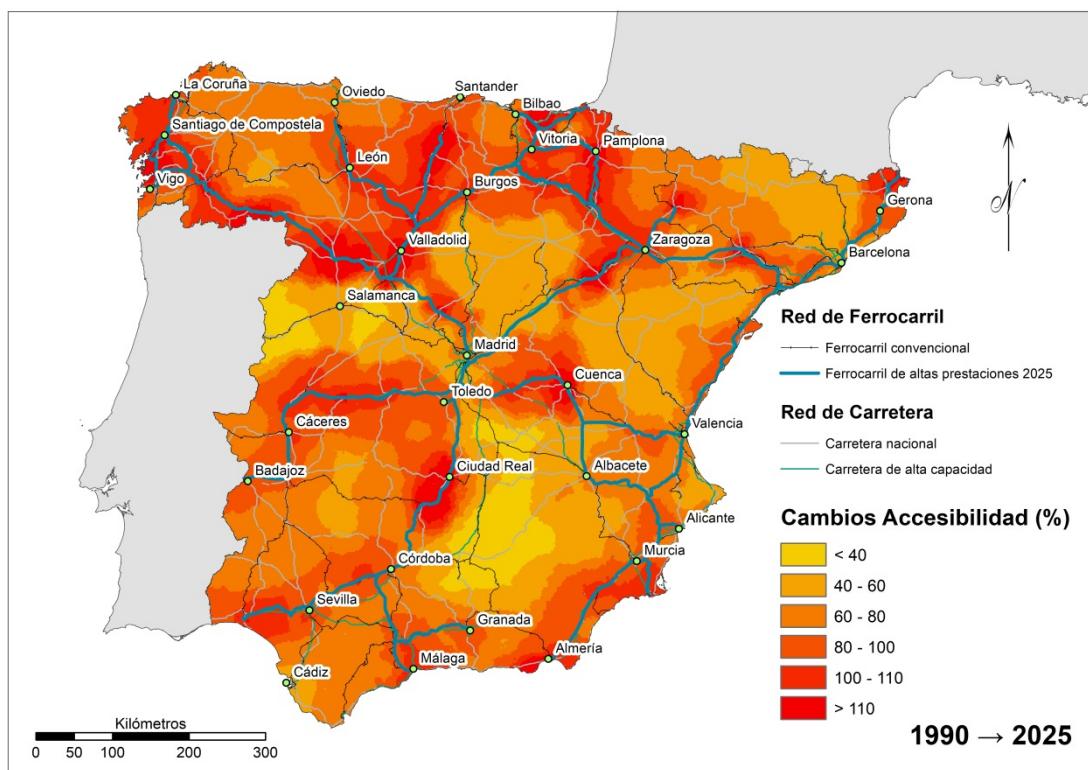


Figura 28. Cambios en la accesibilidad en el último escenario horizonte respecto al escenario cero



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

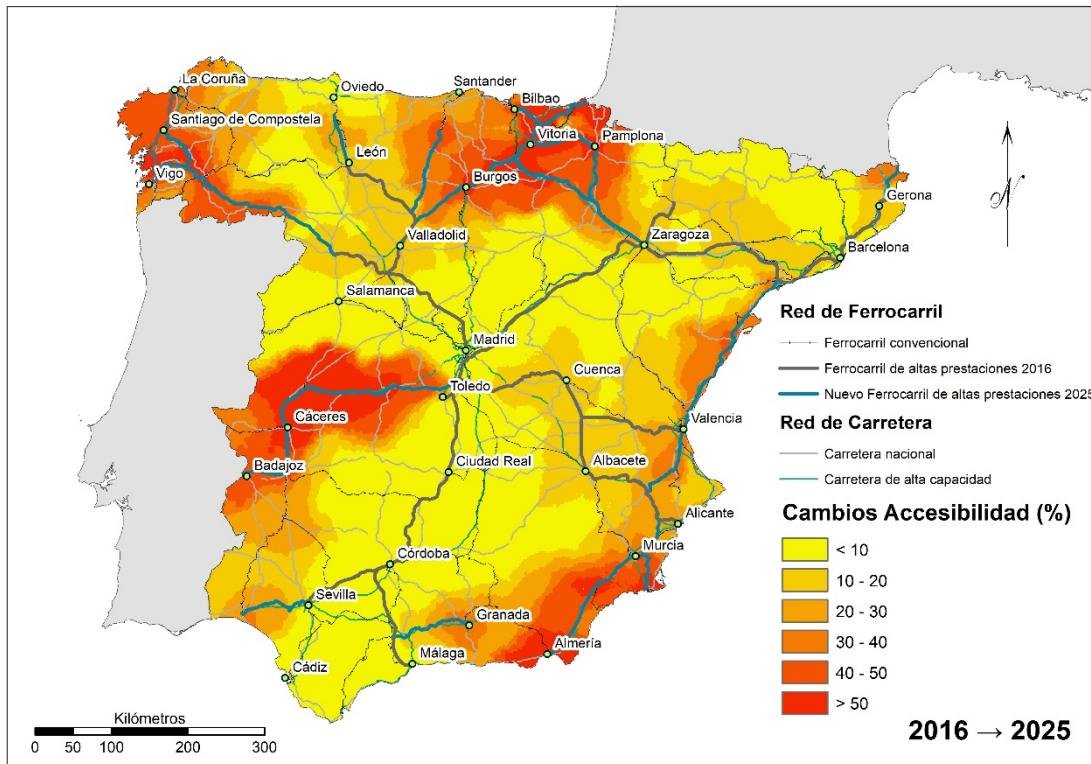


Figura 29. Cambios en la accesibilidad en el periodo 2016-2015

Por último, los beneficios que se alcanzarán en el último escenario estudiado y en la totalidad del territorio supondrán un 74,7% más en la accesibilidad global con respecto al escenario de referencia y un 19,1% respecto al año 2016.

La nueva conexión con Extremadura supondrá que en las zonas de esta provincia, cuyos niveles de accesibilidad eran bajos en comparación con el resto del territorio, se incrementen los valores de la accesibilidad en más del 100% respecto al escenario de referencia (Figura 28) y en más del 50% respecto al anterior periodo (Figura 29). Este mismo caso se presenta en la conexión del Eje Atlántico con el resto de la red, en el norte peninsular; debido a la conexión de Zaragoza con Navarra y el País Vasco, y en la conexión de Alicante con Almería pasando por Murcia.

Las zonas donde menores cambios de accesibilidad se producen en todo el periodo estudiado corresponden con el oeste de la provincia de Ciudad Real, la provincia de Jaén y la provincia de Salamanca. (Figura 29)



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

Las ciudades de Madrid y Barcelona eran las que gozaban de mayores niveles de accesibilidad en el escenario de referencia por lo que apenas experimentan cambios notables en la accesibilidad en comparación con el resto del territorio. El litoral mediterráneo también presentaba buenos niveles de accesibilidad en el año 1990 por lo que, aunque experimenta cambios en la accesibilidad entre un 40-80% en todo el período estudiado (Figura 29) y entre un 30-50% respecto al anterior periodo, estos cambios no son tan notables como en otras conexiones (Figura 29).

4.1.2 Resultados por corredores: Resúmenes

CORREDOR	ACPR 1990	ACPR 2007	ACPR 2016	ACPR 2025
Galicia	175207	227816	252346	279741
Norte	162023	211510	233136	264527
Extremadura	203606	256931	278069	301424
Cataluña	186039	232421	256747	276198
Andalucía	162924	218373	235536	253826
Mediterráneo	142525	168851	191366	227438
Levante	191076	231330	256272	283548
Zaragoza-P.Vasco	104232	137976	148301	206457

Tabla 3. Valores del índice ACPR agrupados por corredores y en los diferentes escenarios

La Tabla 3 muestra los valores del indicador de accesibilidad de los corredores para cada año estudiado.

Los corredores con mayores valores de accesibilidad, de mayor a menor, en el escenario cero corresponden con los corredores Extremadura, Levante y Cataluña y para el mismo escenario, los corredores con menores valores de accesibilidad, de menor a mayor, son los corredores Zaragoza-P. Vasco y Mediterráneo.

En el último escenario horizonte (2025) se observan que los mayores valores de accesibilidad, de mayor a menor, se encuentran en los corredores Extremadura, Levante, Galicia y Cataluña. Para este mismo escenario, los corredores con menores valores de accesibilidad, de menor a mayor, son Zaragoza-P. Vasco, Mediterráneo y Andalucía



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

Madrid es la provincia que presenta mayores valores de accesibilidad por lo que los corredores que lo incluyen se benefician de esta situación, por ello corredores como el de Extremadura, presentan mayores valores de accesibilidad; sin embargo, esto se debe a que más de las tres cuartas partes de la población total del corredores corresponden a la provincia de Madrid y por ello, la accesibilidad de esta provincia tiene mucho peso en este corredor.

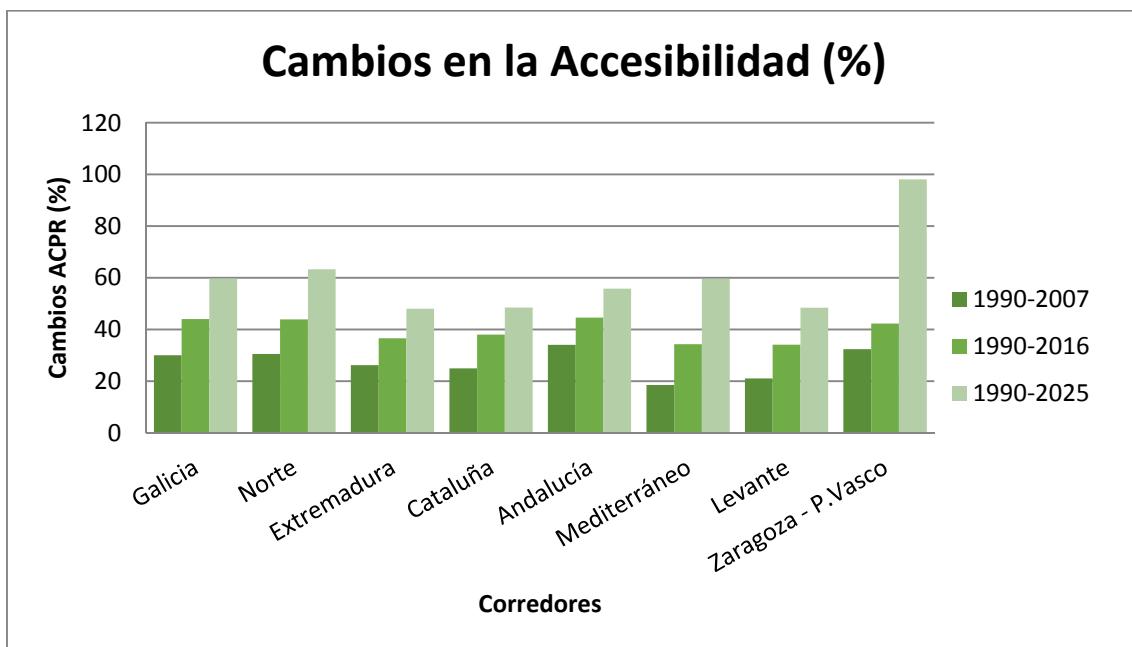


Figura 30. Cambios en la accesibilidad por corredores respecto al escenario de referencia



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

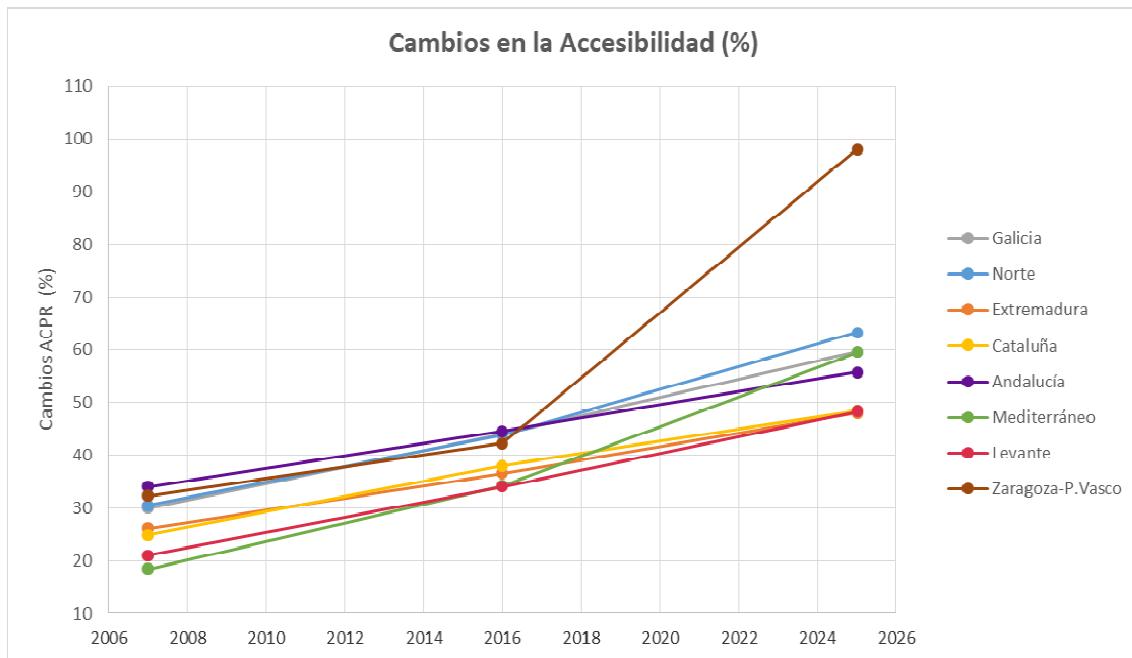


Figura 31. Cambios en la accesibilidad por corredores respecto al escenario de referencia (2)

Para todo el periodo estudiado (1990-2025), los corredores que experimentan mayores cambios en la accesibilidad son, de mayor a menor cambio, Zaragoza-País Vasco, Norte y Galicia. Los corredores que experimentan menores variaciones son, de menor a mayor, Extremadura, Levante y Cataluña (Figuras 30 y 31).



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

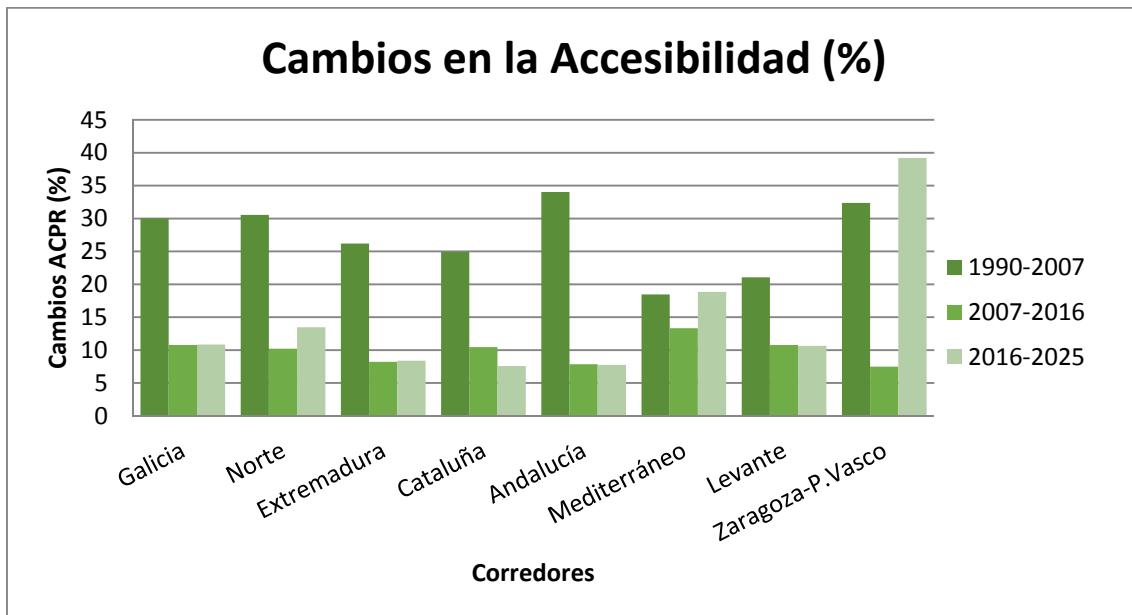


Figura 32. Cambios en la accesibilidad en los períodos intermedios

La figura 32 representa los cambios de accesibilidad que se producen en los corredores en los períodos 1990-2007, 2007-2016 y 2016-2025.

En el primer periodo estudiado, 1990-2007, el corredor con mayores ganancias en accesibilidad es el corredor Andalucía, llegando a casi un 35% más, seguido del corredor Zaragoza-P. Vasco con un 32% de beneficios en la accesibilidad, pero estos son debidos a las mejoras de accesibilidad de la provincia de Zaragoza gracias al tramo Zaragoza- Huesca, que forma parte del corredor Cataluña. También se observan valores altos en el corredor Galicia, que aunque la alta velocidad todavía no ha aparecido en esta provincia, la línea Madrid-Valladolid está en funcionamiento en el año 2007.

En el periodo 2007-2016, los corredores con las mejoras más significativas es el corredor Mediterráneo, con un incremento de más del 13% respecto al periodo anterior. El resto de corredores experimentan incrementos de entre el 8 y 10,5%.

El último periodo, correspondiente a los años 2016-2025, el corredor que más cambios experimenta es el corredor Zaragoza-P. Vasco (39,2%) debido a que se prevé que la totalidad del corredor esté en funcionamiento en el año 2025. Después de éste, el corredor que más se beneficiará en este periodo es el Mediterráneo (18,8%) gracias a



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

que la conexión Valencia-Barcelona se convierta en una línea de altas prestaciones y a la nueva línea que se incorporará a este corredor que pasará por Murcia hasta llegar a Almería y Cartagena.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

4.2 Variable medioambiental: Conectividad

4.2.1 Resultados a nivel nacional

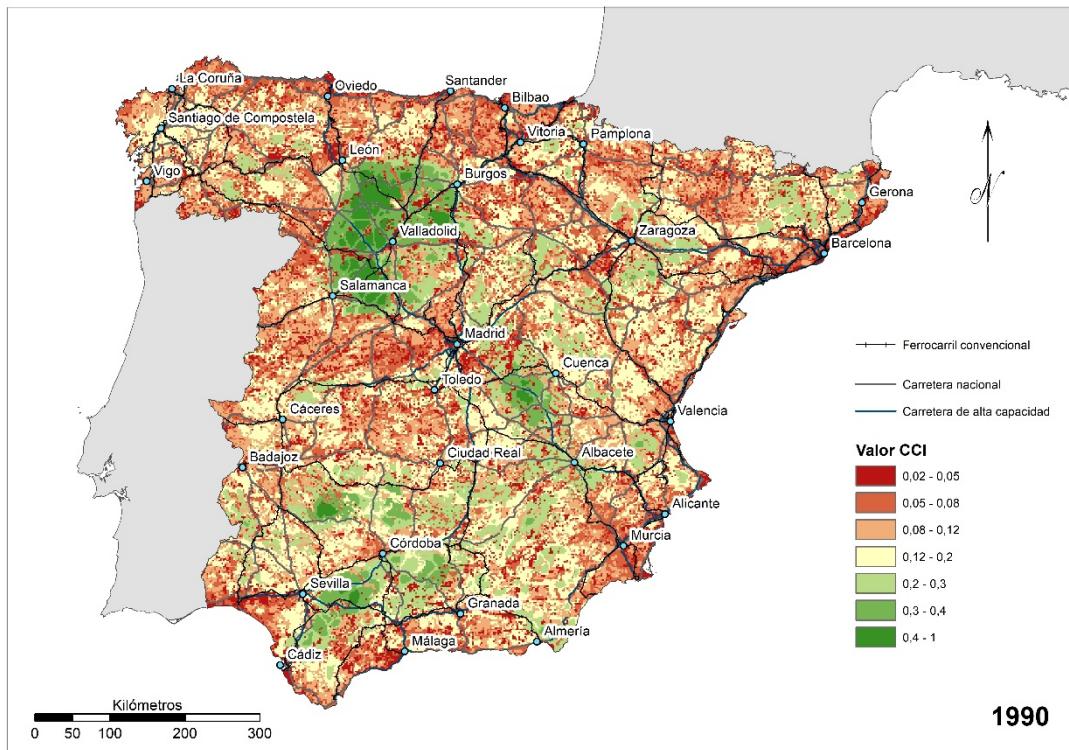


Figura 33. Valor del índice CCI en el escenario cero

La figura 33 muestra la situación del índice CCI en el escenario cero; se observa que la zona más extensa con los valores más altos de conectividad corresponde al área central de la provincia de Castilla y León. También se encuentran valores altos en la mitad oeste de la provincia de Cuenca, el sur de Extremadura y entre las provincias de Córdoba y Sevilla. La provincia con los valores más bajos de conectividad es Madrid.

Las áreas que representan la periferia del país muestran valores de conectividad más bajos pero esto se debe a que no se han tenido en cuenta en los cálculos los hábitats de los países vecinos y a la menor conectividad que supone el aislamiento del mar. Sin embargo, esto no influye a la hora de calcular los cambios producidos en los diferentes escenarios.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

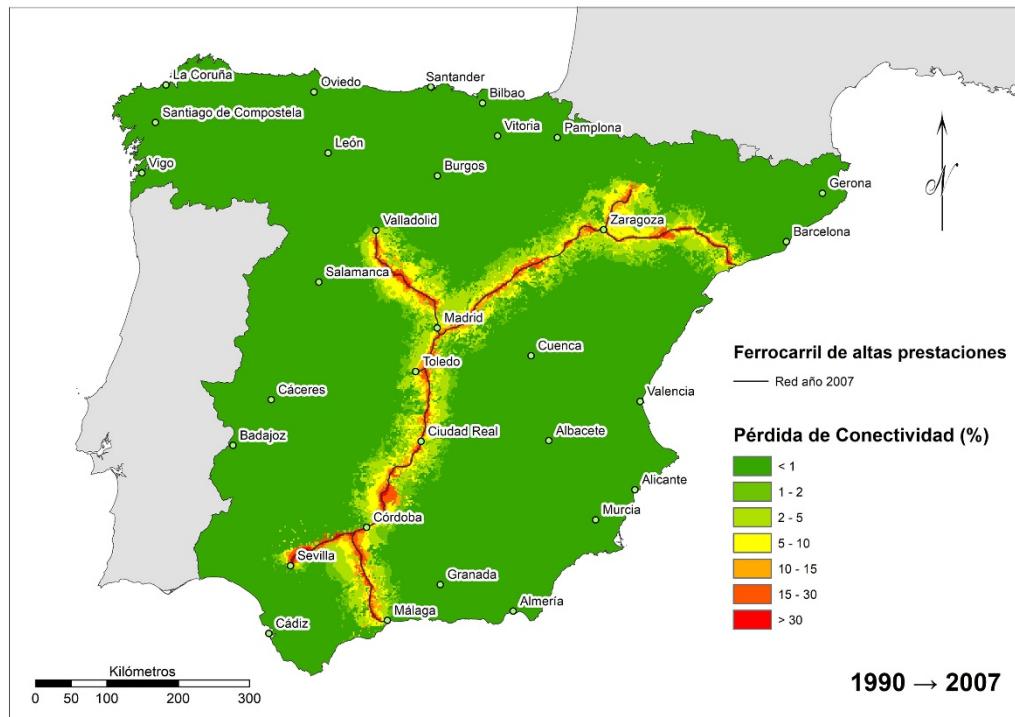


Figura 34. Cambios en la conectividad en el periodo 1990-2007

En la Figura 34 se observa claramente que los cambios producidos en la conectividad se producen en los márgenes de la red de altas prestaciones. Las zonas del territorio más próximas a la infraestructura son las más afectadas y en las que se observan pérdidas de conectividad mayores del 30%. Los cambios en la conectividad varían en relación a la distancia y a medida que nos alejamos de la infraestructura las pérdidas de conectividad disminuyen progresivamente. Estas pérdidas de conectividad, por tanto, se distribuyen a lo largo de los 1.509 km de la red presente en el año 2007. A nivel global las pérdidas que se experimentan en todo el territorio ascienden a un 1,01%.



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

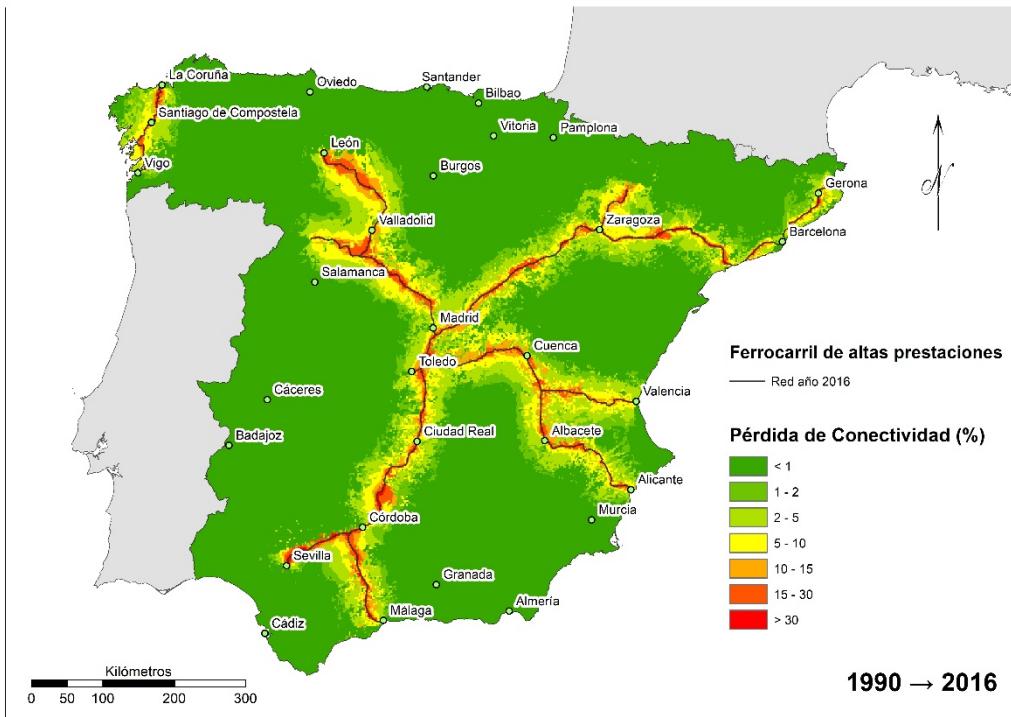


Figura 35. Cambios en la conectividad en el periodo 1990-2016

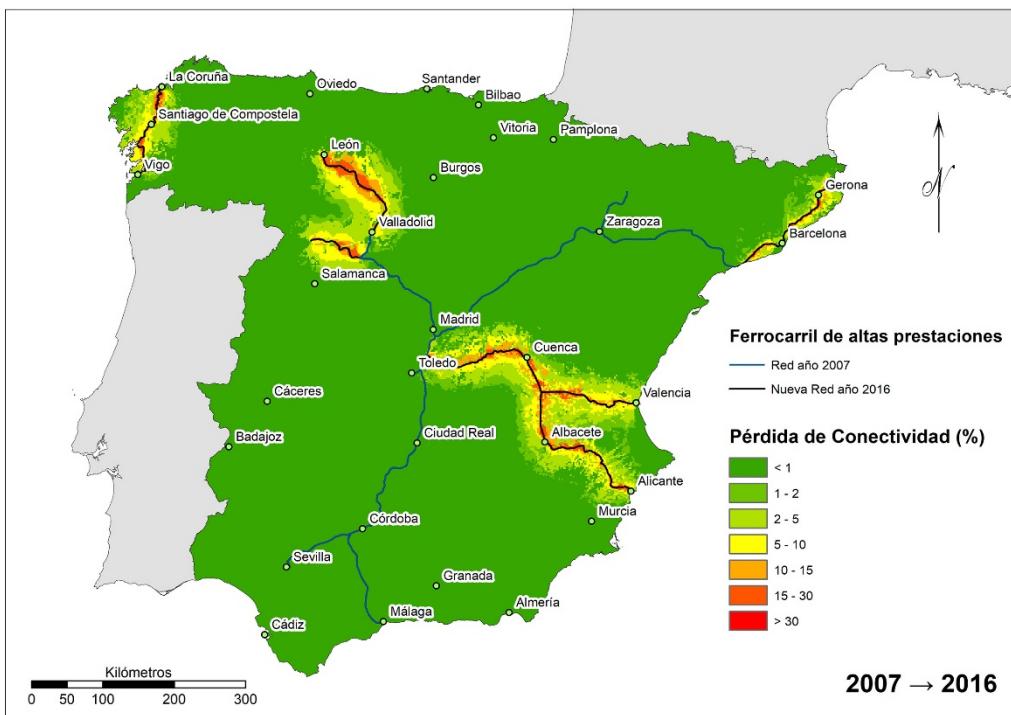


Figura 36. Cambios en la conectividad en el periodo 2007-2016



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

En el periodo comprendido entre los años 2007 y 2016 entraron a formar parte de la red unos 2.641 km más y las pérdidas de conectividad se incrementaron un 1,95% más respecto al periodo anterior (Figura 36), esto es un 2,96% más con respecto a la situación inicial (Figura 35).

Nuevamente, las pérdidas de conectividad se concentran en los alrededores de la infraestructura, sin embargo, la afección varía dependiendo de la zona en la que nos situemos, consecuencia de la distribución inicial de la conectividad del territorio.

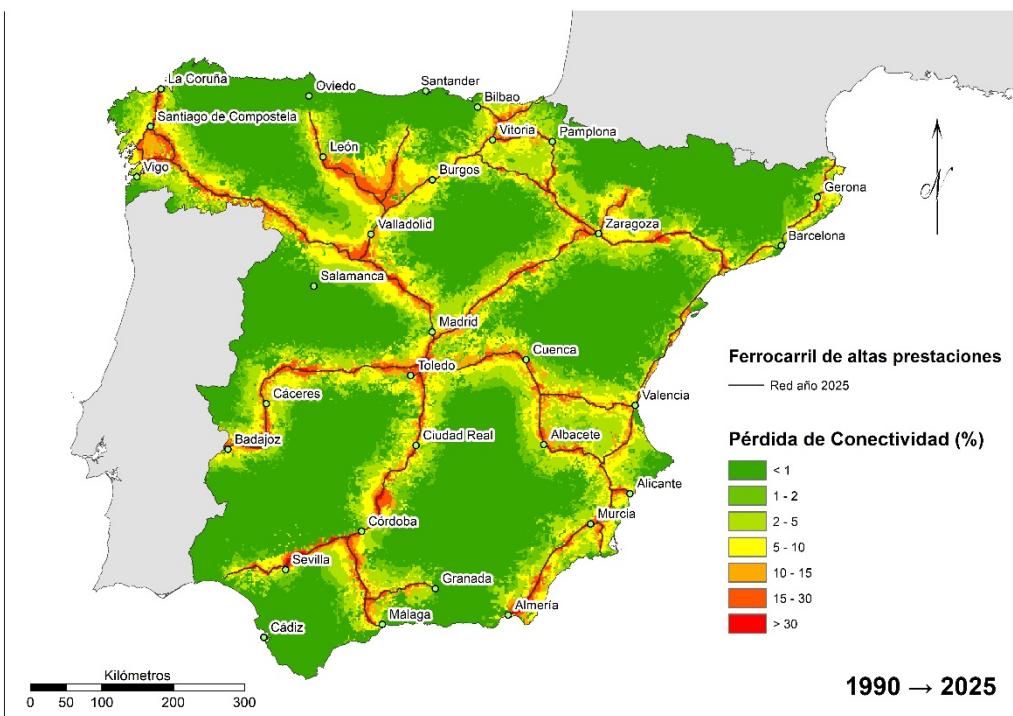


Figura 37. Cambios en la conectividad en el periodo 1990-2025



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

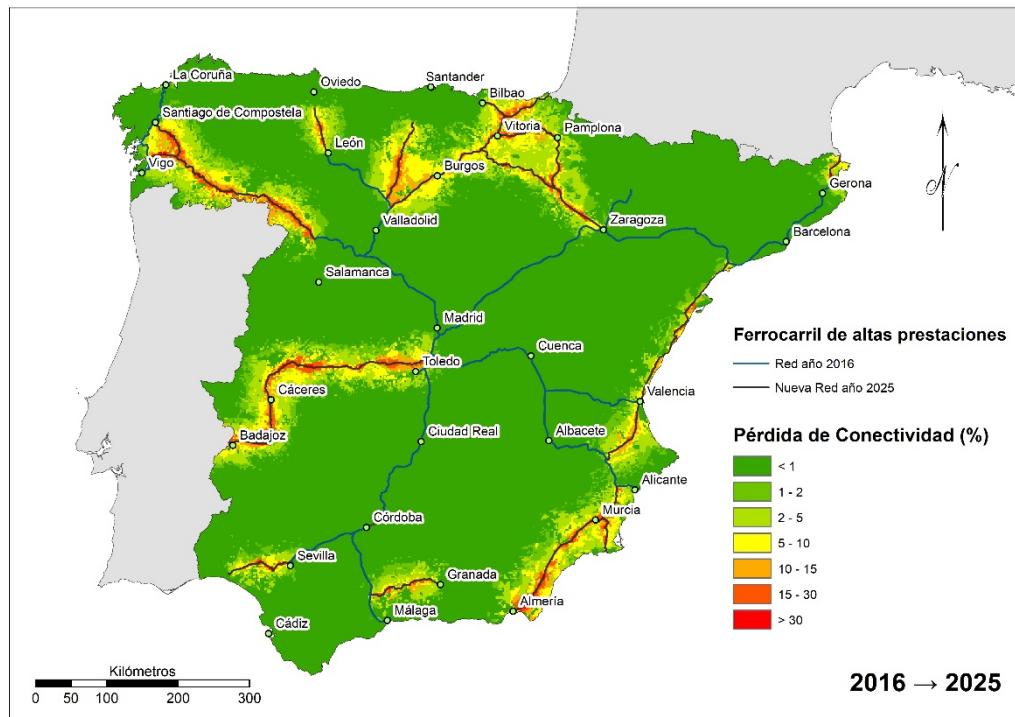


Figura 38. Cambios en la conectividad en el período 2016-2025

En el último periodo, 2016-2025, se prevé que haya 5.326 km más de red y que se produzcan un 1,54% más de pérdidas en todo el territorio (Figura 38).

En total, al final del periodo estudiado las pérdidas de conectividad medias debidas al ferrocarril de altas prestaciones a nivel global en todo el territorio serán de un 3,4%. Para el año 2025 habrá construidos un total de 9.478 kilómetros de ferrocarril de altas prestaciones por lo que, a lo largo de esta longitud y en el área circundante a esta, es donde se producen realmente las pérdidas más graves de conectividad (Figura 37).



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

4.2.2 Resultados por corredores: Resúmenes

CORREDOR	MEDIA VALOR CCI	
	1990	2025
Galicia	0,154866	0,144101
Norte	0,149682	0,140236
Extremadura	0,119894	0,114806
Cataluña	0,113184	0,109043
Andalucía	0,134664	0,129256
Mediterráneo	0,106406	0,101941
Levante	0,139864	0,133207
Zaragoza-P. Vasco	0,104067	0,098765

Tabla 4. Valores medios del índice CCI en los diferentes corredores en el escenario cero y en el último escenario horizonte

Tal y como muestra la Tabla 4, Los corredores con mayores valores de conectividad en el escenario cero corresponden con el corredor Galicia y el corredor Norte y, para este mismo escenario, los corredores con menores valores de conectividad son los corredores Zaragoza - País Vasco y Mediterráneo. En el último horizonte estudiado (2025) se observa que los mayores valores de conectividad siguen siendo los corredores Galicia y Norte, y los corredores con menores valores también siguen siendo los mismos, Zaragoza – País Vasco y Mediterráneo.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

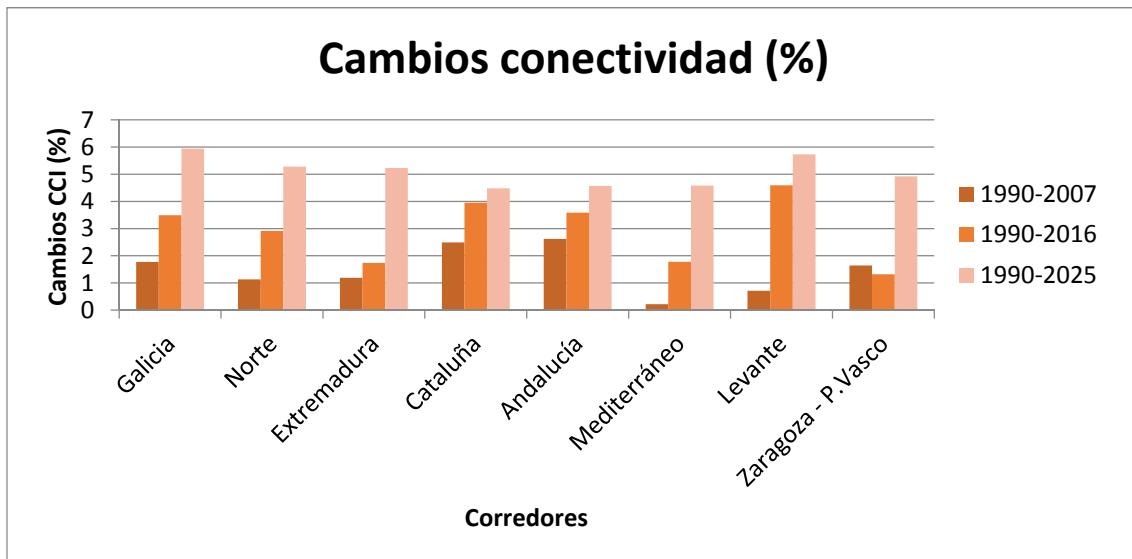


Figura 39. Cambios en la conectividad por corredores respecto al escenario de referencia

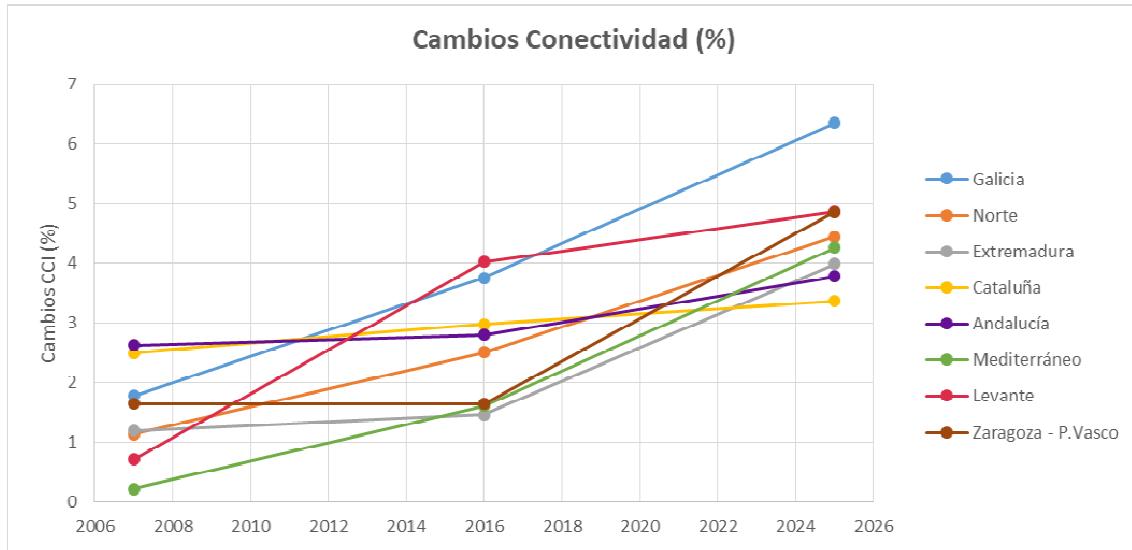


Figura 40. Cambios en la conectividad por corredores respecto al escenario de referencia (2)

Los corredores que experimentarán mayores pérdidas de conectividad en todo el periodo estudiado serán Galicia, Levante y Zaragoza y los corredores que experimentarán menos cambios al final del periodo serán Cataluña, Andalucía y Extremadura (Figuras 39 y 40)



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

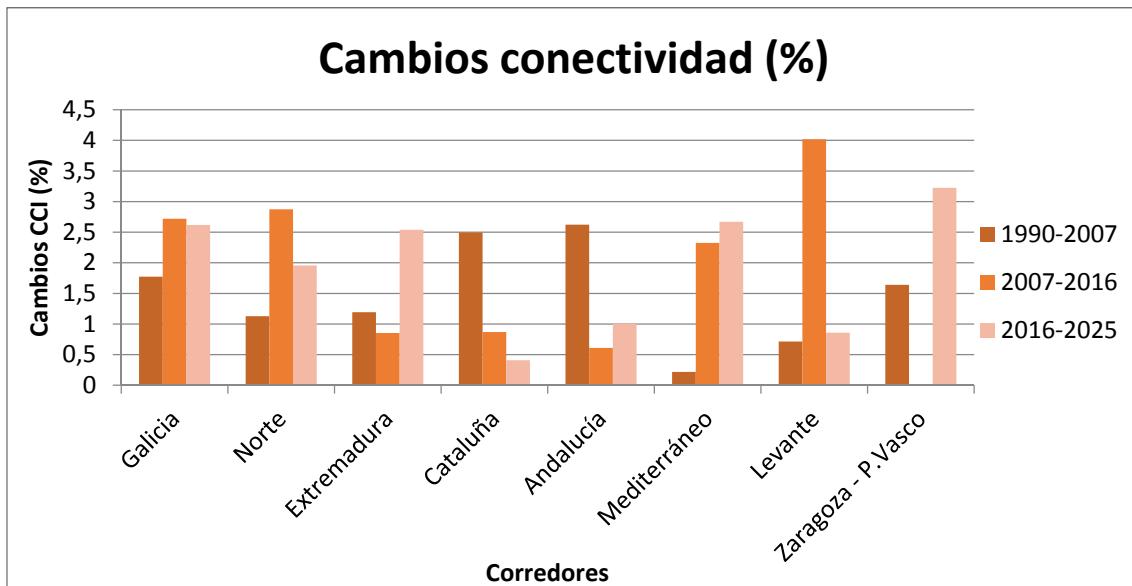


Figura 41. Cambios en la conectividad por corredores en los períodos intermedios

Analizando los cambios producidos en los periodos intermedios (Figura 41) se puede observar que, en el primer periodo, correspondiente a los años 1990-2007, los corredores que mayores pérdidas de conectividad experimentaron fueron Andalucía y Cataluña, que eran los corredores de mayor longitud, 636 y 614 km, respectivamente. El corredor Galicia y Zaragoza-P. Vasco también sufrieron importantes pérdidas de conectividad, mayores al 1,5%. En este periodo se construyeron 181 km del corredor Galicia, que era el que partía de mayores niveles de conectividad, lo que explica esta importante pérdida. La pérdida correspondiente al corredor Zaragoza- P. Vasco corresponde al tramo Zaragoza-Huesca que se ha incluido en el corredor Cataluña.

En el período 2016-2025, el corredor más afectado es el Levante, cuyas pérdidas en la conectividad alcanzan el 4%. Se construyen en este periodo corredor, el tercero con mejores niveles de accesibilidad en el escenario de referencia, más de 650 km. Por detrás de éste le siguen los corredores Norte, donde se construyen 321 km del tramo Valladolid-León y con pérdidas de 2,87% en la conectividad y el corredor Galicia que sufre 2,72% de pérdida debido a sus 406 km nuevos. El corredor que más amplia su dimensión es el corredor Cataluña, con 825,5 km nuevos, sin embargo, no es de los corredores que sufren mayores pérdidas de conectividad.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

En el último período estudiado, 2016-2025 se prevé la puesta en servicio del corredor Zaragoza-P. Vasco; los nuevos 586 km de red supondrán una afección del 3,22% en la conectividad. A esta afección le sigue los corredores Mediterráneo (2,67%), que es el que más amplía su red con más de 1.000 km nuevos, Galicia (2,62%), conectando la parte del corredor situada en la misma provincia con el tramo Madrid-Salamanca, 803 km más, y el corredor Extremadura (2,54%), conectando Toledo con Cáceres y Badajoz en casi 460 km nuevos.



4.3 Relación entre la accesibilidad y la fragmentación del territorio

En este apartado se comparan los valores porcentuales de cambio tanto en la variable accesibilidad como en la variable conectividad. Esta comparativa se realizará tanto a nivel nacional como desagregada por corredores.

También se pretende cuantificar en qué medida la mejora de la accesibilidad supone un coste en términos de fragmentación del territorio. Para ello, se va a calcular un coste medio que mide qué porcentaje de conectividad se pierde al aumentar una unidad porcentual en la accesibilidad del territorio. Este coste promedio se calcula para todos los escenarios en relación al escenario de referencia.

$$CM_{0 \rightarrow *} = \frac{\Delta CCI_{0 \rightarrow *}}{\Delta ACPR_{0 \rightarrow *}}$$

Ecuación 6

Donde:

$CM_{0 \rightarrow *}$ es el coste promedio del escenario * con respecto al escenario de referencia.

$\Delta CCI_{0 \rightarrow *}$ es la variación porcentual del índice CCI del escenario * con respecto al escenario 0.

$\Delta ACPR_{0 \rightarrow *}$ es la variación porcentual del índice ACPR del escenario * con respecto al escenario 0.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

4.3.1 Resultados a nivel nacional

VALORES GLOBALES			
Período	Mejora Accesibilidad (%)	Pérdida Conectividad (%)	CM
1990-2007	32,70	-1,01	0,03
2007-2016	11,40	-1,95	0,17
2016-2025	19,10	-1,54	0,08

Tabla 5. Valores globales de la mejora de la accesibilidad y la pérdida de conectividad

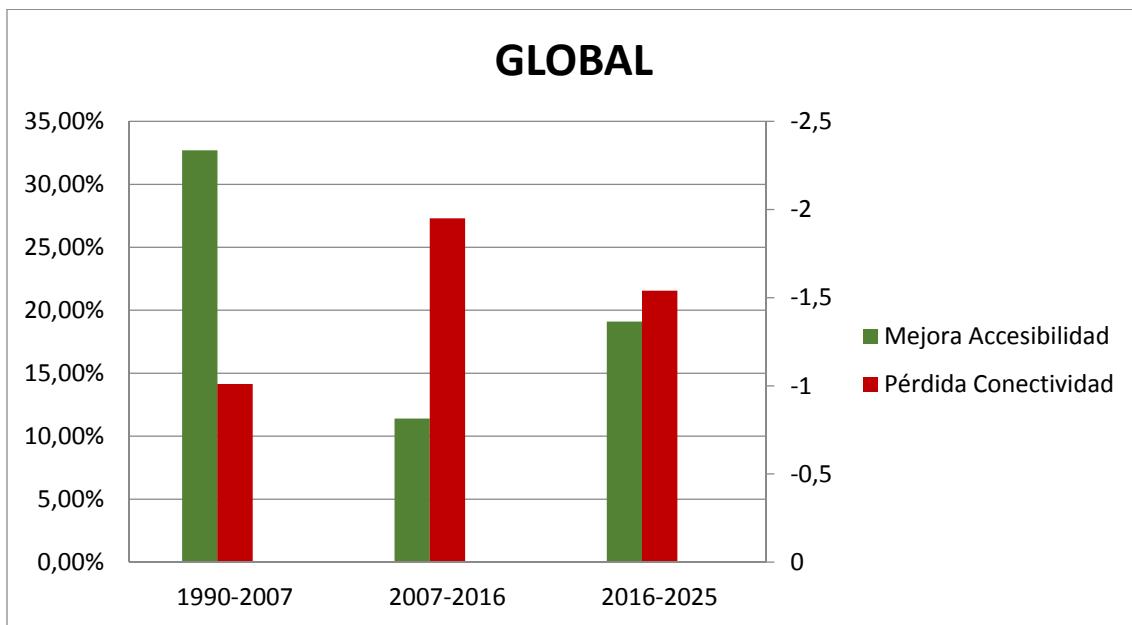


Figura 42. Relación entre la mejora de la accesibilidad y la pérdida de conectividad a nivel global

En cuanto a los resultados globales, tanto la Tabla 5 como la Figura 42, muestran que en el intervalo entre 1990 y 2007, se producen las mayores mejoras en el nivel de accesibilidad (35%), que van acompañadas de pérdidas de conectividad de alrededor del 1%. Entre 2007 y 2016, la accesibilidad mejora un 11%, que es un tercio de la mejora del intervalo anterior (1990-2007), sin embargo, causó el doble de pérdida de



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

conectividad (1,95%). En la situación futura (hasta 2025), la mejora en los niveles de accesibilidad es del 19% y la pérdida de conectividad del 1,54%.

Si se piensa en la pérdida de conectividad como una medida del coste de la mejora en la accesibilidad, incrementar un 1% los niveles de accesibilidad, supone una pérdida de conectividad del 0,03% en el intervalo 1990-2007. En el segundo periodo considerado, el mismo incremento del 1% conlleva una pérdida de conectividad del 0,17%. Por último, en el escenario 2016-2025 el valor es intermedio y “cuesta” un 0,08% de pérdida de conectividad incrementar una unidad porcentual el nivel de accesibilidad.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

4.3.2 Resultados por corredores

GALICIA			
Período	Mejora Accesibilidad (%)	Pérdida Conectividad (%)	CM
1990-2007	30,03	-1,77	0,06
2007-2016	10,77	-2,72	0,25
2016-2025	10,86	-2,62	0,24

NORTE			
Período	Mejora Accesibilidad (%)	Pérdida Conectividad (%)	CM
1990-2007	30,54	-1,13	0,04
2007-2016	10,22	-2,87	0,28
2016-2025	13,46	-1,96	0,15

EXTREMADURA			
Período	Mejora Accesibilidad (%)	Pérdida Conectividad (%)	CM
1990-2007	26,19	-1,19	0,05
2007-2016	8,23	-0,85	0,10
2016-2025	8,40	-2,54	0,30

CATALUÑA			
Período	Mejora Accesibilidad (%)	Pérdida Conectividad (%)	CM
1990-2007	24,93	-2,49	0,10
2007-2016	10,47	-0,87	0,08
2016-2025	7,58	-0,41	0,05

ANDALUCÍA			
Período	Mejora Accesibilidad (%)	Pérdida Conectividad (%)	CM
1990-2007	34,03	-2,62	0,08
2007-2016	7,86	-0,61	0,08
2016-2025	7,77	-1,00	0,13

MEDITERRÁNEO			
Período	Mejora Accesibilidad (%)	Pérdida Conectividad (%)	CM
1990-2007	18,47	-0,22	0,01
2007-2016	13,33	-2,32	0,17
2016-2025	18,85	-2,67	0,14

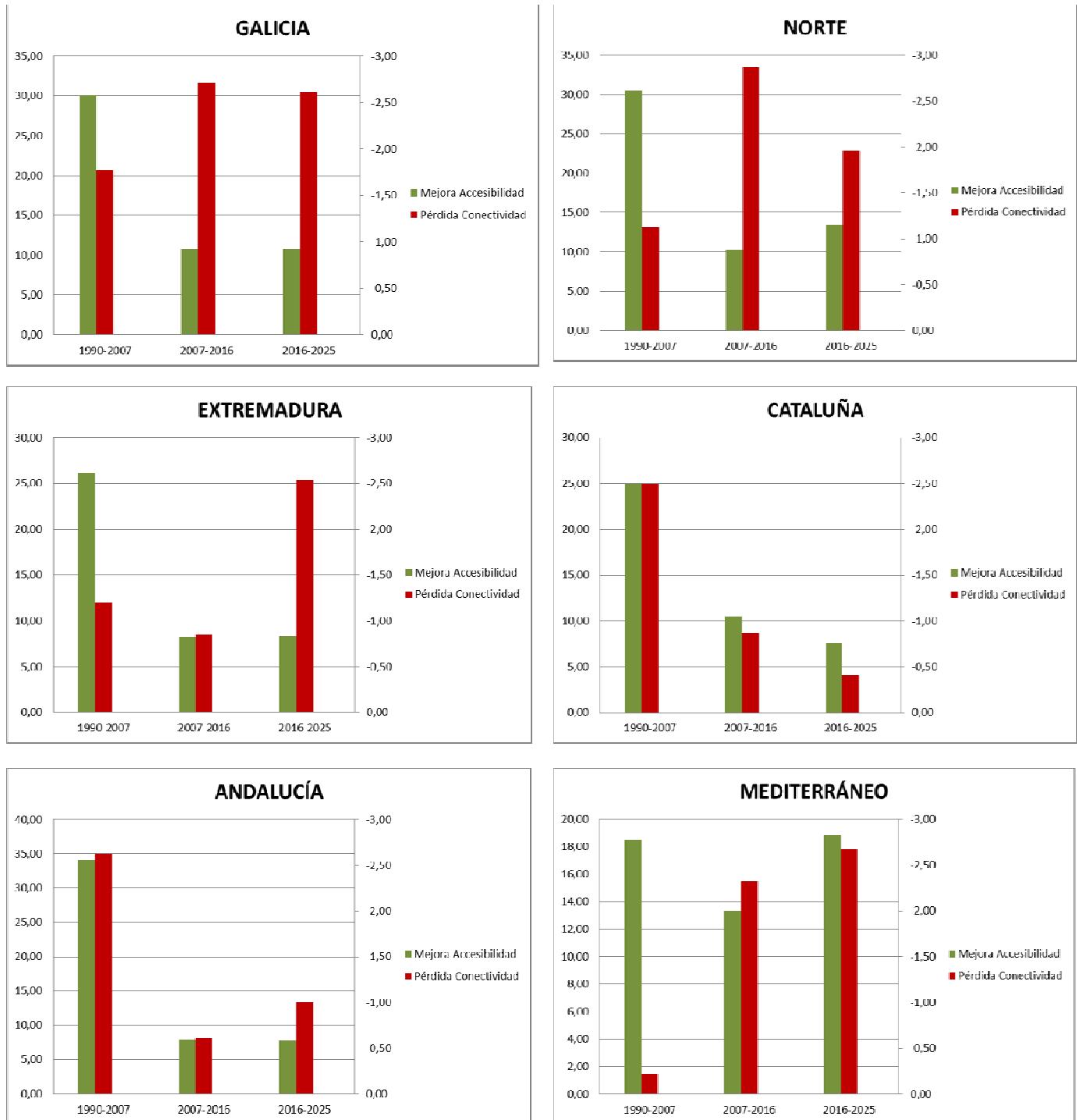
LEVANTE			
Período	Mejora Accesibilidad (%)	Pérdida Conectividad (%)	CM
1990-2007	21,07	-0,71	0,03
2007-2016	10,78	-4,02	0,37
2016-2025	10,64	-0,86	0,08

ZARAGOZA-P. VASCO			
Período	Mejora Accesibilidad (%)	Pérdida Conectividad (%)	CM
1990-2007	32,37	-1,64	0,05
2007-2016	7,48	-0,01	0,00
2016-2025	39,22	-3,22	0,08

Tabla 6. Valores por corredores de la mejora de la accesibilidad y la pérdida de conectividad



Impactos en la conectividad del paisaje debido a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025





Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

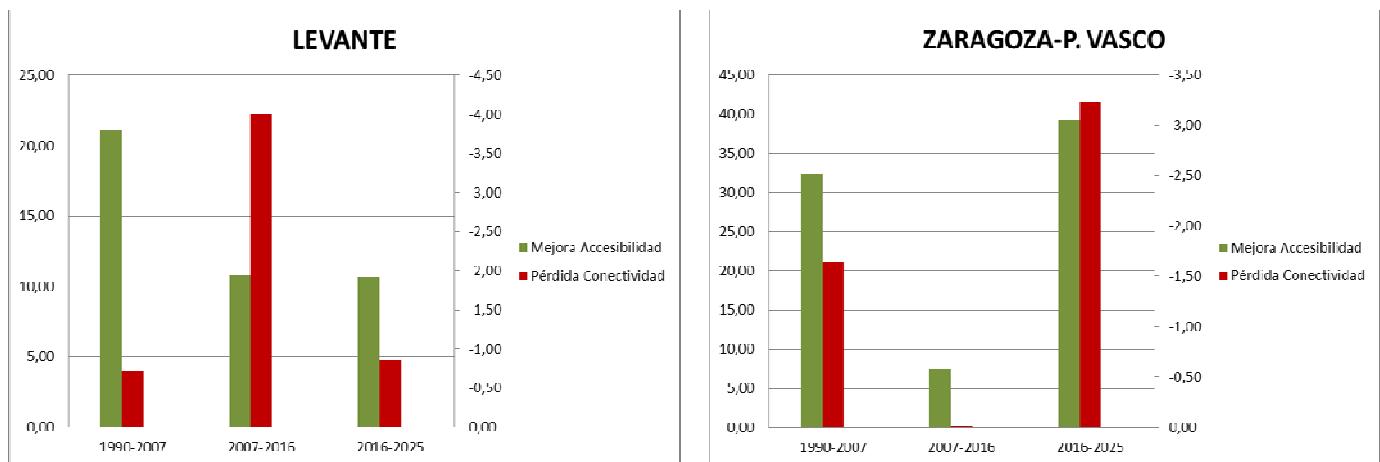


Figura 43. Relación entre la mejora de la accesibilidad y la pérdida de conectividad por corredores

Desagregando los resultados por corredores (Tabla 6 y Figura 43), la tendencia explicada a nivel global se mantiene en el corredor Galicia y Norte. En el corredor Mediterráneo, el periodo 2016-2025 supone una elevada pérdida de conectividad del 2,67% y algo similar ocurre en el corredor Zaragoza-País Vasco, pero en este caso, la mejora de los niveles de accesibilidad es mucho mayor, un 39,22%

En el corredor Extremadura, en el periodo 2016-2025 se tiene una elevada pérdida de conectividad del 2,54%, acompañada de una mejora en el nivel de accesibilidad reducido, un 8,40%. En los corredores Cataluña y Andalucía, la tendencia es similar, mayores ganancias de accesibilidad van a acompañadas de valores mayores de pérdida de conectividad.

Por último, en el corredor Levante, las mayores pérdidas de conectividad se concentran en el intervalo de 2007-2016. Sin embargo, en el escenario futuro (2016-2025) son pequeñas.



5. CONCLUSIONES

En el presente estudio se pretendía analizar los cambios que se producen en el territorio, tanto a nivel socioeconómico como a nivel medioambiental, gracias a la aparición y desarrollo de la red de altas prestaciones. El uso de la metodología SIG que se ha empleado en el trabajo ha permitido el cálculo de las variables seleccionadas en los diferentes escenarios propuestos, permitiendo así el estudio de la evolución de la alta velocidad en España en el período 1990-2025.

Para el cálculo de la variable socioeconómica, se ha elegido la accesibilidad potencial real. Esta metodología ha resultado efectiva y ha permitido evaluar los cambios producidos en la accesibilidad territorial y su distribución a lo largo del territorio. También se ha podido observar en qué medida la accesibilidad mejora en los diferentes corredores propuestos desde el año 1990.

La construcción de nuevas infraestructuras lineares, sin embargo, produce un efecto barrera, provocando la fragmentación del territorio y la disminución de la conectividad del mismo. Para medir este efecto en el presente estudio se utilizó el índice de conectividad programado inicialmente por Mancebo Quintana et al. (2010) en AML (ArcInfo Macro Language) para ArcInfo. Este programa, ya obsoleto, se ha traducido a Python y se han creado tres herramientas actualizadas para las últimas versiones del SIG ArcGIS, lográndose así este objetivo propuesto en el trabajo. Esta metodología requiere un gran volumen de cálculos por lo que al aplicarse a un territorio tan extenso el programa tarda bastante en completar los mismos. Pese a esto, el cálculo del índice resulta operativo a la hora de evaluar la pérdida de conectividad resultante y permite comparar el efecto de la red de altas prestaciones en los diferentes escenarios, dando como resultado que en las zonas adyacentes a la red se producen pérdidas de conectividad mayores del 30% y a medida que nos alejamos de la misma las pérdidas van disminuyendo progresivamente.

Por último, tras realizar el análisis comparativo entre el incremento de la accesibilidad y las pérdidas de conectividad, se ha podido valorar el coste medioambiental que suponen



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

las mejoras en la accesibilidad en los diferentes períodos estudiados, identificando, además, aquellos corredores cuyo coste medioambiental ha sido mayor.

A día de hoy, la red de alta velocidad ha permitido una mejora de la accesibilidad global del 47,7% y unas pérdidas globales de conectividad de casi el 3%. Para el año 2025, esta mejora se estima del 74,7%, cuando la red esté presente en todas las comunidades; siendo los corredores más beneficiados Zaragoza-P. Vasco, Norte y Galicia. En detrimento de estas mejoras, se estima una pérdida de conectividad del 3,4% a nivel global; siendo los corredores más afectados Galicia, Levante y Zaragoza-P. Vasco.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

- ADIF . (Marzo de 2019). Obtenido de ADIF Alta Velocidad: http://www.adifaltavelocidad.es/es_ES/infraestructuras/lineas_de_alta_velocidad/lineas_de_alta_velocidad.shtml
- Adriaensen, F., Chardon, J., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulink, H., & Maticen, E. (2003). The application on 'least-cost' modelling as a functional landscape model. . *Landscape and Urban Planning* 64, 233-247.
- Banister, D., & Berechman, Y. (2002). The economic development effects of transport investments. Edited by Pearman, P. Mackie, & J.Nellthorp. En J. Nellthorp, & P. Mackie, *Transport Projects, Programmes and Policies: Evaluation Needs and Capabilities*. Routledge.
- Blum, U., Haynes, K., & Karlsson, C. (1997). Introduction to the special issue The regional and urban effects of high-speed trains. *The Annals of Regional Science. Volume 30, nº1*.
- Collinge, S. (1996). Ecological consequences of habitat fragmentation implications for landscape architecture and planning. En *Landsc. Urban Plan.* 36 (1) (págs. 59-77).
- Ferropedia. (Marzo de 2019). Obtenido de Líneas de Alta Velocidad (LAV) en España: [http://ferropedia.es/mediawiki/index.php/L%C3%ADneas_de_Alta_Velocidad_\(LAV\)_en_Espa%C3%B1a](http://ferropedia.es/mediawiki/index.php/L%C3%ADneas_de_Alta_Velocidad_(LAV)_en_Espa%C3%B1a)
- Forman, R. (1995). Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. En R. Forman, *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions* (pág. 632). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Geneletti, D. (2004). Using spatial indicators and value functions to assess ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(1), 1-15.
- INE. (2010). *Instituto Nacional de Estadística de España [Online]*. Obtenido de <http://www.ine.es>
- Jaeger, J. (2000). En *Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation* (págs. 115-130). Landsc. Ecol. 15 (2).
- López, E. (2007). Assessment of Transport Infrastructure Plans: a Strategic Approach integrating efficiency. *PhD Thesis*. Universidad Politécnica de Madrid.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

López, E., Monzón, A., Ortega, E., & Mancebo, S. (2009). Assessment of Cross-Border Spillover Effects of National Transport Infrastructure Plans: An Accessibility Approach. *Transport Reviews* 29 (4), 515-536.

Mancebo Quintana, S., Martín Ramos, B., Casermeiro Martínez, M. Á., & Otero Pastor, I. (2010). A model for assessing habitat fragmentation caused by new infrastructures in extensive territories – Evaluation of the impact of the Spanish strategic. *Journal of Environmental Management* 91(5), 1087-1096

Martín Ramos, B. (Septiembre de 2006). Estudio sobre la fragmentación de los hábitats de la red natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte). *Proyecto de Fin de Carrera*. Universidad Politécnica de Madrid.

Marulli, J., & Mallarach, J. (2005). A gis Metodology for assesing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan Area. *Landscape and Urban Planning* 71, 243-262.

Ministerio de Fomento. (Marzo de 2019). Obtenido de Catálogo y evolución de la red de carreteras: <https://www.fomento.gob.es/carreteras/catalogo-y-evolucion-de-la-red-de-carreteras>

Monzón, A., López, E., & Ortega, E. (2019). Has HSR improved territorial cohesion in Spain? An accessibility analysis of the first 25 years: 1990-2015. *European Planning Studies* 27:3, 513-532

Monzón, A., Ortega, E., & López, E. (2013). Efficiency and spatial equity impacts of high speed-rail extensions in urban areas. *Cities. Volume* 30, 18-30.

Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S., & Otero Pastor, I. (2011). Road and railway accessibility atlas of Spain. *Journal of Maps*, 33-39.

Ortega, E. (2004). La ecología del paisaje y la sostenibilidad. Aplicación a la Comunidad de Madrid. *Proyecto Fin de Carrera*. Universidad Politécnica de Madrid.

Reed, R., Johnson-Barnard, J., & Baker, W. (1996). The contribution of roads to forest fragmentation in the Rocky Mountains. *Conservation Biology*, 10, 1098-1106.

Romano, B., & Tamburini, G. (2001). Gli indicatori di frammentazione e di interferenza ambientale nella pianificazione urbanistica. *XXII Conferenza Italiana di Scienze Regionali*. Venezia.

Solís, B. (2013). Estudio de los efectos territoriales de las posibles conexiones ferroviarias (Convencional/Alta velocidad) Huelva (España) - Algarve (Portugal). *Proyecto de fin de carrera*. Universidad Politécnica de Madrid.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

- Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, Vol. 68, 571-573.
- Ureña, J., Menerault, P., & Garmedia, M. (2009). The high-speed rail challenge for big intermediate cities: A national regional and local perspective. *Cities* 26 (5), 266-279.
- Van den Berg, L., & Pol, P. (1998). The urban implications of developing European high-speed-train network. *Environment and Planning C: Government and Policy* 16(4), 483-497.
- Vickerman, R., & Ulled, A. (2009). Indirect and wider economic impacts of high speed rail. Edited by G. de Rus. En R. Vickerman, & A. Ulled, *Economic analysis of high speed rail in Europe* (págs. 89-118). Madrid: Fundación BBA.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

7. ANEXOS

7.1 Código herramienta “Set Up Barriers”

```
#Original script programmed by Santiago Mancebo Quintana (AML)#
#Translated to Python by Ágata De Isidro Navarro#

import arcpy

class Toolbox(object):
    def __init__(self):
        """Define the toolbox (the name of the toolbox is the name of the
        .pyt file)."""
        self.label = "Toolbox"
        self.alias = ""

        # List of tool classes associated with this toolbox
        self.tools = [Tool]

class Tool(object):
    def __init__(self):
        """Define the tool (tool name is the name of the class)."""
        self.label = "SetUpBarriers"
        self.description = "Prepare networks for Set Up Matrices Tool"
        self.canRunInBackground = True

    def getParameterInfo(self):
        """Define parameter definitions"""

        #Parametro 1
        net_covers = arcpy.Parameter(
            displayName="Input Net Cover(s)",
            name="net_covers",
            datatype=["DECoverage", "DEFeatureClass", "GPLayer", "DShapefile", "GPFeatureLayer"],
            parameterType="Required",
            multiValue = True,
            direction="Input")

        #Parametro 2
        barriers = arcpy.Parameter(
            displayName="Barriers Field",
            name="barriers",
            datatype="GPString",
            parameterType="Required",
            direction="Input")

        #Parametro 3
        out_cover = arcpy.Parameter(
            displayName="Output Network Name",
            name="out_cover",
            datatype="DEFolder",
            parameterType="Required",
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

```
SetUpBarriers.pyt
direction="Output")

params=[net_covers, barriers, out_cover]
return params

def isLicensed(self):
    """Set whether tool is licensed to execute."""

    return True

def updateParameters(self, parameters):
    """Modify the values and properties of parameters before internal
    validation is performed. This method is called whenever a parameter
    has been changed."""
    return

def updateMessages(self, parameters):
    """Modify the messages created by internal validation for each tool
    parameter. This method is called after internal validation."""
    return

def execute(self, parameters, messages):
    """The source code of the tool."""
    net_covers=parameters[0].valueAsText
    barriers=parameters[1].valueAsText
    out_cover=parameters[2].valueAsText

    from arcpy import env
    from arcpy.sa import *
    from arcpy import os
    import shutil
    arcpy.env.overwriteOutput=True
    arcpy.env.scratchWorkspace = os.path.dirname(out_cover)

    net_covers_list=net_covers.split(';')
    net_num = len(net_covers_list)
    i=0

    arcpy.AddMessage("Preparing net(s)...")

    if net_num == 1:
        arcpy.Select_analysis(net_covers_list[0], arcpy.env.scratchGDB +
os.path.sep + "xx_net{}".format(0), '{} <> 0'.format(barriers))

    arcpy.Dissolve_management(arcpy.env.scratchGDB+os.path.sep+"xx_net{}".format(0),
out_cover,"{}".format(barriers),"","SINGLE_PART","")

    net_covers_diss_list=[]
    i=0

    if net_num>1:
        for c in net_covers_list:
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

```
SetUpBarriers.pyt
i+=1
arcpy.Select_analysis(c, arcpy.env.scratchGDB +
os.path.sep + "xx_net{}".format(i), "{} <> 0'.format(barriers))

arcpy.Dissolve_management(arcpy.env.scratchGDB+os.path.sep+"xx_net{}".format(i),
arcpy.env.scratchGDB+os.path.sep+"xx_netdis{}".format(i),"{}".format(barriers),"",
"SINGLE_PART","")

net_covers_diss_list.append(arcpy.env.scratchGDB+os.path.sep+"xx_netdis{}".format(i))

arcpy.Merge_management(net_covers_diss_list, out_cover,"")

arcpy.AddMessage("Cleaning scratch elements...")

#Limpieza carpeta scratch

arcpy.env.scratchWorkspace = ""
arcpy.env.workspace=""
shutil.rmtree(os.path.dirname(out_cover) + os.path.sep + "scratch.gdb")

return
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

7.2 Código herramienta “Set Up Matrices”

```
#Original script programmed by Santiago Mancebo Quintana (AML)#
#Translated to Python by Ágata De Isidro Navarro#

import arcpy

class Toolbox(object):
    def __init__(self):
        """Define the toolbox (the name of the toolbox is the name of the
        .pyt file)."""
        self.label = "SetUpMatrices"
        self.alias = ""

        # List of tool classes associated with this toolbox
        self.tools = [Tool]

class Tool(object):
    def __init__(self):
        """Define the tool (tool name is the name of the class)."""
        self.label = "SetUpMatrices"
        self.description = "Creates destination and resistance matrices for
Connectivity Index calculation"
        self.canRunInBackground = True

    def getParameterInfo(self):
        """Define parameter definitions"""

        #Parametro 1
        landscape_grid = arcpy.Parameter(
            displayName="Input Landscape Raster",
            name="landscape_grid",

datatype=["DERasterDataset","GPRasterLayer","GPRasterDataLayer"],
parameterType="Required",
direction="Input")

        #Parametro 2
        ref_grid = arcpy.Parameter(
            displayName="Reference Raster",
            name="ref_grid",

datatype=["DERasterDataset","GPRasterLayer","GPRasterDataLayer"],
parameterType="Required",
direction="Input")

        #Parametro 3
        agg = arcpy.Parameter(
            displayName="Aggregation number",
            name="agg",
            datatype="GPLong",
            parameterType="Required",
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

```
        SetUpMatrices.pyt
        direction="Input")

#Parametro 4
artificial_grid = arcpy.Parameter(
    displayName="Artificial Landscape Raster",
    name="artificial_grid",

datatype=["DERasterDataset", "GPRasterLayer", "GPRasterDataLayer"],
    parameterType="Required",
    direction="Input")

#Parametro 5
barrier_cover = arcpy.Parameter(
    displayName="Net cover",
    name="barrier_cover",

datatype=["DECoverage", "DEFeatureClass", "GPLayer", "DEShapefile", "GPFeatureLayer"],
    parameterType="Required",
    direction="Input")

#Parametro 6
barrier_item = arcpy.Parameter(
    displayName="Barriers Field",
    name="barrier_item",
    datatype="GPString",
    parameterType="Required",
    direction="Input")

#Parametro 7
out_dir = arcpy.Parameter(
    displayName="Output directory",
    name="out_dir",
    datatype="DEFolder",
    parameterType="Required",
    direction="Input")

        params=[landscape_grid, ref_grid, agg, artificial_grid, barrier_cover,
barrier_item, out_dir]
        return params

def isLicensed(self):
    """Set whether tool is licensed to execute."""
    return True

def updateParameters(self, parameters):
    """Modify the values and properties of parameters before internal
validation is performed. This method is called whenever a parameter
has been changed."""
    return

def updateMessages(self, parameters):
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

```
SetUpMatrices.pyt
"""
Modify the messages created by internal validation for each tool
parameter. This method is called after internal validation."""
return

def execute(self, parameters, messages):
    """
    The source code of the tool.

    landscape_grid=parameters[0].valueAsText
    ref_grid=parameters[1].valueAsText
    agg=parameters[2].valueAsText
    artificial_grid=parameters[3].valueAsText
    barrier_cover=parameters[4].valueAsText
    barrier_item=parameters[5].valueAsText
    out_dir=parameters[6].valueAsText

    import arcpy
    from arcpy import env
    from arcpy.sa import *
    from arcpy import os
    import numpy
    import numpy as np
    import math
    import shutil
    arcpy.env.overwriteOutput = True
    pi = math.pi
    twosqrtpi = 2*pi**0.5

    arcpy.env.cellSize = ref_grid
    cellsize=int(arcpy.env.cellSize)
    acellsize = int(arcpy.env.cellSize) * int(agg)
    arcpy.env.scratchWorkspace = out_dir
    arcpy.Copy_management(ref_grid,out_dir + os.path.sep + "ref")

    if barrier_cover != "" :
        arcpy.AddMessage("preparing barriers...")

        xxi_barriers = arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep + "xxi_barriers"
        #Crear tabla estadisticas barreras

        arcpy.Statistics_analysis(barrier_cover,xxi_barriers,[[barrier_item,"SUM"]],barrier_item)

        bar=np.array(arcpy.da.TableToNumPyArray(xxi_barriers,barrier_item),dtype=float)
        num=len(bar)

        #Barrier grids
        arcpy.env.cellSize = cellsize
        arcpy.env.extent = ref_grid

        for i in range(num):
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

```
SetUpMatrices.pyt
if bar[i]%2 == 0:
    bar_ok=int(bar[i])
else:
    bar_ok = bar[i]
xxc_bari =
arcpy.Select_analysis(barrier_cover, arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxc_bar{}".format(i),"{}={}".format(barrier_item,bar_ok))
arcpy.FeatureToRaster_conversion(arcpy.env.scratchGDB +
os.path.sep + "xxc_bar{}".format(i), "FID", arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxg_bar"+"{}".format(i), cellsize)

for i in range(num):
    xxg_barv = Times((BlockStatistics(arcpy.env.scratchGDB +
os.path.sep + "xxg_bar"+"{}".format(i),
NbrRectangle(int(agg),int(agg),"CELL"),"VARIETY","")),
bar[i])
    xxg_barv.save(arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxg_barv"+"{}".format(i))

arcpy.Rename_management(arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxg_barv"+"{}".format(0),arcpy.env.workspace + os.path.sep +
"xxg_barvsum"+"{}".format(0))

for i in range(num-1):
    i += 1
    xxg_barvsum = Con(IsNull(arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxg_barvsum"+"{}".format(i-1)), arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxg_barv"+"{}".format(i), Con(IsNull(arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxg_barv"+"{}".format(i)),arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxg_barvsum"+"{}".format(i-1),(Plus(arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxg_barvsum"+"{}".format(i-1) , arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxg_barv"+"{}".format(i)))))

    xxg_barvsum.save(arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxg_barvsum"+"{}".format(i))

arcpy.env.cellSize = acellsize

xxg_barfinal =
Times(arcpy.env.scratchGDB+os.path.sep+"xxg_barvsum{}".format(num-1), (int(agg)
* int(agg)))

xxg_barfinal.save(arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxg_barfinal")

else:
    pass

#Read class values

arcpy.AddMessage("Reading class values...")
#Si no tiene tabla atributos:

arcpy.BuildRasterAttributeTable_management(landscape_grid,"")
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

SetUpMatrices.pyt

```
clase=np.array(arcpy.da.TableToNumPyArray(landscape_grid,'VALUE'),dtype=int)

    ##Resistance matrix for landscape and artificial and destination
creation

    arcpy.AddMessage("Creating destination and resistance matrices...")

    ##Take out artificial and barriers from landscape##
    arcpy.env.cellSize = cellsize
    arcpy.env.extent = out_dir + os.path.sep + "ref"

    if barrier_cover != "" :
        xxg_bar = arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep + "xxg_bar"
        arcpy.FeatureToRaster_conversion(barrier_cover, barrier_item,
xxg_bar, cellsize) #Pasar a raster
    else:
        pass

    if artificial_grid != "" and barrier_cover != "" :
        xxg_landscape = arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep + "xxg_landscape"
#Crear archivo temporal
        xxg_landscape =
Con(IsNull(xxg_bar),Con(IsNull(artificial_grid),landscape_grid))

    elif artificial_grid != "" and barrier_cover == "" :
        xxg_landscape = arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep + "xxg_landscape"
        xxg_landscape = Con(IsNull(artificial_grid),landscape_grid)

    elif artificial_grid == "" and barrier_cover != "" :
        xxg_landscape = arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep + "xxg_landscape"
        xxg_landscape = Con(IsNull(xxg_bar),landscape_grid)

    elif artificial_grid == "" and barrier_cover == "":
        xxg_landscape = arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep + "xxg_landscape"
        xxg_landscape = landscape_grid

    ##Apply resistance valuations and add barriers##
    for i in clase:
        arcpy.env.cellSize = cellsize
        if artificial_grid != "" :
            xxg_classr =
BlockStatistics(Con(ref_grid,Con(IsNull(artificial_grid),Con(IsNull(xxg_landscape),2,Con(xxg_landscape==i,1,2)),twosqrtpi)),NbrRectangle(int(agg),int(agg),"CELL"), "SUM")
        else:
            xxg_classr =
BlockStatistics(Con(ref_grid,Con(IsNull(xxg_landscape),2,Con(xxg_landscape==i,1,2))),NbrRectangle(int(agg),int(agg),"CELL"), "SUM")
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

```
SetUpMatrices.pyt
    xxg_classd =
        BlockStatistics(Con(xxg_landscape==i,1),NbrRectangle(int(agg),int(agg),"CELL"),"SUM")

    #Aggregation

        arcpy.env.cellSize = acellsize
        if barrier_cover != "":
            xxg = Con(IsNull(xxg_barfinal), xxg_classr,
Plus(xxg_classr,arcpy.env.scratchGDB+os.path.sep+"xxg_barfinal"))
            xxg.save(out_dir + os.path.sep + "aclassr"+"{}".format(i))
        else:
            xxg_classr.save(out_dir + os.path.sep +
"aclassr"+"{}".format(i))

        xxg_classd.save(out_dir + os.path.sep + "aclassd"+"{}".format(i))

        arcpy.env.cellSize = acellsize
        arcpy.Resample_management(ref_grid, out_dir + os.path.sep +
"aref",acellsize)

    #Limpieza Elementos Carpeta Scratch

        arcpy.AddMessage("Cleaning output directory...")

        arcpy.RefreshCatalog(r"{}".format(out_dir))
        arcpy.env.workspace = r"{}".format(out_dir + os.path.sep +
"scratch.gdb")

        for table in arcpy.ListTables():
            arcpy.Delete_management(table)

        for feature in arcpy.ListFeatureClasses():
            arcpy.Delete_management(feature)

        for raster in arcpy.ListRasters():
            arcpy.Delete_management(raster)

    return
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

7.3 Código herramienta “CCI”

```
#Original script programmed by Santiago Mancebo Quintana (AML)#
#Translated to Python by Ágata De Isidro Navarro#

import arcpy

class Toolbox(object):
    def __init__(self):
        """Define the toolbox (the name of the toolbox is the name of the
        .pyt file)."""
        self.label = "Toolbox"
        self.alias = "Cci"

        # List of tool classes associated with this toolbox
        self.tools = [Tool]

class Tool(object):
    def __init__(self):
        """Define the tool (tool name is the name of the class)."""
        self.label = "Connectivity_Index"
        self.description = "Calculates Connectivity Index"
        self.canRunInBackground = True

    def getParameterInfo(self):
        """Define parameter definitions"""

        #Parametro 1
        origin_grid = arcpy.Parameter(
            displayName="Input Raster",
            name="origin_grid",
            datatype=["DERasterDataset", "GPRasterLayer"],
            parameterType="Required",
            direction="Input")

        #Parametro 2
        max_dist = arcpy.Parameter(
            displayName="Maximum radius",
            name="max_dist",
            datatype="GPLong",
            parameterType="Required",
            direction="Input")

        #Parametro 3
        matrices_dir = arcpy.Parameter(
            displayName="Matrix directory",
            name="matrices_dir",
            datatype="DEFolder",
            parameterType="Required",
            direction="Input")

        #Parametro 4
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

```
CC1.pyt
out_grid = arcpy.Parameter(
    displayName="Output name",
    name="out_grid",
    datatype="GPString",
    parameterType="Required",
    direction="Output")

params=[origin_grid, max_dist, matrices_dir, out_grid]

return params

def isLicensed(self):
    """Set whether tool is licensed to execute."""
    return True

def updateParameters(self, parameters):
    """Modify the values and properties of parameters before internal
    validation is performed. This method is called whenever a parameter
    has been changed."""
    return

def updateMessages(self, parameters):
    """Modify the messages created by internal validation for each tool
    parameter. This method is called after internal validation."""
    return

def execute(self, parameters, messages):
    """The source code of the tool."""
    origin_grid=parameters[0].valueAsText
    max_dist=parameters[1].valueAsText
    matrices_dir=parameters[2].valueAsText
    out_grid=parameters[3].valueAsText

    import arcpy
    from arcpy import env
    from arcpy.sa import *
    from arcpy import os
    import numpy
    import numpy as np
    import math
    import shutil

    arcpy.env.overwriteOutput=True
    ref_grid = matrices_dir+os.path.sep+"ref"
    arcpy.env.cellSize = ref_grid
    cellsize = int(arcpy.env.cellSize)
    arcpy.env.cellSize = matrices_dir+os.path.sep+"aref"
    acellsiz = int(arcpy.env.cellSize)
    ahalfcellsize = acellsiz/2
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

```
CC1.pyt
agg = acellsize/cellsize
window = int(max_dist)

arcpy.env.workspace = matrices_dir
arcpy.env.scratchWorkspace = matrices_dir

amax_cost = agg**2 * int(max_dist) * 100
aarea = agg**2 * cellsize**2

###Origenes###

arcpy.env.cellSize = cellsize
arcpy.env.extent = ref_grid

arcpy.AddMessage("Preparing origins...")

xxg_origins = BlockStatistics(origin_grid, NbrRectangle(agg,agg,""),
"MAJORITY","")
xxg_origins.save(arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep + "xxg_origins")

arcpy.env.cellSize = acellsize

arcpy.Resample_management(xwg_origins, arcpy.env.scratchGDB +
os.path.sep + "xxg_aorigins",acellsize)

xxc_origins = arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep + "xxc_origins" #Crear
archivo temporal
arcpy.RasterToPoint_conversion(arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxg_aorigins", xxc_origins, "Value")

xwg_aorigins_id = arcpy.PointToRaster_conversion(arcpy.env.scratchGDB +
os.path.sep + "xxc_origins","pointid", arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xwg_aorigins_id","","",acellsize)

arcpy.AddXY_management(arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"xxc_origins")

##Conectivity calculation##

arcpy.AddMessage("Calculating index...")

clase = np.array(arcpy.da.FeatureClassToNumPyArray(arcpy.env.scratchGDB +
os.path.sep + "xxc_origins", ('grid_code')), dtype=int)
x = np.array(arcpy.da.FeatureClassToNumPyArray(arcpy.env.scratchGDB +
os.path.sep + "xxc_origins", ('POINT_X')), dtype=float)
y = np.array(arcpy.da.FeatureClassToNumPyArray(arcpy.env.scratchGDB +
os.path.sep + "xxc_origins", ('POINT_Y')), dtype =float)

num = int(str(arcpy.GetCount_management(arcpy.env.scratchGDB +
os.path.sep + "xxc_origins")))
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

CCI.pyt

```
##Compute Connectivity

inum = 1000
groups = int(numpy.trunc(num/inum))
knum = inum
lastknum = num % inum
groups = groups + 1
xxg_res = arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep + "xxg_res" #Crear archivo
temporal

for j in range(groups):
    res = []
    ci = []
    if j == (groups-1):
        knum = lastknum
    arcpy.env.cellSize = acellsize
    for k in range(knum):
        i= (j) * inum + k
        arcpy.env.extent =
arcpy.Extent((float(x[i])-window-ahalfcellsize),(float(y[i])-window-ahalfcellsize),(float(x[i])+window+ahalfcellsize),(float(y[i])+window+ahalfcellsize))

        xxg_res = Times(matrices_dir + os.path.sep + "aclassd" +
str(clase[i]),
Int(Plus((amax_cost/(CostDistance(Con(arcpy.env.scratchGDB+os.path.sep+"xxg_aorigins_id",1,"","Value = {}".format(i+1)), matrices_dir + os.path.sep + "aclassr" +
str(clase[i]), amax_cost,""))),0.5)))

        array_raster =
np.array(arcpy.RasterToNumPyArray(xxg_res,"","","","",nodata_to_value=0),
dtype=int)
        res.append(np.asscalar(numpy.ndarray.sum(array_raster)))

ci.append((float(np.asscalar((numpy.ndarray.sum(array_raster)))))/amax_cost*aarea
/2/math.pi+ahalfcellsize)/int(max_dist))

        a=numpy.array([res,ci])
        struct_array=
numpy.core.records.fromarrays(a,numpy.dtype([('CI0','i4'),('CI','f8')]))

arcpy.da.NumPyArrayToTable(struct_array,arcpy.env.scratchGDB+os.path.sep+"connec
tivity{}".format(j))

#Crear tabla y Join

t_merge=[]

for n in range(groups):
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad. Evolución 1990-2025

```
CC1.pyt
    t_merge.append(arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"connectivity{}".format(n))

        arcpy.Merge_management(t_merge, arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep +
"connectivity")

arcpy.JoinField_management(arcpy.env.scratchGDB+os.path.sep+"xxc_origins", "OBJEC
TID", arcpy.env.scratchGDB + os.path.sep + "connectivity", "OBJECTID")

#Create out grid

arcpy.env.extent = ref_grid
arcpy.env.cellSize = acellsize
arcpy.PointToRaster_conversion(xxc_origins,"CI", matrices_dir +
os.path.sep + out_grid,"","","")

#Limpieza Elementos Carpeta Scratch

arcpy.RefreshCatalog(r"{}".format(matrices_dir))
arcpy.env.workspace = r"{}".format(matrices_dir + os.path.sep +
"scratch.gdb")

for table in arcpy.ListTables():
    arcpy.Delete_management(table)

for feature in arcpy.ListFeatureClasses():
    arcpy.Delete_management(feature)

for raster in arcpy.ListRasters():
    arcpy.Delete_management(raster)

arcpy.RefreshCatalog(r"{}".format(matrices_dir))

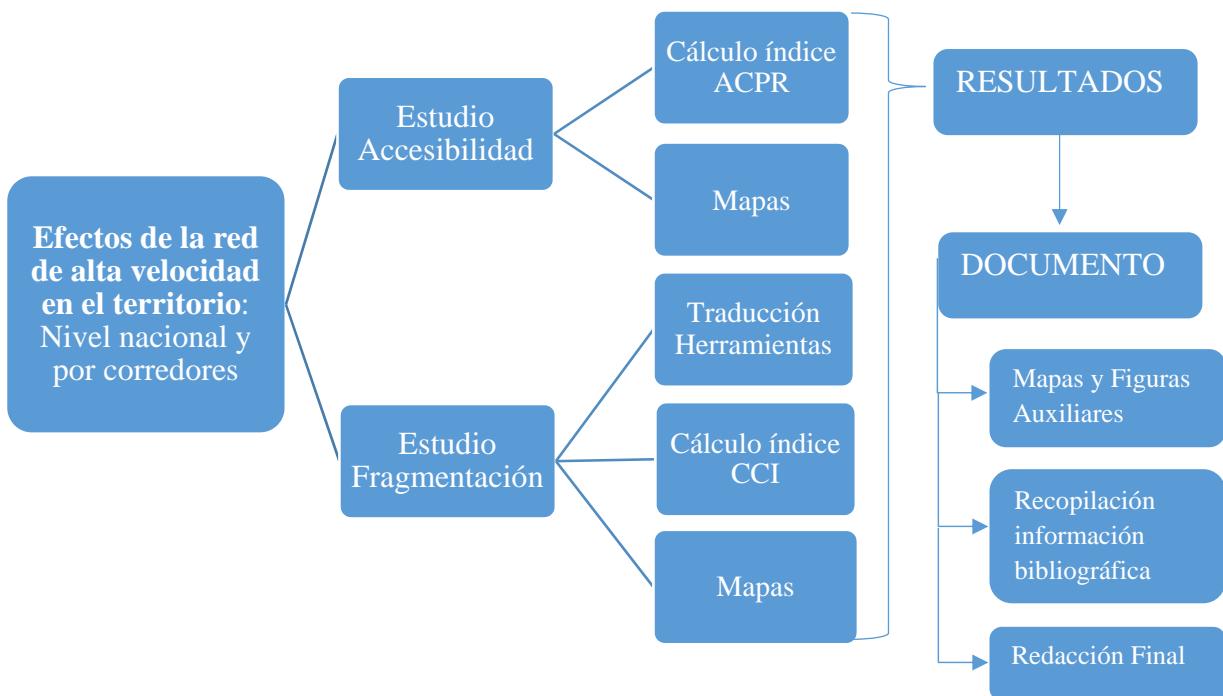
return
```



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

8. INFORME

8.1 Fases del estudio



8.2 Descripción de las tareas realizadas

- **Estudio de la fragmentación**

Este estudio consiste en el cálculo del indicador de conectividad “CCI” en los escenarios propuestos. Para ello primero se crearon las herramientas correspondientes compatibles con el programa ArcMap desde el código original compatible con ArcInfo. Después, se lanzó el programa en varios ordenadores para el cálculo del índice. Una vez calculado se crearon los mapas correspondientes.



- **Estudio de la accesibilidad**

Este estudio consiste en el cálculo del indicador de accesibilidad “ACPR” en los escenarios propuestos mediante un script compatible con ArcInfo. Una vez calculado se crearon los mapas correspondientes.

- **Extracción y análisis de resultados**

En esta fase se trajeron los resultados numéricos tanto del estudio de accesibilidad como del estudio de fragmentación. Se analizaron estos resultados mediante la elaboración de tablas y gráficas, tanto a nivel global como por corredores.

- **Síntesis del documento final**

Por último, se crearon una serie de mapas y figuras auxiliares, se recopiló la información bibliográfica necesaria de estudios anteriores y se redactó el documento final.



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

8.3 Cronograma de las fases

Etapas del estudio	Fases de las etapas del estudio	Diagrama de Gantt											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Índice Conectividad	1.1. Traducción Herramientas ArcInfo → ArcMap												
	1.2. Cálculo índice CCI en los escenarios												
	1.3. Creación mapas conectividad												
2. Índice Accesibilidad	2.1. Cálculo índice ACPR en los escenarios												
	2.2. Creación mapas accesibilidad												
3. Resultados	3.1. Extracción resultados numéricos												
	3.2. Análisis de resultados. Tablas y gráficas												
4. Documento	4.1. Creación mapas y figuras auxiliares												
	4.2. Recopilación información bibliográfica												
	4.3. Redacción documento final												



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

8.4 Coste del estudio

8.4.1 Costes desglosados

8.4.1.1 Costes de las horas de trabajo

	Precio (€/h)	Unidad (h)	Precio total (€)
Estudio conectividad	27	90	2430
Estudio accesibilidad	27	15	405
Análisis resultados	27	40	1080
Síntesis documento	27	125	3375
Coste total			7290

8.4.1.1 Costes de materiales

	Precio (€/Unidad)	Unidades	Precio total (€)
Licencia ArcMap	1320*	1	1320
Material Oficina	30	1	30
Impresión y encuadernación	60	1	60
Coste total			1410

*1 año de licencia = 5.500€ 12 semanas = 1320€

8.4.2 Coste total del estudio

8.4.2.1 Coste total del estudio sin IVA

	Precio total (€)
Costes de horas de trabajo	7290
Costes de material	1410
Coste total	8700

El coste total del estudio sin IVA es de 7.750 euros (**OCHO MIL SETECIENTOS EUROS**)



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

8.3.2.1 Coste total del estudio con IVA

	Precio total (€)
Costes total (sin IVA)	8700
IVA (21%)	1827
Coste total (con IVA)	10527

El coste total del estudio con IVA es de 10.527 euros (**DIEZ MIL QUINIENTOS VEINTISIETE EUROS**)



Impactos en la conectividad del paisaje debidos a la mejora en alta velocidad.
Evolución 1990-2025

9. PÓSTER