

TRABAJO FIN DE MÁSTER

IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y PREDICCIÓN DE CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO EN LA PROVINCIA DE VALLADOLID

Autor: Omar García González

Director: Marcos Rodrigues Mimbrero

Máster Universitario en

**Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del
territorio: sistemas de información geográfica y teledetección**

Noviembre de 2022



Universidad
Zaragoza

**Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio**



RESUMEN

La detección y evaluación de los cambios en la ocupación o usos del suelo es una cuestión de gran importancia para abordar la planificación territorial, siendo para ello esencial un amplio conocimiento del territorio y de su dinámica, que está directamente vinculada al desarrollo económico y social. Los algoritmos y modelos de simulación del cambio en los usos y coberturas del suelo posibilitarán, además, disponer de una importante herramienta mediante la cual sea viable abordar el diseño de ordenaciones del territorio venideras, dada la capacidad que ofrece de predecir sobre el territorio la situación a la que podría llegar en las próximas décadas si se cumplen una serie de acontecimientos o si se aplican las distintas políticas o medidas territoriales que se pretendan implementar, facilitando la labor de atisbar, de manera más precisa, las implicaciones y repercusiones de la planificación territorial a medio y largo plazo. En el presente Trabajo Fin de Máster se aborda el análisis geográfico de las claves territoriales que han intervenido en los principales cambios de la ocupación del suelo en la provincia de Valladolid, así como su análisis prospectivo, en base al modelado futuro de distintos escenarios de transición, aprovechando el potencial del algoritmo Dyna-CLUE como herramienta de simulación. Este estudio combina el análisis retrospectivo de los cambios ocurridos (1990-2018), extrapolando la influencia de los factores condicionantes de las transiciones ya ocurridas con algoritmos de simulación que permiten proyectar las condiciones futuras (2030 y 2050) bajo diversos escenarios.

En consecuencia, se han analizado las principales transiciones mediante combinación de cartografía de la ocupación del suelo y su modelado por medio de regresión logística. Esta información ha alimentado el modelo de simulación bajo cuatro escenarios territoriales, basados en la contención de la expansión urbana, la intensificación de la actividad agrícola, el incremento de la reforestación y una escasa intervención frente a la urbanización y abandono agrícola. Se puede concluir, en síntesis, que los próximos años serán decisivos con miras a frenar, en la medida de lo posible, el incipiente calentamiento global procedente de acciones antrópicas como la contaminación atmosférica, siendo esencial, para ello, un correcto diagnóstico de la realidad actual y la eficacia en la toma y puesta en marcha de medidas y acciones territoriales, todas ellas a partir de una visión prospectiva sustentada en la exploración de las tendencias del pasado y en el conocimiento de los actuales recursos de los que se dispone, y que, con ayuda de un conocimiento experto del territorio y de un correcto empleo de los SIG, puedan dar lugar a posibles soluciones que, a partir de la contemplación y comparativa de distintos escenarios hipotéticos, faciliten la toma de decisiones y tengan la capacidad de abordar la tan compleja problemática territorial contemporánea.

Palabras Clave: SIG, transiciones entre usos del suelo, planificación territorial, escenarios, modelo CLUE, Valladolid.

ABSTRACT

The detection and evaluation of changes in land occupation or land use is a matter of great importance for territorial planning, for which a broad knowledge of the territory and its dynamics -which is directly linked to economic and social development- is essential. Algorithms and simulation models of land use and land cover change will also make it possible to allow the use of an important tool with which to approach the design of future territorial planning, given the capacity it offers to predict the situation that could be reached in the coming decades if a series of events occur or if different territorial policies or measures are implemented, facilitating the task of glimpsing, more precisely, the implications and repercussions of territorial planning in the medium and long term. This Master's Dissertation deals with the geographical analysis of the territorial keys that have intervened in the main changes of land occupation in the province of Valladolid, as well as its prospective analysis, based on the future modeling of different transition scenarios, taking advantage of the potential of the Dyna-CLUE algorithm as a simulation tool. This study combines the retrospective analysis of the changes that have occurred (1990-2018), extrapolating the influence of the conditioning factors of the transitions that have already occurred with simulation algorithms that allow the projection of future conditions (2030 and 2050) under different scenarios.

Consequently, the main transitions have been analyzed through a combination of land cover mapping and modeling by means of logistic regression. This information has fed the simulation model under four territorial scenarios, based on the containment of urban sprawl, the intensification of agricultural activity, the increase of reforestation and a scarce intervention in the face of urbanization and agricultural abandonment. In summary, it can be concluded that the coming years will be decisive in order to curb, as far as possible, the incipient global warming caused by anthropic actions such as atmospheric pollution, being essential, for this purpose, a correct diagnosis of the current reality and the effectiveness in the adoption and implementation of territorial measures and actions, all of them from a prospective vision based on the exploration of past trends and on the knowledge of the current resources available, and that, with the help of an expert knowledge of the territory and a correct use of GIS, can give rise to possible solutions that, from the contemplation and comparison of different hypothetical scenarios, facilitate decision making and have the ability to address the complex contemporary territorial problems.

Key Words: GIS, land use changes, territorial planning, scenarios, CLUE model, Valladolid.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	pág. 1
1.1.	Justificación de la investigación	pág. 1
1.2.	Antecedentes y estado de la cuestión	pág. 1
1.3.	Presentación de la temática y aportaciones de este estudio	pág. 2
1.4.	Objetivos del trabajo	pág. 3
1.5.	Etapas de la investigación	pág. 3
2.	ÁREA DE ESTUDIO	pág. 5
2.1.	Caracterización paisajística de la provincia de Valladolid	pág. 5
2.2.	Composición del medio físico de la provincia de Valladolid	pág. 6
2.3.	Descripción de la evolución general de la ocupación del suelo en la provincia de Valladolid (1990-2018)	pág. 7
3.	METODOLOGÍA	pág. 9
3.1.	Identificación de las transiciones en la ocupación del suelo relativa a la cartografía de Corine Land Cover	pág. 9
3.2.	Elaboración de los modelos de regresión para la comprensión de los factores explicativos	pág. 10
3.2.1.	Obtención de datos geográficos y selección de variables explicativas	pág. 11
3.2.2.	Ajuste de modelos de regresión para las principales transiciones	pág. 14
3.3.	Simulación de cambios en la ocupación sobre escenarios futuros mediante el modelo Dyna-CLUE	pág. 15
3.3.1.	Definición de escenarios en base a políticas territoriales para la simulación	pág. 16
3.3.2.	Presentación del modelo CLUE y su mecánica de uso	pág. 18
3.3.3.	Elaboración de modelos predictivos en base a los escenarios considerados	pág. 19
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	pág. 22
4.1.	Evolución de los principales usos del suelo de la provincia de Valladolid	pág. 22
4.1.1.	Evolución del uso urbano, periurbano e industrial	pág. 25
4.1.2.	Evolución del uso agrícola	pág. 29
4.1.3.	Evolución del uso forestal	pág. 31
4.2.	Interpretación de los modelos de regresión de las principales transiciones (1990-2018)	pág. 32
4.2.1.	Transición del suelo no urbano a urbano	pág. 33
4.2.2.	Transición del suelo agrícola al forestal	pág. 34
4.2.3.	Transición del suelo forestal al agrícola	pág. 34
4.3.	Distribución de las coberturas del suelo en escenarios futuros	pág. 35
4.3.1.	Escenario de contención de la expansión urbana	pág. 35
4.3.2.	Escenario de intensificación de la actividad agrícola	pág. 37
4.3.3.	Escenario de incremento de la reforestación	pág. 39
4.3.4.	Escenario de expansión urbana y abandono agrícola	pág. 40
4.4.	Principales limitaciones y posibles mejoras del proceso	pág. 42
5.	CONCLUSIONES	pág. 44
FUENTES UTILIZADAS	pág. 46	
Referencias bibliográficas	pág. 46	
Otras fuentes	pág. 49	
ANEXO I: Cartografía de los factores de localización	pág. 50	

1. INTRODUCCIÓN

La introducción se estructura en las siguientes secciones: la justificación de la investigación, los antecedentes y estado de la cuestión, la presentación de la temática y aportaciones de este estudio, los objetivos del trabajo y las etapas de la investigación.

1.1. Justificación de la investigación

El estudio e interpretación del territorio como espacio geográfico dinámico y cambiante en el tiempo, así como de los procesos e interrelaciones que tienen lugar en el mismo, es uno de los objetivos fundamentales de la Geografía y la Ordenación del Territorio. Por este motivo, el potencial que poseen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta o sistema integrado de captura, almacenamiento, procesamiento, análisis y visualización de datos espaciales vinculados a intereses de naturaleza geográfica es cada vez más sustancial en un contexto de cambios globales socioeconómicos y culturales en el que el desarrollo de aplicaciones destinadas a la consecución de una adecuada gestión y planificación del territorio se encuentra en pleno auge (Goodchild, 2020). Así pues, resulta esencial realizar un uso prudente y racional del territorio apoyado en la actuación conjunta de la planificación territorial estratégica, la cual se caracteriza por la elaboración de planes con los que conseguir un futuro deseable, y que se aplica a los recursos territoriales sin expresión espacial; y de la planificación física, que se aplica a recursos territoriales que sí la tienen e interviene y transforma directamente el territorio, mediante la zonificación o asignación de usos del suelo, de acuerdo a los objetivos de la planificación estratégica (Sánchez, 2007). Por este motivo, algunas de las perspectivas básicas que deben adoptarse en todo territorio frente el actual modelo de ocupación del mismo -basado en el consumo masivo de suelo, aire y agua-, son las relativas a mejorar la sostenibilidad ambiental de manera que esta se fundamente en una ocupación del suelo y movilidad urbana sostenibles (Naciones Unidas, 2014), siendo imprescindible, para ello, el entendimiento global y holístico del territorio como un sistema integrado, dinámico, vivo y en permanente transformación, y siempre atendiendo al factor de escala como un criterio primordial en su análisis.

Una de las principales cuestiones que se debe abordar en el estudio del territorio es la relacionada con las transiciones en los usos y/o ocupación del suelo, primeramente, desde una perspectiva amplia, como puede ser la escala provincial -como será el caso de este trabajo-, para luego dar paso, de una manera más unificada, a un análisis e interpretación de cada realidad territorial aumentando la escala de análisis tanto como sea necesario. Esto serviría, entre otros aspectos, para conocer la capacidad de acogida o aptitud de un espacio determinado de cara a soportar un nivel de usos concreto sin que dé lugar en él un proceso irreversible de deterioro ambiental, social o cultural (Jiménez y Castaño, 2008), fruto de, verbigracia, una excesiva construcción de viviendas con la ampliación consecuente del área urbana no consolidada o urbanizable, o del rebasamiento del número máximo permitido de desplazamientos diarios de vehículos, lo cual conlleva a un notable incremento de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.

1.2. Antecedentes y estado de la cuestión

La dinámica de cambio y evolución de los usos del suelo es una realidad presente en cualquiera que sea el territorio seleccionado para su estudio y análisis. Por este motivo, ya se han realizado en el pasado estudios que abordan el análisis y caracterización de la dinámica en la ocupación del territorio, vinculada a su evolución, mediante el uso de las TIG, así como simulaciones basadas en la proyección de escenarios a futuro a partir de modelos predictivos. Algunos ejemplos de investigaciones que ya han

abordado esta temática de estudio son las realizadas por Bacău y otros autores en Bucarest (Bacău et al., 2022), Wang y otros autores en China (Wang et al., 2021), Das y otros autores en la India (Das et al., 2019) o Tizora y otros autores en el sur de África (Tizora et al., 2018). En lo referente a España, se han elaborado estudios, verbigracia, por Domingo y otros autores en la comunidad autónoma de Madrid y en las provincias de Barcelona, Valencia y Zaragoza (Domingo, Palka y Hersperger, 2021).

En el caso de la obra de Domingo, los principales escenarios definidos, simulados hasta 2030, fueron, en primer lugar, uno de desarrollo sostenible sustentado en una alta intervención de la legislación, y cuyos resultados arrojaron un escaso aumento en el uso del suelo urbano -principalmente en zonas de construcción caracterizadas por la presencia de suelo desnudo o escasa vegetación- y un aumento de las tierras de cultivo y zonas forestales a expensas de los pastos y praderas naturales; en segundo lugar, un escenario basado en la tendencia histórica de 1990-2019, caracterizada por cambios legislativos y sociales que incrementaron el desarrollo urbano tras la entrada de España en la UE, y que arrojó en sus simulaciones una mayor transición a los usos urbanos del suelo a través de la conversión de zonas de construcción, praderas naturales y pastos que oscilaban desde pequeñas (16 km^2 en Zaragoza) hasta grandes superficies (165 km^2 en Madrid); en tercer lugar, se determinó un escenario basado en un fuerte desarrollo urbano, según el cual el crecimiento de los usos del suelo urbano mostró un claro predominio de las densidades urbanas medias en la periferia o en las nuevas zonas de desarrollo; y, en cuarto lugar, un escenario concerniente a una escasa intervención y un alto grado de liberalización del mercado, cuyos mapas simulados mostraron cambios de uso del suelo extremos, caracterizados por la fuerte tendencia a la dispersión con predominio de zonas urbanizadas de media y baja densidad, creando nuevas áreas de desarrollo lejos de los centros existentes (Domingo, Palka y Hersperger, 2021).

1.3. Presentación de la temática y aportaciones de este estudio

En el presente trabajo se pretende identificar y caracterizar los principales cambios en los usos del suelo en la provincia de Valladolid. Los trabajos y artículos de investigación dirigidos a este ámbito de estudio en España son relativamente escasos, no habiéndose efectuado todavía ninguno en la zona objeto de estudio de esta investigación. Dada la carencia de análisis similares al aquí presente, y al interés personal por estudiar esta región, se ha seleccionado, a modo de escenario ejemplificador del tema de investigación, el límite administrativo de la provincia de Valladolid. No obstante, el ámbito provincial no es un límite de carácter geográfico, de manera que se debe tener presente la constante necesidad de extender la mirada más allá de las lindes del área de estudio -dada su continuidad en lo relativo a la ocupación del suelo-, pese a que dicha extensión territorial pueda pertenecer, a nivel administrativo, a otra provincia diferente. En cualquier caso, se pretende acotar el análisis de la dinámica cambiante de los usos del suelo a dicho límite provincial, tratándose siempre de contextualizar algunas de estas realidades más allá del mismo dado que muchos de los problemas territoriales que experimenta la provincia son extensibles y aplicables a muchas otras de la comunidad autónoma de Castilla y León.

Así, a lo largo del presente estudio se aborda, con la ayuda de los SIG y técnicas afines (modelos de regresión y algoritmos de simulación espacialmente explícitos), la identificación, caracterización, interpretación y proyección al futuro de la dinámica en la ocupación del suelo durante las tres últimas décadas en la zona de estudio. Se ha desarrollado un análisis tanto geográfico como técnico -en función de la correlación que pueda manifestarse entre algunas de las diversas variables territoriales y las transiciones en los usos del suelo-, con el fin de aproximarse a la complejidad territorial resultado de la confluencia de los múltiples factores presentes en el territorio. Estas transiciones han sido analizadas y extrapoladas a futuro mediante modelos de regresión y su posterior inserción en algoritmos de simulación de cambios en la ocupación del suelo. Para ello, se han elaborado una serie de escenarios ilustrativos de posibles narrativas de planificación (expansión urbana, abandono agrícola...). Cabe mencionar en este punto que, a diferencia de otras investigaciones realizadas hasta la fecha, en este

trabajo se está haciendo uso de las transiciones entre distintas coberturas del suelo a la hora de realizar simulaciones. De esta manera, si comúnmente se hace uso de la presencia de distintos usos del suelo de cara al ajuste de los modelos de regresión (es decir, se analizan los factores que se relacionan con la presencia de una determinada cobertura de suelo), en esta ocasión los parámetros de modelado han sido acotados a las transiciones mencionadas (se han analizado los factores no solo relacionados con la presencia de las coberturas sino también con los cambios acaecidos en el pasado). De este modo, las simulaciones en escenarios futuros se fundamentan en los factores históricos que han promovido los cambios en la ocupación. Por otra parte, los escenarios considerados han sido definidos en el marco de la actual coyuntura de sostenibilidad en España, guiada por los Objetivos de Desarrollo Sostenible y de la Agenda 2030.

Todo ello se encuentra orientado, en definitiva, a la exploración de algunas de las realidades a las que se podría llegar en las próximas décadas, así como sus principales consecuencias. Empero, un modelo es solamente una representación o abstracción de la realidad, cuya aplicación o uso sólo se justifica para llegar a conocerla mejor, es decir, como hipótesis de trabajo sujeta a verificaciones. Por ende, dada la inmensa dificultad de simular y predecir de manera precisa las transformaciones territoriales que vayan a darse a cabo en el futuro -al igual que ocurre con los eventos climáticos o las proyecciones de población-, el cometido del presente trabajo es hacer patente la posibilidad de llevar a cabo todo este proceso, así como evidenciar la importancia del uso de modelos matemáticos o predictivos en aras de prever los efectos de determinadas situaciones o políticas de gestión, dando pie en los próximos años a la puesta en marcha de investigaciones más concretas y específicas, previa ampliación de la escala de análisis, en determinados municipios o comarcas de la provincia o de cualquier otro territorio.

1.4. Objetivos del trabajo

El presente Trabajo Fin de Máster aborda el análisis de los cambios y dinámicas de las principales cubiertas del suelo (urbano, forestal y agrícola) en la provincia de Valladolid. Este estudio combina el análisis retrospectivo de los cambios ocurridos (periodo 1990-2018), extrapolando la influencia de los factores condicionantes de las transiciones ya ocurridas con algoritmos de simulación que permiten proyectar las condiciones futuras (años 2030 y 2050) bajo diversos escenarios.

Por ello, los principales objetivos propuestos son los siguientes:

-Identificar y evaluar las principales transiciones en las coberturas y usos del suelo en la provincia de Valladolid entre 1990 y 2018, interpretando su causalidad a partir de un enfoque geográfico y las consecuencias a las que hayan podido dar lugar.

-Extraer las relaciones entre la dinámica de la ocupación del suelo y las distintas variables de componente geográfico o territorial, mediante la elaboración de modelos de regresión.

-Simular, sobre la base de las relaciones observadas, transiciones en los usos del suelo hacia futuro bajo diversos escenarios hipotéticos en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y de la Agenda 2030.

1.5. Etapas de la investigación

El proceso metodológico y conceptual en el que se desarrolla la investigación para la consecución de los objetivos previamente definidos incluye las siguientes etapas:

-Comentario geográfico general del medio físico de la provincia de Valladolid.

-Análisis e interpretación de las principales transiciones en la ocupación del suelo en la provincia de Valladolid entre los años 1990 y 2018.

-Búsqueda, selección y valoración de diferentes variables de componente geográfico o territorial y de sus relaciones con las transiciones entre usos del suelo durante las últimas décadas mediante la elaboración de modelos de regresión.

-Exploración y definición de distintos escenarios, de carácter hipotético, en los que basar los diferentes modelos predictivos en aras de proyectar distintas simulaciones al futuro en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y de la Agenda 2030.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La provincia de Valladolid (perteneciente a la Comunidad Autónoma de Castilla y León, en España) cubre una superficie de en torno a 8109 km², albergando una población de 519.361 habitantes a 1 de enero de 2021 (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2021) y una densidad de población de aproximadamente 64 habitantes/km². Con la intención de introducir con más profundidad el área de estudio, se va a realizar, en primer lugar, una aproximación de carácter paisajístico a la misma; en segundo lugar, un análisis geográfico de la composición del medio físico que la integra; y, en tercer lugar, una descripción relativa a la evolución en su ocupación del suelo durante las últimas tres décadas.

2.1. Caracterización paisajística de la provincia de Valladolid

Como fase previa al estudio de la ocupación del suelo de esta entidad administrativa, se va a describir el área de estudio desde una perspectiva a nivel de paisaje, según la Convención Europea del Paisaje. Este documento, desarrollado por el Consejo de Europa (Consejo de Europa, 2000), presentado oficialmente en Florencia el 20 de octubre del año 2000, y entrado en vigor cuatro años más tarde, define el paisaje como “...cualquier parte del territorio, tal como es percibida por las poblaciones, cuyo carácter resulta de la acción de factores naturales y/o humanos y de sus interrelaciones”. El concepto de paisaje es por lo tanto dual: por un lado, es un aspecto de la realidad objetivo, en tanto a lo que se refiere a la forma del territorio; y, por otro lado, es también subjetivo, derivado de su propia percepción social e individual a partir de la cultura territorial y la capacitación técnica de una sociedad tanto en el pasado como en el momento actual.

La concepción del medio físico desde la perspectiva paisajística es importante como elemento introductorio del estudio y análisis de la ocupación del suelo en la provincia de Valladolid, ya que el territorio que comprende va a estar siempre impregnado de un profundo significado geográfico, tanto cultural como histórico, y que es debido a la forma en que se plasman todos aquellos elementos o técnicas propias de cada generación en su proceso de ocupación y explotación del medio. Este último es, además, producto de una constante contradicción, y es que, al haberse transformado en un recurso para la generación de renta y empleo, el territorio es ahora un bien por el que existe un claro interés por su conservación, al mismo tiempo que es sometido a continuas alteraciones derivadas de la adaptación del espacio a las estrategias económico-empresariales emergentes y destinadas a la gestión y venta para el consumo turístico del paisaje (Calderón, 2004). En cualquier caso, si bien existe una atención creciente y destacable en el tratamiento del patrimonio per se en el caso de Castilla y León y de Valladolid, aún es común la vigente confusión en lo que respecta concretamente a los paisajes, de manera que la aún escasa sensibilidad social y política por estos se hace notar, afortunadamente, en ciertos instrumentos de planeamiento como las Directrices de Ordenación del Territorio de Valladolid y su Entorno (DOTVAENT).

Por todo ello, es importante señalar, en el contexto de la investigación referente a los cambios en la ocupación del suelo, que el clasificado como rústico es el más propenso, dado su carácter residual, a sufrir mayores transformaciones, y que suelen conllevar a menudo alteraciones y agresiones al paisaje - conflictos paisajísticos-, tales como la urbanización difusa de las periferias de los núcleos de población urbanos y rurales, la introducción de tipologías constructivas externas al paisaje, la irrupción de grandes infraestructuras de transporte y equipamientos de grandes dimensiones, los tendidos eléctricos, las antenas de telefonía móvil, los parques eólicos, la concentración parcelaria o la aparición de nuevas canteras de áridos (Calderón, 2004). Todos estos cambios no solamente tendrán repercusiones de índole medioambiental, sino también a nivel paisajístico, por lo que es conveniente contar con el criterio de la población local sobre si deben, en la medida de lo posible, llevarse a cabo o no. En todo caso, esta cuestión se ejemplificará nuevamente en los escenarios propuestos para este trabajo.

2.2. Composición del medio físico de la provincia de Valladolid

La presente sección ha sido elaborada, principalmente, a partir de la obra de: Calderón, 2004.

La provincia de Valladolid se encuentra integrada fundamentalmente en dos grandes conjuntos paisajísticos, los páramos y las campiñas, caracterizados ambos por fuertes contrastes internos. Los páramos calcáreos hacen referencia a un conjunto de llanuras escalonadas desde los 650 metros de altitud en la vega del Duero hasta los 927 en los páramos de Peñafiel, y se localizan en la parte central de la provincia, desde Medina de Rioseco hasta Íscar en dirección norte-sur, y desde Peñafiel hasta Tiedra en dirección este-oeste (Díez y Guerra, 1996; citados por Calderón, 2004). Estos sectores, que en apariencia parecen homogéneos desde un punto de vista paisajístico al carecer de claros contrastes morfológicos, presentan realmente una gran variedad de micropaisajes relacionados, por un lado, con la mayor o menor extensión y el carácter compacto de esta forma de relieve y, por otro, con la existencia de elementos con una alta capacidad estructurante, tales como ríos; así como con las variantes de textura producidas por los usos del suelo.

Los páramos, a su vez, se subdividen en tres elementos diferenciados por la respuesta visual que ofrecen: el páramo propiamente dicho, las cuestas o laderas, y los valles. Los páramos se encuentran formados por un banco calizo de 5 a 10 metros de espesor -el cantil- que protege a las capas subyacentes de la erosión. Existen grandes diferencias entre estos, desde los horizontales y muy compactos propios de los montes de Torozos, hasta aquellos que se presentan como lenguas largas y estrechas y que son característicos de La Cistérniga o del interfluvio Duero-Esgueva, pasando también por aquellos otros que aparecen fragmentados en formas del relieve tales como espigones, muelas, colinas, mamblas o cerros Testigo, tales como los páramos del Cerrato, y que pueden llegar a tener tal entidad como para constituir auténticos hitos en el paisaje. En el caso de las cuestas o laderas, estas conectan el páramo con las llanuras deprimidas, y se encuentran formadas por margas de un color blanco grisáceo. Por último, se encuentran los valles, que se caracterizan por romper la homogeneidad de los páramos, llegando a individualizar grandes fragmentos de estos. Además, los valles muy anchos reciben el nombre de riberas, destacando la del Pisueña, que separa los montes de Torozos de los páramos del Cerrato, y la del Duero, que separa los páramos de Portillo-Peñafiel de los ubicados al sur del Esgueva. En lo que respecta a las campiñas, estas pueden ser tanto arcillosas como arenosas, y se encuentran, respectivamente, al norte (Tierra de Campos) y al sur de la provincia (Tierra de Medina y Tierra de Pinares).

También se encuentran, además, las plataformas detríticas de la tierra de Medina, próximas a Medina del Campo, y más concretamente en el sector de Serrada La Seca, y se caracterizan por estar formadas por una serie de terrazas aluviales invertidas, a 40 metros menos de altitud que los páramos, y recubiertas por una capa de guijarros que fue depositada durante el Plioceno y el Cuaternario. No obstante, el posterior encajamiento de los ríos provocó que estas quedasen en una posición más elevada que las campiñas colindantes, originando un relieve aluvial invertido. Finalmente, sobre las grandes unidades de la estructura paisajística comentada, ha sido la acción humana la que, junto a las particularidades de los suelos y el clima de la provincia, han dotado al paisaje de una peculiar textura determinada por los usos del suelo y su distribución, así como por los colores, formas y disposición de los diferentes componentes en relación con los elementos estructurales, las densidades de los distintos usos y las características morfológicas y tipológicas de los núcleos de población y las construcciones aisladas. De esta manera, a partir de un criterio biogeográfico y antrópico-agrario, en la provincia de Valladolid se pueden distinguir cuatro ocupaciones del suelo principales.

En primer lugar, en los páramos resalta la presencia de manchones de monte bajo de encina y roble carrasco junto a ejemplares de repoblación de enebro y de pino albar, y cuyos montes que forman son el resultado de cientos de años de explotación de pasto y leña para el carboneo. Por otra parte, en las laderas de los páramos dominan los matorrales. En segundo lugar, en las campiñas arcillosas es común la dispersión y escasa entidad de la superficie de monte, mientras que predominan las tierras destinadas al cultivo de cereales. Persisten, además, ejemplares aislados de retama, rosa silvestre o espino albar, así

como almendros que se cultivaban en los extremos de los viñedos, y, en algunas zonas del norte y del sur -Mayorga y Roales de Campos, y Bobadilla del Campo, respectivamente-, perviven restos de montes de encinas y robles, muy antropizados.

En tercer lugar, en las campiñas arenosas es más habitual la existencia de espacios forestales, concretamente de pinares -de ahí el nombre de tierra de Pinares-, destacando tanto el *Pinus pinea L.* (pino piñonero o albar), del cual se aprovecha el piñón y la madera, como el *Pinus pinaster Ait. Ssp. mediterránea* (pino resinero o negral), del que se obtiene beneficios de la resina. En cuarto y último lugar, en las riberas y espacios vinculados al agua (y que se extienden sobre todo por el sur de la provincia), el paisaje se encuentra profundamente transformado por la actividad agraria -concretamente por las superficies de regadío-, lo que convierte a estos sectores en los más dinámicos y de mayor contraste paisajístico de toda la provincia (Calderón, 2004).

2.3. Descripción de la evolución general de la ocupación del suelo en la provincia de Valladolid (1990-2018)

La ocupación del suelo en la provincia de Valladolid se ha ido desarrollando y transformando a lo largo del tiempo. El territorio es, como es bien sabido, una realidad dinámica y cambiante, dada la naturaleza del ser humano y la insoslayable evolución cultural. No obstante, aunque los cambios acontecidos entre los años 1990 y 2018 (periodo de referencia histórico en este trabajo) no han sido, a primera vista, significativos a escala provincial, merecen igualmente especial atención y ser analizados a partir de una perspectiva o enfoque geográfico. Entre los principales procesos que han intervenido -y continúan haciéndolo en algunos casos-, destacan la urbanización y expansión de las áreas periurbanas, la desagrarización, el éxodo rural, la deforestación y reforestación, el envejecimiento de la población o la transformación de la actividad industrial. Conviene recordar que la relación del ser humano con el medio físico que ocupa es uno de los principales objetivos de la geografía, y que los rasgos geográficos que deben ser analizados dentro de este estudio incluyen el clima, el agua, los suelos, las formas del relieve y las formaciones vegetales, combinadas con otros elementos tales como las entidades de población, las redes de comunicación, la diversidad cultural y las diferentes alteraciones producidas por el hombre (Molinero, 2012; Molinero y Alario, 2022).

El espacio geográfico es, por tanto, una construcción social. En todo caso, la mayoría de los cambios en las cubiertas y usos del suelo se encuentran directamente relacionadas con la propia actividad económica, que se desarrolla desde las ciudades y el medio rural. Además, como se verá más adelante, la provincia de Valladolid ha crecido mucho demográficamente, aunque no en la capital, sino en su periurbano. A partir del año 1990 han sido significativos, por su parte, procesos tales como la modernización económica y el éxodo rural, y, en el año 2000, dio comienzo un crecimiento demográfico importante, debido a la inmigración, si bien se frena e invierte a partir del año 2012, tras lo cual comienza a descender ininterrumpidamente hasta el año 2018, como consecuencia de la crisis económica del año 2008 -debido al cese de la inmigración y al comienzo de un nuevo proceso de emigración- (Molinero, 2012). De cara a la elaboración de escenarios futuros, también se deberían tener en consideración la crisis sanitaria de la COVID-19, a partir del 2020 y, actualmente, la crisis energética vinculada a la guerra de Ucrania.

Si se observa la ocupación del suelo de la provincia de Valladolid en los años 1990 y 2018 (Figura 1), lo primero que llama la atención es, para ambos años, el predominio de cubiertas de uso agrícola, tales como las tierras de labor en secano y regadío, así como de terrenos agrícolas con vegetación natural y, en menor proporción, frutales y viñedos. Esto se debe, como se verá más adelante, a que la provincia de Valladolid es eminentemente agrícola, destacando el cultivo de cereales, como el trigo y la cebada, y de leguminosas, alfalfa, hortalizas, la remolacha azucarera o la vid (Molinero, 2012; Molinero y Alario, 2022). Por otra parte, también destaca la presencia de cubiertas de tipo forestal, tales como los

bosques de frondosas y coníferas, los pastizales y el matorral boscoso de transición. No pasa inadvertido, además, el incremento del tejido urbano continuo y discontinuo entre estos años (debido al continuo proceso de urbanización y periurbanización), así como el de zonas industriales o comerciales, aunque no tanto el de zonas de extracción minera como consecuencia de la ralentización de la economía ocasionada por la crisis de la construcción iniciada en el año 2008 (García, 2021). También es notable el aumento de cultivos de regadío y de viñedos.

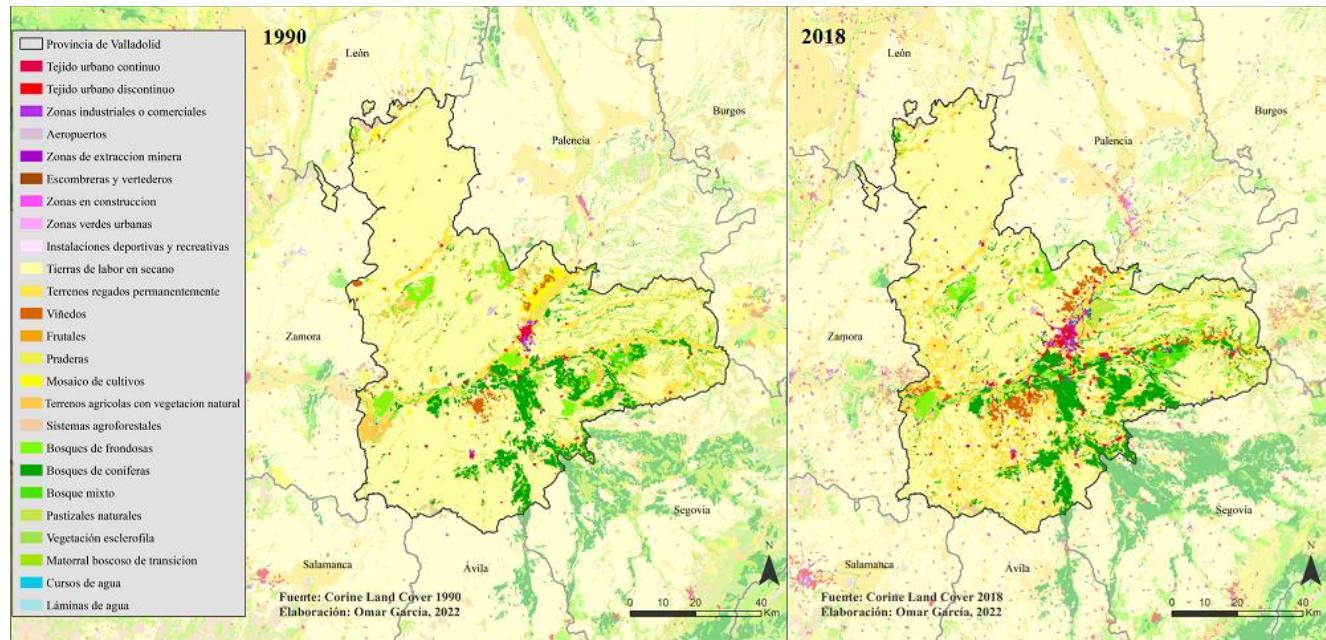


Figura 1. Ocupación del suelo en la provincia de Valladolid en 1990 (izquierda) y 2018 (derecha). Fuente: European Union, Copernicus Land Monitoring Service 2022, European Environment Agency (EEA). Elaboración propia

Es muy importante mencionar que, a pesar de la clara reducción del suelo clasificado como de uso agrícola (según datos de CLC) a la que se hará mención en el trabajo, en la provincia de Valladolid no ha dado lugar ningún proceso de abandono agrícola, ni ocurre tampoco en la actualidad. Lo que realmente ha sucedido a nivel más amplio, de la mano de la desagrariación y la gran emigración a las ciudades, es el desplome de la sociedad rural y la tremenda pérdida de población, de casas y de elementos de funcionalidad agraria en el medio rural, así como el peso cada vez menor de la agricultura en el conjunto de la actividad económica o el menor cuidado de los montes (Molinero, 2022; Molinero y Alario, 2022). Si se atiende a la información de CLC, lo que realmente disminuye no es el terreno labrado (salvo pequeñas parcelas agrícolas poco rentables), sino otras categorías de uso agrícola como terrenos con espacios de vegetación natural o los sistemas agroforestales, y lo que se abandona son terrenos de pastizal o monte bajo. En cualquier caso, de ningún modo existe un abandono agrícola como tal en la provincia, ni por lo general en el medio rural interior, sino que, en realidad, en muchos municipios rurales de interior hay crecimiento y progreso en este ámbito, entre otras causas por las ayudas desde 1988 de la PAC. Así, pese a que la población agraria es escasa y decadente, la agricultura se ha tecnificado y actualmente necesita muy poca mano de obra. Por ello, la acumulación de activos agrarios se da en las zonas donde hay cultivos exigentes en mano de obra o que precisan de esta, tales como los hortícolas, frutícolas, vitícolas y olivícolas, o bien donde abunda la ganadería más o menos intensiva. En definitiva, aunque el terreno labrado ocupa una gran extensión, no se abandona (como sucede con los pastizales), sino que se mantiene e incrementa gracias a la potente maquinaria de la que disponen los agricultores, que, aunque decrecen en número, se encuentran cada vez más capacitados a nivel técnico. De esta manera, y pese a la tecnificación, el empleo agrario continúa predominando de forma clara en las tierras del secano interior, manteniendo un peso agrario determinante en el empleo total (Molinero, 2022; Molinero y Alario, 2022), y lo que en realidad ha dado lugar no es un abandono de la tierra, sino una adaptación a las nuevas funciones del campo o espacio rural (Molinero y Alario, 2022).

3. METODOLOGÍA

La metodología seguida para la elaboración de este trabajo se estructura en tres grandes etapas. En primer lugar, se lleva a cabo la caracterización de los cambios en la cobertura del suelo durante el periodo 1990-2018, a fin de identificar las transiciones entre cubiertas a partir de cartografía histórica de ocupación del suelo. En segundo lugar, se procede a la elección de las principales transiciones y su análisis mediante el ajuste de modelos de regresión, lo cual servirá para entender las relaciones entre estas y una serie de factores geográficos o territoriales -físicos, socioeconómicos, demográficos...- relacionados con la transformación o persistencia de las cubiertas presentes. Finalmente, se procede a la simulación de escenarios en aras de proyectar a futuro los principales usos del suelo que integran la provincia. Así pues, las transiciones que se identifiquen en un primer momento servirán más adelante para la caracterización de los coeficientes de regresión, y estos, a su vez, para alimentar simulaciones a futuro.

3.1. Identificación de las transiciones en la ocupación del suelo relativa a la cartografía de Corine Land Cover

De cara a la identificación y estudio de la ocupación del suelo de un territorio, se ha partido de una base cartográfica que contempla las cubiertas o usos del mismo en diferentes momentos. Así, para el presente trabajo, se ha utilizado el producto Corine Land Cover (CLC). La cartografía de CLC se elabora en el marco de un proyecto europeo, coordinado por la Agencia Europea del Medio Ambiente, que trabaja en el desarrollo de bases de datos espaciales acerca de la ocupación del territorio en el marco de la UE. CLC cuenta con distintas versiones referentes a los años 1990, 2000, 2006, 2012 y 2018, abarcando un periodo de 29 años. La elección de esta base cartográfica (frente a otros productos disponibles como el Sistema de Ocupación del Suelo en España o SIOSE) se sustenta en su amplio recorrido temporal, de casi tres décadas, lo cual permite un adecuado análisis sobre las transiciones que ha experimentado un territorio debido a la existencia de diversos productos cartográficos en distintas fechas, previamente expuestas. Por otra parte, el uso de CLC permitiría reproducir el análisis de transiciones, facilitando así la transferencia de la metodología seguida a otras zonas del territorio europeo.

Por consiguiente, se ha accedido a la información concerniente a CLC sobre los usos del suelo de los años 1990 y 2018. El objetivo es establecer cuál ha sido la evolución y las principales diferencias entre ambos años (el más antiguo y el más reciente, respectivamente, para los que hay datos), en la provincia de Valladolid. Una vez elaborada la cartografía correspondiente, se han reclasificado las cubiertas del CLC (ver Tabla 1) en las cuatro categorías o usos principales que van a ser esenciales de cara a los objetivos del trabajo, y que son el urbano (categorías 1.1.1 y 1.1.2), el industrial (1.2.1, 1.2.2, 1.2.3, 1.2.4, 1.3.1, 1.3.2 y 1.3.3), el agrícola (categoría 2 completa) y el forestal (categoría 3 completa). Finalmente, se ha establecido una quinta categoría, denominada “otros”, con el conjunto de usos restantes. Dicha asignación de cubiertas en estos grandes grupos ha sido personal, y por tanto subjetiva, si bien se considera la apropiada y suficiente para la consecución de los objetivos planteados.

Estas categorías han sido combinadas mediante geoprocesos en entorno SIG para obtener las transiciones ocurridas. De este proceso se obtiene la cartografía de cambio/persistencia de las cubiertas agregadas, permitiendo además analizar la frecuencia con que éstas se producen. Las transiciones más frecuentes (con un umbral mínimo de 100 km² de superficie de cambio, por debajo del cual no se han considerado significativas) serán utilizadas para su posterior análisis y caracterización mediante modelos de regresión y simulación de cambios en la ocupación. Mediante este criterio, se han determinado tres transiciones principales diferentes, consistiendo todas ellas en la evolución de un uso del suelo concreto en el año 1990, a otro correspondiente al año 2018, y son las referentes a la (i) conversión del suelo no urbano a urbano (143,18 km² de superficie de cambio), (ii) del suelo agrícola al

forestal (293,18 km²), y (iii) del suelo forestal al agrícola (186,43 km²). Los mapas de usos del suelo obtenidos tras la reclasificación efectuada se encuentran en el apartado correspondiente a los Resultados y discusión del trabajo, concretamente en la Figura 3 de la sección 4.1.

Tabla 1. Nomenclatura de las diferentes coberturas del suelo del CLC y reclasificación

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	Reclasificación
1 SUPERFICIES ARTIFICIALES	1.1 Tejido urbano	1.1.1 Tejido urbano continuo 1.1.2 Tejido urbano discontinuo	Urbano
	1.2 Zonas industriales, comerciales y de transportes	1.2.1. Zonas industriales o comerciales 1.2.2. Redes viaarias, ferroviarias y terrenos asociados 1.2.3. Zonas portuarias 1.2.4. Aeropuertos	
	1.3 Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción	1.3.1. Zonas de extracción minera 1.3.2. Escombreras y vertederos 1.3.3. Zonas en construcción	
	1.4 Zonas verdes artificiales, no agrícolas	1.4.1. Zonas verdes urbanas 1.4.2. Instalaciones deportivas y recreativas	
2 ZONAS AGRÍCOLAS	2.1 Tierras de labor	2.1.1. Tierras de labor en secano 2.1.2. Terrenos regados permanentemente 2.1.3. Arrozales	Agrícola
	2.2 Cultivos permanentes	2.2.1. Viñedos 2.2.2. Frutales 2.2.3. Olivares	
	2.3 Praderas	2.3.1. Praderas	
	2.4 Zonas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes 2.4.2. Mosaico de cultivos 2.4.3. Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural 2.4.4. Sistemas agroforestales	
3 ZONAS FORESTALES CON VEGETACIÓN NATURAL Y ESPACIOS ABIERTOS	3.1 Bosques	3.1.1. Bosques de frondosas 3.1.2. Bosques de coníferas 3.1.3. Bosque mixto	Forestal
	3.2 Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea	3.2.1. Pastizales naturales 3.2.2. Landas y matorrales 3.2.3. Vegetación esclerófila 3.2.4. Matorral boscoso de transición	
	3.3 Espacios abiertos con poca o sin vegetación	3.3.1 Playas, dunas y arenales 3.3.2 Roquedo 3.3.3 Espacios con vegetación escasa 3.3.4 Zonas quemadas 3.3.5 Glaciares y nieves permanentes	
	4.1 Zonas húmedas continentales 4.2 Zonas húmedas litorales	4.1.1 Humedales y zonas pantanosas 4.1.2 Turberas 4.2.1 Marismas 4.2.2 Salinas 4.2.3 Zonas llanas intermareales	Otros
5 SUPERFICIES DE AGUA	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Cursos de agua 5.1.2 Láminas de agua	
	5.2 Aguas marinas	5.2.1. Lagunas costeras 5.2.2 Estuarios 5.2.3 Mares y océanos	

3.2. Elaboración de los modelos de regresión para la comprensión de los factores explicativos

Una vez identificadas y caracterizadas las principales transiciones, se procede al ajuste de los modelos de regresión logística con los que se obtendrán los coeficientes de regresión, en aras de identificar qué factores geográficos o territoriales influyen de mayor manera -directa o inversamente proporcional- en las distintas transiciones observadas. Así pues, en los modelos de regresión, con cada transición se construirá una variable independiente binaria (1-cambio, 0-persistencia), mientras que los factores geográficos o territoriales actuarán como variables independientes/factores explicativos.

Se ha llevado a cabo la búsqueda y caracterización de un conjunto de posibles variables explicativas con las que desarrollar modelos de regresión que sirvan, a su vez, para la creación de modelos predictivos en base a posibles escenarios futuros. Dichas variables serán también empleadas por Dyna-CLUE ([Conversion of Land Use and its Effects modelling framework o modelización de la Conversión del Uso del Suelo y sus Efectos]; ver sección 3.3.2.) con la finalidad de elaborar las simulaciones de usos

del suelo proyectados para las próximas décadas. Como criterio de selección se han determinado factores relacionados con el medio físico, el ámbito socioeconómico y el demográfico, pues su influencia en la dinámica de la ocupación del suelo es evidente. Por ejemplo, en uno de los trabajos citados en la sección 1.2. se emplean la elevación, pendiente y geología del terreno, la precipitación media anual, la radiación solar media, las carreteras urbanas, las paradas de bus, las líneas de tren, las áreas verdes o la población total (Domingo, Palka y Hersperger, 2021).

En este trabajo, las variables explicativas se han escogido por su relación con la complejidad del terreno (altitud, pendiente, orientación y curvatura), la ocupación del territorio en términos demográficos (densidad de población), la expansión urbana y accesibilidad a partir de los límites urbanos (distancia a núcleos de población) y de las vías de transporte o ejes de comunicación (distancia a carreteras), el desarrollo industrial (distancia a instalaciones industriales), la accesibilidad en el ámbito rural o forestal (distancia a caminos y sendas), la concentración parcelaria en función de la rentabilidad económica (tamaño promedio de las parcelas), la capacidad de riego de cultivos (distancia a embalses) y algunas otras características climáticas tales como la temperatura y la precipitación. Estas variables se han desarrollado utilizando un modelo de datos ráster (como requiere el algoritmo de simulación Dyna-CLUE). La resolución espacial implementada ha sido de 250x250 metros, partiendo de la consideración de que en el CLC la unidad mínima cartografiable es de 25 ha, que corresponde con la superficie cubierta por 4 píxeles de la resolución establecida.

3.2.1. Obtención de datos geográficos y selección de variables explicativas

A continuación, se presentan las fuentes de datos geográficos utilizadas y los geoprocesos necesarios para generar los modelos de datos ráster correspondientes a las variables independientes. La distribución espacial de los factores de localización o explicativos se presenta en una serie cartográfica recogida en el Anexo I (Figuras 15-28).

La «Complejidad del terreno», es una característica intrínseca del medio físico vinculada a los propios rasgos geomorfológicos del relieve. Así pues, para la obtención de las capas de información vinculadas a esta variable explicativa, se ha descargado la información perteneciente al MDT25 presente en el CNIG y se ha acotado para el territorio perteneciente a la provincia de Valladolid, obteniéndose el modelo digital de elevaciones a partir del cual se han generado, a su vez, los modelos o mapas de pendientes, de orientación y de curvatura. Para esta variable explicativa, se han incluido cuatro factores distintos: la altitud del terreno a partir de un modelo digital de elevaciones (Instituto Geográfico Nacional, 2010) y, derivados de este, la pendiente (inclinación del terreno o variación de la altura entre dos puntos del territorio en relación a la distancia que los separa medida en %), la orientación (azimut hacia el que mira el plano tangente en cada punto del mapa) y la curvatura (tasa de cambio de la pendiente en su entorno o concavidad-convexidad del entorno). Se entiende que una mayor altitud podría repercutir negativamente en el desarrollo agrícola debido a la existencia de unas características climáticas más severas, mientras que la pendiente determina la facilidad o dificultad de ocupar o urbanizar un territorio y de asentarse en él (mayores pendientes implicarán espacios menos accesibles y más difíciles de urbanizar, con los problemas de asentamiento que ello conllevaría). La pendiente, además, suele influir en la concentración parcelaria, de manera que esta será más intensa en espacios llanos de campos abiertos que en zonas montañosas o inclinadas. Por otra parte, la orientación constituye un indicador de luminosidad, lo cual podría traducirse en una mayor o menor productividad de los cultivos (Bullón, 1984). Finalmente, la curvatura del terreno distinguiría entre espacios más llanos - convexos- frente a otros más inclinados -cóncavos-, siendo los primeros (por ejemplo, un fondo de valle) más fácilmente roturables de cara a la iniciación de nuevos cultivos o repoblaciones forestales, mientras que los segundos (por ejemplo, un pico) precisarían de un previo proceso de aterrazamiento que hiciera posible la preparación del terreno para el cultivo o la repoblación, el aumento de la capacidad de

retención de agua, la reducción de la escorrentía y el favorecimiento del crecimiento de las plantas (Vidal-Macua et al., 2018) (Quiroga et al., 2020).

La «ocupación demográfica del territorio», se ha extrapolado en términos de densidad de población, con un grado de agregación municipal, ya que no se ha dispuesto de datos con una mayor precisión espacial. La utilidad de esta información radica en la relación directa que existe entre los usos del suelo y la o las principales actividades económicas, cuyo tipo y desarrollo es diferente dependiendo de si tiene lugar en el medio urbano (altas densidades) o rural (bajas densidades de población). En todo caso, es natural que exista correlación entre el uso urbano y una elevada densidad de este tipo, frente a los usos agrícola y forestal, que tienden a desarrollarse en espacios rurales donde la densidad de población es mucho más reducida. Así pues, se espera que la actividad urbana tienda a expandirse en aquellos lugares próximos a los núcleos de población con unos valores más elevados de este factor explicativo, y más teniendo en cuenta que el propio crecimiento de la población ha influido, como se señalará en la sección 4.1.1., en la propia estructura de la ciudad de Valladolid (Calderón y García, 2014). De esta manera, se ha partido de la información referente al padrón municipal más actualizado, del año 2021, que se encuentra disponible en la web del Instituto Nacional de Estadística o INE, y se ha obtenido la densidad de población por municipios con base espacial vectorial, que después se ha rasterizado con la resolución espacial definida al principio de la sección.

Se ha considerado la «expansión urbana» a partir de los límites urbanos y de las vías de transporte o ejes de comunicación -carreteras-, pues es a partir de ambos elementos por donde tiende a desarrollarse y crecer el tejido urbano. Así pues, el suelo de uso urbano de la ciudad de Valladolid ha tendido siempre a crecer en mancha de aceite a su alrededor, de forma concéntrica, aunque irregular, tal y como se ha indicado en la sección 4.1.1. (Molinero, 2012), motivo por el cual parece existir una clara correlación entre la expansión del suelo de uso urbano y la proximidad a los núcleos de población. Por su parte, las carreteras son infraestructuras que tienden a vertebrar el territorio colindante a las mismas, así como a mejorar su accesibilidad y comunicación (Martí y Myro, 2006), siendo natural que, en torno a ellas, se produzca la aparición y/o desarrollo de suelo urbano en las áreas periurbanas situadas en las afueras de las ciudades, o de pequeños núcleos de población, como es el caso de los denominados “pueblos de carretera”. Por todo ello, para esta variable explicativa se han tenido en cuenta ambos factores, de manera que se ha acudido a los datos de la Base Topográfica Nacional (Instituto Geográfico Nacional, 2021), también presente en el CNIG, y se ha calculado la distancia euclíadiana (distancia en línea recta entre dos puntos o a cada entidad más próxima), por un lado, a los núcleos de población, y, por otro, a las carreteras.

El «desarrollo industrial», aunque se encuentra mucho más restringido y limitado, siempre puede dar pie a futuras expansiones derivadas de posibles ampliaciones de polígonos industriales o instalaciones similares, bien se encuentren ubicados en el interior o en las afueras de las ciudades -como puedan ser los mencionados en la sección 4.1.1.-, o bien, como es cada vez más habitual, en zonas colindantes a pequeños núcleos rurales (Santa Eufemia, 2016). Se espera que una mayor proximidad a las zonas industriales favorezca la transición hacia usos urbanos. De esta manera, se ha accedido a la Base Topográfica Nacional (Instituto Geográfico Nacional, 2021), seleccionando todas aquellas instalaciones industriales reconocidas en ella como tal, y se ha calculado nuevamente la distancia euclíadiana con respecto a las mismas para todo el territorio correspondiente a la provincia de Valladolid.

Se ha determinado la «accesibilidad en el ámbito rural o forestal» en base a las sendas y caminos existentes, los cuales favorecen la accesibilidad tanto a zonas de uso agrícola como forestal, pudiendo contribuir a su cuidado y mantenimiento -actividades agrícolas y ganaderas, ordenación de montes, limpieza de residuos y de aguas, conservación y gestión de medios naturales de interés ecológico, promoción de espacios turísticos...-. Así pues, se ha seguido el mismo procedimiento que con las previas variables explicativas, obteniéndose en formato ráster la distancia euclíadiana existente a los caminos y sendas registrados en la Base Topográfica Nacional (Instituto Geográfico Nacional, 2021) para la provincia de Valladolid.

También se ha dado importancia a la «concentración parcelaria» -procedimiento administrativo promovido por las Administraciones Públicas o propietarios de fincas cuya función consiste en la rentabilización de las explotaciones agrarias existentes- en función de la rentabilidad económica (Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, 2022), ya que esta puede y suele encontrarse directamente relacionada con el tamaño de las parcelas. Esto se debe a que es común que se tiendan a abandonar antes las parcelas más pequeñas que las grandes, ya que, por regla general, con el incremento del tamaño de una explotación se optimizan los recursos de esta, lo que permite una mayor racionalización del capital, de los utensilios y de la fuerza de trabajo. Por todo ello, se ha tratado de obtener un mapa de superficie en densidad con el tamaño promedio de las parcelas, con objeto de tener en consideración qué espacios presentan una mayor densidad de parcelas grandes, y cuáles una mayor densidad de parcelas pequeñas y que, por tanto, presentan mayores probabilidades de abandonarse y sufrir un cambio o transición en su uso del suelo. Así pues, se ha procedido a la descarga de datos geográficos del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas [SIGPAC] correspondiente al Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León [ITACyL] (Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, 2022) y, para la provincia de Valladolid y a partir de la información vinculada a la superficie de las parcelas -en metros cuadrados-, se ha calculado la densidad kernel (densidad en la cual se aplica un mayor peso a los datos más próximos al centro de la vecindad aplicada y que disminuye a medida que aumenta la distancia a este) con respecto a las mismas.

Además, se ha tenido en consideración la «capacidad de riego» referente a los cultivos en función de los embalses disponibles para alcanzar tal fin, y para lo cual se ha hecho hincapié, por un lado, en la proximidad a estos y, por otro, a la elevación o cota a la que se encuentran, debido a que todos aquellos cultivos que se encuentren a mayor altitud que el embalse disponible más cercano no serán, en la mayoría de los casos, destinados al regadío, pues el bombeo de agua hacia ellos supondría un esfuerzo mucho mayor. De esta manera, la obtención de esta variable explicativa tendrá en cuenta toda aquella superficie agrícola que podrá o no ser beneficiada por el agua del embalse más próximo y que, por lo tanto, tendría la posibilidad de destinarse como regadío, pero partiendo de dos factores, la distancia y la elevación o nivel de cota. Para ello, se han descargado los datos geográficos correspondientes a los embalses ubicados en la provincia de Valladolid, disponibles en la Base Topográfica Nacional (Instituto Geográfico Nacional, 2021), y se ha procedido a la realización de dos geoprocessos distintos. Así, para el factor distancia o proximidad a los embalses se ha calculado la distancia euclíadiana con respecto a los mismos, mientras que, para el relativo a la elevación de estos con respecto a toda la superficie agrícola, se ha llevado a cabo una asignación euclíadiana (de forma que cada píxel recibe el valor del identificador de la celda objetivo más próxima, que será el embalse correspondiente), se ha restado la cota de cada embalse de la elevación de todos aquellos píxeles más próximos a él, y, de este modo, todos aquellos píxeles con valores positivos no serán aptos para recibir agua de los embalses por bombeo para regadío, pues el embalse se encontrará a menor altitud que los mismos, mientras que aquellos con valores negativos sí serán aptos, siendo más propicios aquellos cultivos que se encuentren más próximos a cada embalse en cuestión.

Por último, se ha atendido a las «características climáticas» correspondientes a los datos de temperatura media anual y precipitación total anual para la provincia de Valladolid, para una serie temporal de 1990 a 2018. Ambas variables son esenciales para explicar la distribución de usos del suelo relativa a las categorías forestal y particularmente agrícola, pues es posible que, en función de la temperatura y de la precipitación, sean más o menos comunes unos u otros tipos de cultivo debido a las distintas características fenológicas de cada uno de ellos. Para ello se ha accedido al almacén de datos climáticos del Copernicus (Copernicus Climate Data Store, 2022), consistente en información continua a 9 km a escala planetaria.

Otros factores no considerados han sido la distancia a los cursos fluviales, pues no es ni mucho menos tan significativa como la que hace referencia a los embalses en cuanto a la distribución y transición del suelo agrícola se refiere; la latitud, longitud y distancia al mar, pues carecen de suficiente

importancia al no estarse trabajando en un área de estudio lo suficientemente extensa, y dada la escasa entidad del medio físico, poco contrastado en términos geomorfológicos; la velocidad del viento, la oscilación térmica y la geología y erosión, no especialmente relevantes en la distribución y dinamismo de los usos del suelo en la provincia de Valladolid; la rugosidad del terreno y la radiación, puesto que ya se cuenta en su lugar con los factores curvatura y orientación, respectivamente; y la titularidad de los montes, la cual podría ayudar a prever y proyectar escenarios futuros más concretos y significativos, pero de la cual no se ha encontrado información de referencia.

3.2.2. Ajuste de modelos de regresión para las principales transiciones

Los modelos explicativos de la dinámica de ocupación observada se han desarrollado mediante regresión logística binaria, una técnica que permite modelar la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno (el cambio en la ocupación en este caso). El ajuste de los modelos de regresión para cada una de las tres transiciones seleccionadas se ha llevado a cabo mediante un muestreo estratificado para extraer una muestra equilibrada de los valores de la variable dependiente (1-cambio, 0-persistencia). Este consiste en un muestreo probabilístico estructural que, en lugar de ser completamente aleatorio, se basa en el uso de un factor de agrupación. En este caso, se ha agrupado en función de la variable binaria, seleccionando el mismo número de observaciones (pixeles categorizados como 1s y 0s). Así pues, tras proceder a igualar en número la cuantía aritmética de esta variable en dicho muestreo, con objeto de evitar desajustes en el modelo de regresión, se ha dado lugar a la ejecución del mismo, teniendo en cuenta que en el cual la variable dependiente será siempre la transición en cuestión, mientras que las variables independientes estarán constituidas por cada uno de los factores explicativos previamente generados (la elevación, la densidad de población, la temperatura media anual, etc.). Para evitar el posible efecto de la autocorrelación espacial, se ha extraído una muestra aleatoria del 25% en cada variable dependiente (es decir, para cada modelo de transición).

Se ha analizado la correlación (coeficientes R de Pearson y Rho de Spearman) existente entre todas las variables independientes para evitar posibles efectos de multicolinealidad (la regresión logística requiere de variables linealmente independientes). Tan solo se ha obtenido correlación significativa ($P<0,05$) entre la temperatura y la precipitación media anual. No obstante, dado que el número total de variables dependientes no es particularmente elocuente, y que solamente se dispone de estas dos variables climáticas, se ha optado por no descartar ninguna de ellas en la elaboración del primer modelo nulo (aquel que considera todas las variables con independencia de su significancia) para cada transición. De esta manera, a partir de la inclusión de todas ellas, se podrá llevar a cabo una posterior evaluación sobre su mayor o menor conveniencia en función de los resultados obtenidos a nivel cuantitativo. Para el ajuste del modelo definitivo para cada transición se ha implementado un proceso de “pasos sucesivos hacia atrás” incorporando exclusivamente aquellas variables significativas -y que serán denominadas con el nombre de variables candidatas- en función del valor de $Pr(>|z|)$ obtenido, el cual consiste en un estadístico que mide la probabilidad de que un valor estadístico calculado sea posible o estadísticamente fiable. Así, si el valor de $Pr(>|z|)$ es inferior a 0,05, la variable en cuestión contribuirá a explicar, en este caso, la transición en los usos del suelo que haya dado lugar, o, dicho de otro modo, tendrá la capacidad de predecir el modelo, debiéndose incluir en el mismo con objeto de evitar cualquier pérdida de información. Con la elaboración de este segundo modelo de regresión se está tratando de limitar el número de variables utilizadas en aras de simplificar el modelo sin perder la calidad del resultado final, ya que, todas aquellas que no aporten al modelo ningún dato significativamente relevante, podrían dar lugar a interferencias en las operaciones estadísticas y en los cálculos de los coeficientes de regresión (correlaciones espurias), motivo por el cual deberán ser excluidas (Rodríguez-Jaume y Mora, 2001; Dagnino, 2014). En cualquier caso, de cara a este segundo modelo de regresión se han utilizado siempre, como mínimo, cuatro variables dependientes -siempre las más significativas-, ya

que un número menor de las mismas supondría el uso de insuficiente información como para obtener unos coeficientes de regresión mínimamente robustos o estadísticamente fiables.

De cada modelo se han extraído, para su interpretación, los coeficientes de regresión de las variables candidatas. Esto permite comprender bajo qué condiciones se han producido las transiciones. De manera general, si dichos coeficientes poseen un valor positivo, significa que la variable en cuestión es directamente proporcional al fenómeno, es decir, que contribuirá al aumento de la probabilidad de que dé lugar dicha transición, mientras que, si por el contrario este es negativo, la relación entre la variable y la transición será inversamente proporcional, o lo que es lo mismo, contribuirá a una disminución de dicha probabilidad (Rodríguez-Jaume y Mora, 2001). Los coeficientes de regresión como tales se detallan, para cada una de las tres transiciones definidas, en la sección 4.2. Además, es importante recalcar que dichos coeficientes serán utilizados directamente en la simulación de escenarios futuros mediante modelos predictivos en base a Dyna-CLUE, como se detalla más adelante. Por otra parte, también se ha reportado el valor del parámetro AIC (Información de Akaike), cuya función consiste en medir la calidad relativa de un modelo estadístico para un conjunto de datos, o lo que es lo mismo, la estimación relativa concerniente a la información perdida en él.

3.3. Simulación de cambios en la ocupación sobre escenarios futuros mediante el modelo Dyna-CLUE

Una vez seleccionadas las principales transiciones y ajustados los modelos de regresión para cada una de ellas, la última etapa del proceso pasa por la simulación de los posibles cambios de uso del suelo utilizando el modelo Dyna-CLUE. Se procede por tanto a simular a futuro diferentes escenarios de cambio que serán previamente determinados. Dichos escenarios, definidos completamente por el usuario, se han basado en políticas territoriales que se encuentran inspiradas en los ODS integrados en el marco de la Agenda 2030. De esta manera, las simulaciones fluctúan en función de las características intrínsecas de cada escenario, todos ellos específicos y deliberadamente dispares entre sí, con objeto de analizar trayectorias de cambio contrastadas.

Así, se han definido cuatro escenarios en función de la previa elección de algunas coyunturas, con objeto de advertir diferencias notorias en las distintas simulaciones o proyecciones al futuro de los usos del suelo en la provincia de Valladolid. Cabe destacar que son muchos los escenarios diferentes que podrían definirse, dependiendo estos a su vez del número de usos o coberturas del suelo involucrados. En este trabajo se pretende evidenciar las capacidades del proceso de simulación a partir de cuatro ejemplos claros e ilustrativos a modo de dechado. El proceso seguido por Dyna-CLUE se basa en la “demanda” anual prevista de usos del suelo en términos de superficie en el área de estudio. Para cada escenario, se obtendrá año a año una predicción sobre la distribución de los usos del suelo dependiendo de este y de los parámetros definidos (transiciones más probables, restricciones espaciales al cambio, etc.), así como de los coeficientes de regresión obtenidos con anterioridad, que rigen la probabilidad de cambio a nivel espacial, es decir, bajo diversas alternativas de transición, cuál es más probable que se dé en función de las características del territorio. Cabe resaltar que serán objeto de estudio el año 2030, con motivo de los recientes Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, creados por el organismo de Naciones Unidas, y el año 2050. No obstante, se dispone de resultados de la simulación en todos los años intermedios.

Dado que en todas las simulaciones realizadas se han diferenciado únicamente los usos del suelo urbano, agrícola, forestal y otros, conviene aclarar que, en esta ocasión en particular, el urbano hará referencia a una cobertura de uso que integrará tanto zonas de carácter residencial y recreativo, como también de índole industrial. Por otra parte, el uso denominado como otros engloba al resto del territorio que no se encuentra en ninguna de las categorías previas, como pueda ser, por ejemplo, el referente a

coberturas de agua. Esta última categoría, al no formar parte del objeto de estudio de este trabajo, no se encontrará sujeta a cambios y permanecerá inmutable en las distintas proyecciones al futuro.

Cabe mencionar que, si bien resulta evidente la dificultad de elaborar predicciones al futuro y de que estas sean mínimamente precisas (no porque se efectúen necesariamente de manera errónea, sino dada la imposibilidad de tener ni mucho menos en cuenta la multitud de variables y factores que influyen en los distintos procesos territoriales -sean de índole política, socioeconómica, demográfica, climática, o ambiental, entre otras, o por causas coyunturales, como la crisis sanitaria de la COVID-19 o la reciente crisis energética originada por la guerra entre Rusia y Ucrania-), sí se obtendrá, pese a todo, una aproximación a la forma en que el territorio se verá transformado si se mantienen las mismas dinámicas de cambio que se han obtenido a partir del trabajo de investigación y de los modelos de regresión que han sido realizados. De esta manera, se facilitará la labor de columbrar cuáles son las posibles transformaciones territoriales a las que podrían dar lugar dichos procesos y dinámicas analizadas, posibilitando una mayor capacidad de anticipación y de actuación o puesta en marcha de medidas vinculadas a la ordenación del territorio, en aras de favorecer o mejorar la toma de decisiones con respecto a la misma y de obtener como resultado una mayor planificación con fines orientados a la prospectiva territorial.

3.3.1. Definición de escenarios en base a políticas territoriales para la simulación

El «primer escenario» hace referencia a la variación que daría lugar en los usos del suelo si se apostase por la adopción de una serie de medidas de carácter territorial relacionadas con la contención de la expansión urbana vinculada, particularmente, a la capital y a las áreas periurbanas con mayor densidad de población. Éste representa una realidad en la que se llevarían a cabo, a partir de las políticas territoriales correspondientes, labores de contención de la expansión urbana -residencial, recreativa e industrial- vinculada, en particular, a la ciudad y a las áreas periurbanas con mayor número de habitantes y densidad de población, en aras de apostar por un crecimiento ordenado de la ciudad, de frenar en la medida de lo posible el continuo proceso de urbanización, y en busca de un mayor equilibrio en la dinámica de cambio del territorio. Este supuesto escenario se encuentra inspirado en el objetivo nº11 de los ODS de la Agenda 2030, “Ciudades y comunidades sostenibles”, fundamentado en la necesaria reducción de las emisiones de carbono y del consumo de recursos, así como en las actuales consecuencias referentes al acelerado fenómeno de urbanización, entre ellas, el creciente número de habitantes en barrios pobres o de infraestructuras y servicios inadecuados y saturados (recogida de residuos, sistemas de agua y saneamiento, carreteras y transporte), lo cual contribuye a empeorar la contaminación del aire y el crecimiento urbano incontrolado (Naciones Unidas, 2014).

El «segundo escenario» se encuentra relacionado con la adopción de medidas políticas y/o territoriales relativas a la intensificación de la actividad agrícola y al incremento de actividades destinadas a la plantación de nuevos cultivos, verbigracia, mediante la puesta en marcha de numerosas campañas agrícolas, bien a favor del autoabastecimiento de la población local o, particularmente, de la exportación de productos alimenticios, con objeto de impulsar la productividad agrícola y la producción alimentaria sostenible en aras de cumplir con el objetivo nº2 de los ODS, “Hambre cero”, de cara a contribuir al refuerzo de la seguridad alimentaria en países subdesarrollados. Esto se debe, principalmente, a que dadas las tendencias recientes, el número de personas afectadas por el hambre a nivel mundial ascenderá a más de 840 millones para el año 2030, lo que, sumado a todos aquellos conflictos causados por el ser humano, el cambio climático, las recesiones económicas, la pandemia de COVID-19, y ahora también la guerra de Ucrania, provoca que sea realmente necesario efectuar un cambio profundo en el sistema agroalimentario mundial con objeto de alimentar a los más de 820 millones de personas que padecen hambre en la actualidad y a los 2000 millones de personas más que vivirán en el planeta en el año 2050. Por todo ello, el incremento de la productividad agrícola y la

producción alimentaria sostenible son decisivos a la hora de ayudar a mitigar los riesgos consecuentes del hambre (Naciones Unidas, 2014).

El «tercer escenario» ilustra los efectos de la intensificación en las labores de reforestación con objetivos medioambientales o encaminados a reducir la erosión en tierras agrícolas abandonadas (si bien, como se mencionará más adelante [sección 4.1.2.], esta no es tan preocupante en la provincia). Se vincula, por tanto, a la aceptación y desarrollo de políticas y planes territoriales cuya apuesta se encuentre orientada a la intensificación de las labores de reforestación, esto es, de plantación masiva de vegetación arbórea en superficies forestales deforestadas o en antiguas tierras agrícolas o de pastizal que han sido abandonadas y carecen de cualquier tipo de funcionalidad. Este escenario se encuentra encaminado a la persecución de los objetivos nº13 -“Acción por el clima”- y nº15 -“Vida de ecosistemas terrestres”- de los ODS. Estos consisten, respectivamente, en la adopción de medidas urgentes para combatir los efectos del cambio climático en el actual contexto de emergencia climática en el que nos encontramos, a partir de la creación de sumideros de carbono destinados a reducir los niveles de dióxido de carbono y de otros gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera; y en la gestión sostenible de los bosques, en aras de frenar e invertir la desertificación, la degradación de las tierras como consecuencia de procesos erosivos, y la pérdida de biodiversidad, siendo necesario, para ello, la recuperación y creación de nuevos ecosistemas en el Marco de la Década para la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030), y favorecer la biodiversidad en el Marco mundial de diversidad biológica posterior a 2020 (Naciones Unidas, 2014). Cabe añadir, con respecto al cambio climático antrópico, la acuciante necesidad de reducir la contaminación atmosférica, entre otras posibilidades, mediante el incremento de bosques cuyo papel es sustancial en la captura de dióxido de carbono y que por tanto puedan contribuir a mejorar la calidad del aire y, con ella, del ser humano, dado que cada vez es más frecuente en la actualidad la relación existente entre la polución del aire y del agua y el aumento de la deforestación, las sequías, las enfermedades pulmonares, gastrointestinales y oncológicas, e incluso la aparición de nuevas pandemias. Ejemplo de esto último es que, a escala global -y mayoritariamente en el África Subsahariana, China y la India-, la deforestación de terrenos llevada a cabo para dar paso al asentamiento de granjas industriales y de cultivos a gran escala está dejando a muchas especies a la intemperie y, las últimas pandemias, como la del ébola o el coronavirus, son zoonosis resultado de dicha desertificación, que hace que el hábitat natural de los animales desaparezca y estos se desplacen a las zonas urbanas. Así pues, en definitiva, las consecuencias de la crisis climática están repercutiendo en la atmósfera y, a su vez, en la salud humana (Paniagua, 2022).

Por último, el «cuarto escenario» muestra un ejemplo paradigmático de cuál sería el resultado si, a modo de distopía, no se impusieran apenas límites ni regulaciones en la expansión del suelo urbano y periurbano y, al mismo tiempo, se abandonaran de forma masiva gran cantidad de tierras agrícolas por la caída de su rentabilidad como consecuencia de una hipotética crisis económica de gran envergadura. La finalidad consiste en reflejar la forma en que podrían evolucionar los usos del suelo en la provincia si no se adoptara ningún tipo de medida de ordenación y gestión territorial, ni tampoco de índole medioambiental. Así pues, en dicho escenario se considerará que el crecimiento del suelo urbano y periurbano será llevado a cabo sin apenas restricciones ni limitaciones más allá de las imprescindibles, y, peor aún, se simulará que el abandono agrícola será extremo y desproporcionado para todos aquellos cultivos cuya rentabilidad pase a ser insuficiente, lo cual no es para nada esperable. Por ejemplo, todo ello podría dar lugar en una futura realidad distópica en la que dé lugar una crisis económica de tal entidad que limite la actividad humana únicamente a aquellos sectores con una productividad muy elevada, de manera que, aunque se expandiese el suelo urbano por gran parte del medio rural, se estaría manifestando también dicho abandono agrícola, reemplazado tal vez por una inversión significativa en la producción de energía eléctrica, eólica o fotovoltaica -muy presentes actualmente en la provincia en el entorno de los montes de Torozos, donde se está construyendo posiblemente el parque eólico de mayor concentración de Europa, y La Mudarra- (Taboada, 2021; Molinero y Alario, 2022) en aras de combatir una grave crisis energética como consecuencia de la guerra.

3.3.2. Presentación del modelo CLUE y su mecánica de uso

El modelo CLUE (Conversion of Land Use and its Effects modelling framework) (Vrije Universiteit Amsterdam, 2022), desarrollado por Verburg y Overmars (2009) en el Instituto de Estudios Ambientales (Institute for Environmental Studies o IVM) de la Vrije Universiteit (VU), es un modelo dinámico y espacialmente explícito sobre cambios en los usos y coberturas del suelo, siendo uno de los más utilizados a nivel mundial y con capacidad de llevar a cabo simulaciones desde la escala municipal hasta la continental. Cuenta con cuatro versiones distintas (CLUE, CLUE-s, Dyna-CLUE -la empleada en este trabajo- y CLUE-Scanner), y sus aplicaciones son variadas, destacando, entre otras, simulaciones de deforestación, degradación y/o abandono de la tierra, urbanización y evaluaciones integradas del cambio de la cobertura del suelo (Vrije Universiteit Amsterdam, 2022). El algoritmo permite simular cambios en los usos del suelo a partir de relaciones cuantificadas de manera empírica (mediante regresión logística) entre dichos usos y sus factores impulsores en combinación con la modelización dinámica de la competencia por el territorio entre sus distintos tipos. Una de las ventajas que ofrece este algoritmo es el estar fundamentado en el ámbito de las tecnologías de la información geográfica, lo cual facilita en gran medida su manejo si se cuenta con conocimientos de análisis espacial y modelado.

El algoritmo Dyna-CLUE se sustenta en la definición de una serie de escenarios cuyas características variarán en función de las diferentes coyunturas que puedan darse a cabo durante los próximos años o décadas, y de los cuales depende cada una de las transiciones que puedan suceder entre los usos del suelo involucrados. A partir de los diversos escenarios determinados, será posible establecer una comparación entre las distintas evoluciones posibles del territorio en función de las especificidades de cada uno de ellos. La extrapolación de las tendencias de cambio en los usos del suelo suele apoyarse en las transiciones observadas en el pasado inmediato al futuro próximo, lo cual es una técnica habitual a la hora de calcular las necesidades que puedan existir de dichos usos del suelo (Verburg, 2010). No obstante, en este trabajo se han simulado los escenarios descritos en el apartado anterior. El proceso seguido por Dyna-CLUE se basa en la “demanda” anual prevista de usos del suelo en términos de superficie en el área de estudio.

El algoritmo permite establecer zonas en las que los cambios de usos del suelo se encuentren restringidos por políticas espaciales o por el régimen de tenencia. Así pues, según cuales sean dichas restricciones de superficie, es posible indicar al programa, una vez se proporciona al mismo el área de estudio, qué zonas o espacios se encuentran sujetas bajo algún tipo de protección (por ejemplo, un parque natural o una reserva forestal donde se prohíbe la tala). Dichos espacios presentarían, por lo tanto, restricciones a la conversión del uso del suelo, de manera que en las proyecciones que se realicen al futuro este se mantendrá igual, no cambiará. Otro ejemplo lo constituiría imponer restricciones en ciertas conversiones concretas de los usos del suelo, como sería el caso de la construcción de viviendas en zonas agrícolas sujetas bajo cualquier tipo de protección que prohibiera llevar a cabo labores de edificación en las mismas (Verburg, 2010). De este modo, la complejidad del modelo se puede elevar hasta el punto en que el usuario del mismo lo considere conveniente, si bien dependerá de la escala a la que se opere y de los datos o información territorial más o menos detallada de la que se disponga.

También es posible definir la elasticidad de conversión entre usos. Esta consiste en un parámetro específico del tipo de uso del suelo que determina la dinámica temporal de la simulación, y que se encuentra relacionado con la reversibilidad de los cambios en los usos del suelo. De esta manera, se hará una distinción en este momento entre aquellos usos del suelo más estáticos, es decir, de difícil reemplazo o transición a usos distintos (bien porque se encuentren sujetos a una elevada inversión de capital o a un impacto irreversible en el medio ambiente), y entre aquellos otros más dinámicos o de fácil conversión, ya que puedan convertirse fácilmente en otros usos del suelo diferentes en el momento en que el espacio que ocupen se vuelva más adecuado para ello. Así pues, algunos ejemplos de usos del suelo estáticos podrían ser las zonas residenciales, los bosques primarios o las plantaciones de cultivos permanentes (frutales...), mientras que los usos del suelo más dinámicos se corresponderían con tierras cultivables que pudieran dar cabida al desarrollo urbano, o con espacios forestales sin gran valor que pudiesen ser

cómodamente sustituidos fruto de la expansión de tierras agrícolas (Verburg, 2010). En todo caso, son muchos y variados los factores que pueden influir en los denominados costes de conversión de cada zona o terreno, como, verbigracia, el agotamiento de los nutrientes o el valor estético, de forma que, de cara a complejizar el modelo en aras de una mayor fiabilidad del mismo, sería necesario operar a gran escala (esto es, en zonas de estudio muy reducidas) y poseer un conocimiento experto elevado o una observación detallada del comportamiento o dinámica de dichos espacios en un pasado reciente. En definitiva, mediante este parámetro, se asignará un valor entre 0 y 1 a cada uso del suelo en función de lo factible o remota que sea, respectivamente, la probabilidad de su conversión en otro uso del suelo distinto.

Se pueden parametrizar también las secuencias de conversión de los usos del suelo. Este parámetro se fundamenta en que no todos los cambios de uso de la tierra son posibles, siendo algunos, además, muy improbables (por ejemplo, un suelo destinado a tierras de cultivo no puede convertirse en bosque tropical primario). Así, muchas conversiones del uso de la tierra siguen un determinado ciclo o secuencia. Por ejemplo, el barbecho y el rebrote del bosque (matorral) suelen seguir a los cultivos migratorios o a los que son abandonados. Por este motivo, se debe siempre especificar cuáles de las conversiones que puedan dar lugar en un área de estudio son o no posibles, debiéndose indicar, para cada tipo de uso del suelo, en qué otros tipos puede convertirse este primero durante el siguiente lapso temporal. De esta manera, un bosque podrá convertirse en tierras agrícolas o pastizales, mientras que, por el contrario, es inviable obtener nuevos bosques, de carácter primario, mediante la conversión directa de tierras agrícolas o pastizales (Verburg, 2010). En todo caso, esta cuestión es especialmente relevante cuando se está trabajando con usos del suelo muy específicos, o particularmente con cubiertas del suelo, pues podría darse el caso de que no se diferencie entre bosques primarios y pastizales si únicamente se ha establecido una categoría de uso forestal, ya que esta incluiría a ambos tipos comentados. En este último caso, una secuencia de conversión posible, y muy probable, sería la del uso agrícola a forestal o urbano, mientras que, en cambio, sería muy improbable que un suelo de uso urbano pase a ser en el futuro de uso agrícola o forestal. Por último, se determinan los factores geográficos que definen la propensión al cambio y los coeficientes de regresión logística que intervienen en el cálculo de la probabilidad a nivel de píxel de la zona de estudio.

Dyna-CLUE dispone de otro conjunto de parámetros para la ejecución del modelo y que dotan en muchos casos al mismo de una flexibilidad y un enorme abanico de posibilidades en lo que respecta a las diversas configuraciones que se pueden implementar en la simulación. Algunos de estos parámetros, además de los ya comentados, son el número de usos del suelo presentes en la zona de estudio, el número de regiones, o el número total de factores explicativos o factores de localización, y en lo que respecta a aquellos que ofrecen una mayor potencialidad al programa, las variables de iteración -que determinan el criterio de convergencia del modelo-, el número de factores de localización de carácter dinámico - esto es, que transmutan durante la simulación-, las distintas especificidades en los parámetros para cada región (si hubiera más de una) o la adición de preferencias por unos factores de localización frente a otros. El algoritmo cuenta también con un módulo de análisis de vecindad en la transición basado en funciones focales que permite determinar patrones de adyacencia en el cambio. Por la no disponibilidad de tiempo y la complejidad adicional de esta funcionalidad, ésta no se ha explorado en el presente trabajo.

3.3.3. Elaboración de modelos predictivos en base a los escenarios considerados

La Tabla 2 recoge la demanda establecida para los escenarios descritos previamente, conforme a las características de estos y a la evolución de la superficie de los usos del suelo durante las tres últimas décadas. También se han definido, para la simulación de los primeros, un conjunto de zonas restringidas (Figura 2) sujetas a algún tipo de protección territorial, bien por poseer unos valores naturales singulares

(biodiversidad forestal...) o, simplemente, o por considerarse altamente improbable que su uso del suelo sea reemplazado por otro, verbigracia, los cultivos de regadío.

Tabla 2. Superficie de demanda (ha) para los distintos escenarios. Elaboración propia

Uso del suelo	Año	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Urbano	2018	19.893,75			
	2030	21.000	22.500	22.500	23.500
	2050	25.000	28.500	28.500	35.000
Agrícola	2018	637.506,25			
	2030	631.306,25	633.000	624.806,25	623.000
	2050	607.306,25	620.000	588.806,25	530.000
Forestal	2018	134.906,25			
	2030	140.000	136.806,25	145.000	145.806,25
	2050	160.000	143.806,25	175.000	227.306,25
Otros	2018				
	2030	3.356,25			
	2050				

Elaboración: Omar García, 2022

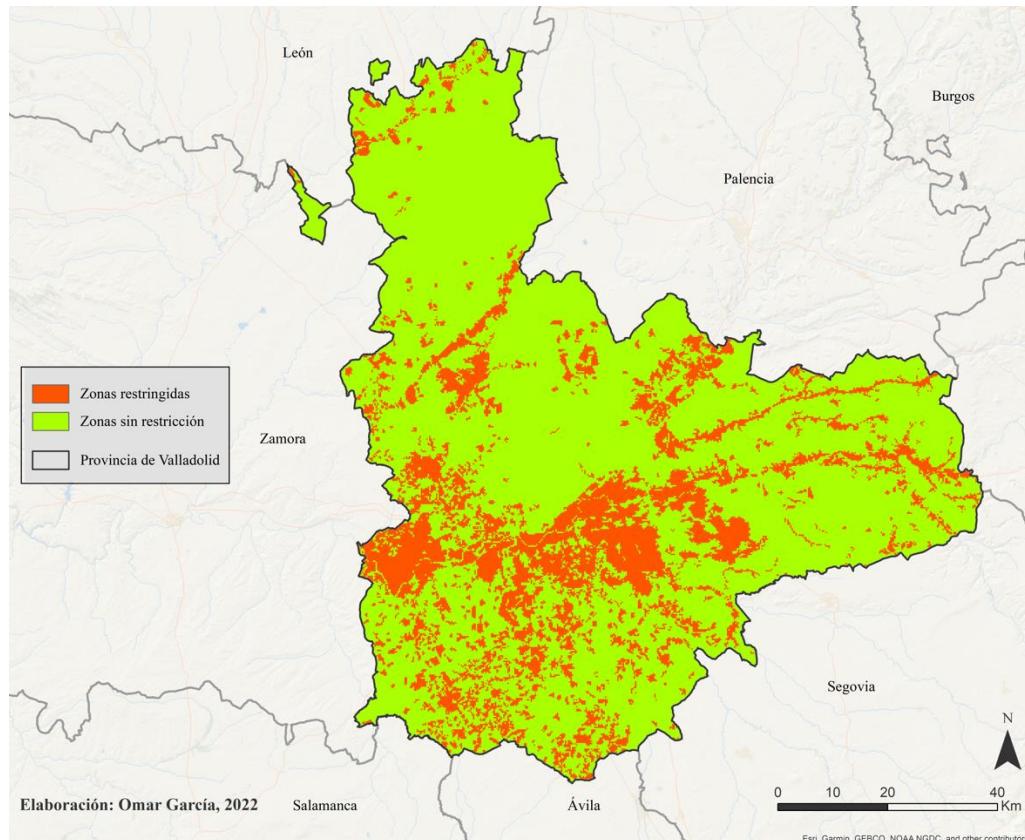


Figura 2. Restricciones de conversión aplicadas a la zona de estudio

Dichas zonas restringidas son las correspondientes al Pinar de Antequera, situado al sur de la ciudad, con motivo de sus valores naturales amparados por la Ley de Montes, y por lo cual no es previsible que se deforeste ni que cambie de uso del suelo; la Reserva Natural Riberas de Castronuño, ubicada en un tramo del río Duero en el centro oeste de la provincia, en el embalse de San José, al tratarse de un espacio natural de bosque de ribera con importantes valores ambientales y paisajísticos, así como de un ecosistema palustre que sirve de refugio y protección para las aves; el Espacio Natural

del Embalse de Bajoz, localizado en La Santa Espina (municipio de Castromonte), y que se caracteriza por pertenecer al Catálogo de Zonas Húmedas de Interés Especial de Castilla y León, así como por formar parte, con motivo de su singularidad ambiental y paisajística, de la demarcación declarada Lugar de Interés Comunitario (LIC) de los montes de Torozos-Páramos de Torquemada-Astudillo; y, por lo general, todo el entorno de la comarca de Duero-Esgueva. Finalmente, se han incluido como zonas restringidas, a su vez, las formaciones arbóreas vinculadas a la vegetación de ribera del Duero y del Pisuerga (compuesta por ejemplares de sauces, chopos, álamos, alisos, avellanos, olmos, fresnos, etc.), dadas sus características singulares de calidad ambiental y paisajística (favorecidas por las condiciones geomorfológicas), y su extraordinaria biodiversidad, así como por formar parte del dominio público; y los cultivos de regadío, frutales y viñedos, dada su alta rentabilidad en el sector agrícola y la dificultad de que puedan ser sustituidos por otros usos del suelo distintos.

En cuanto a las secuencias de conversión, se ha determinado, de acuerdo a la Tabla 3, que el suelo urbano no podrá cambiar en el futuro a ninguno de los otros usos asignados en el modelo, es decir, que no será sustituido por otro distinto, dado que es inverosímil que, por ejemplo, una zona urbanizada sea reemplazada por una plantación agrícola; el suelo agrícola podrá, si es el caso, convertirse en urbano o forestal; el suelo forestal podrá pasar a ser urbano o agrícola y, por último, el suelo calificado como “otros” se mantendrá inmutable, por cuestiones ya señaladas, por lo que este tipo de uso no pasará a formar parte de ninguno otro distinto en el futuro, y, a su vez, ningún uso del suelo podrá pasar a pertenecer tampoco a esta categoría. Eso último se debe, esencialmente, a que esta categoría no forma parte del objeto de estudio del presente trabajo, además de ser claramente despreciable en cuanto a la extensión de la misma en la provincia. Así pues, en la tabla inferior, el signo + hará referencia a que la transición entre usos del suelo es posible o altamente probable, mientras que, por el contrario, un signo – expresará que dicha transición resulta sumamente improbable y, por ello, no dará lugar en las simulaciones.

Tabla 3. Secuencias de conversión asignadas en Dyna-CLUE

Uso presente ↓ / uso futuro →	Urbano	Agrícola	Forestal	Otros
Urbano	+	-	-	-
Agrícola	+	+	+	-
Forestal	+	+	+	-
Otros	-	-	-	+

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se procede a la exposición de los resultados obtenidos, así como a su interpretación, a modo de discusión, en aras de esclarecer los principales hallazgos vinculados a los objetivos propuestos. Para ello, se realizará un comentario descriptivo y objetivo de dichos resultados, mientras que, seguidamente (en las secciones 4.2. y 4.3.), se acompañará a estos con una representación personal y subjetiva de los mismos. Asimismo, se pretende ilustrar algunas de las posibles mejoras que se podrían llevar a cabo si se tratara de optar por un estudio más profundo y exhaustivo en la materia, lo cual resultaría insoslayable si se tratase de abarcar un análisis territorial de un territorio más concreto y, por ende, a mayor escala de detalle.

4.1. Evolución de los principales usos del suelo de la provincia de Valladolid

Como se observa en la Figura 3, el uso agrícola es y ha sido claramente el más extendido en la provincia hasta el momento actual, pues ya desde el siglo pasado se ha ido conformando un modelo agrario tradicional, fundamentado en el consumo de mano de obra abundante, que hasta las últimas décadas no ha pasado a ser industrial y de servicios, habiendo dejado el sector agrario una profunda huella en nuestro territorio, así como en muchos otros a nivel nacional. Así, a pesar del profundo proceso, a nivel general, de desagrariación y éxodo rural, este uso del suelo continúa siendo el predominante, dada la extensa superficie que ocupa en la provincia y a la facilidad para cultivar tierras de labor en secano, las cuales, como ya se ha mencionado, no se abandonan, y además concentran, en la actualidad, la inmensa mayor parte del empleo agrario a nivel nacional (Molinero, 2022).

En el caso del uso forestal, predominan los bosques de frondosas, coníferas y mixtos, como se observaba en la Figura 1, siendo este el segundo más importante en la provincia en términos de superficie. Por otra parte, destaca también la extensión del monte bajo y pastizal, ambos incluidos dentro de la categoría de uso forestal y que, aunque su extensión superficial no es comparable al agrícola o al del bosque, sí constituye el primer uso a nivel nacional, llegando a ocupar la cuarta parte del territorio. En todo caso, el crecimiento de estas cubiertas del suelo durante las últimas décadas, a escala nacional, es resultado del abandono existente en las zonas montañosas del mundo mediterráneo y del atlántico, motivo por el cual no es tan significativo en el caso de Valladolid, que carece de ellas. No obstante, en sus áreas más despobladas podría seguir dando lugar este fenómeno, debido, por ejemplo, al abandono de antiguos pastizales comunales que ya no se necesiten, y al empuje de la vegetación natural a través de la aparición de piornos y retamas. Esto no sucede en el caso de los bosques de frondosas y coníferas, puesto que, al contrario que sucede con el monte bajo y el pastizal, estos primeros no se abandonan. Finalmente, en la provincia de Valladolid se observa muy bien, entre los años 1990 y 2018, la tendencia general de la pérdida de peso del medio rural en favor de la ciudad y de los espacios más dinámicos (Molinero, 2022), como se refleja en el acelerado crecimiento del tejido urbano e industrial alrededor de la capital y de muchas cabeceras comarcales o centros rurales de primer y segundo orden.

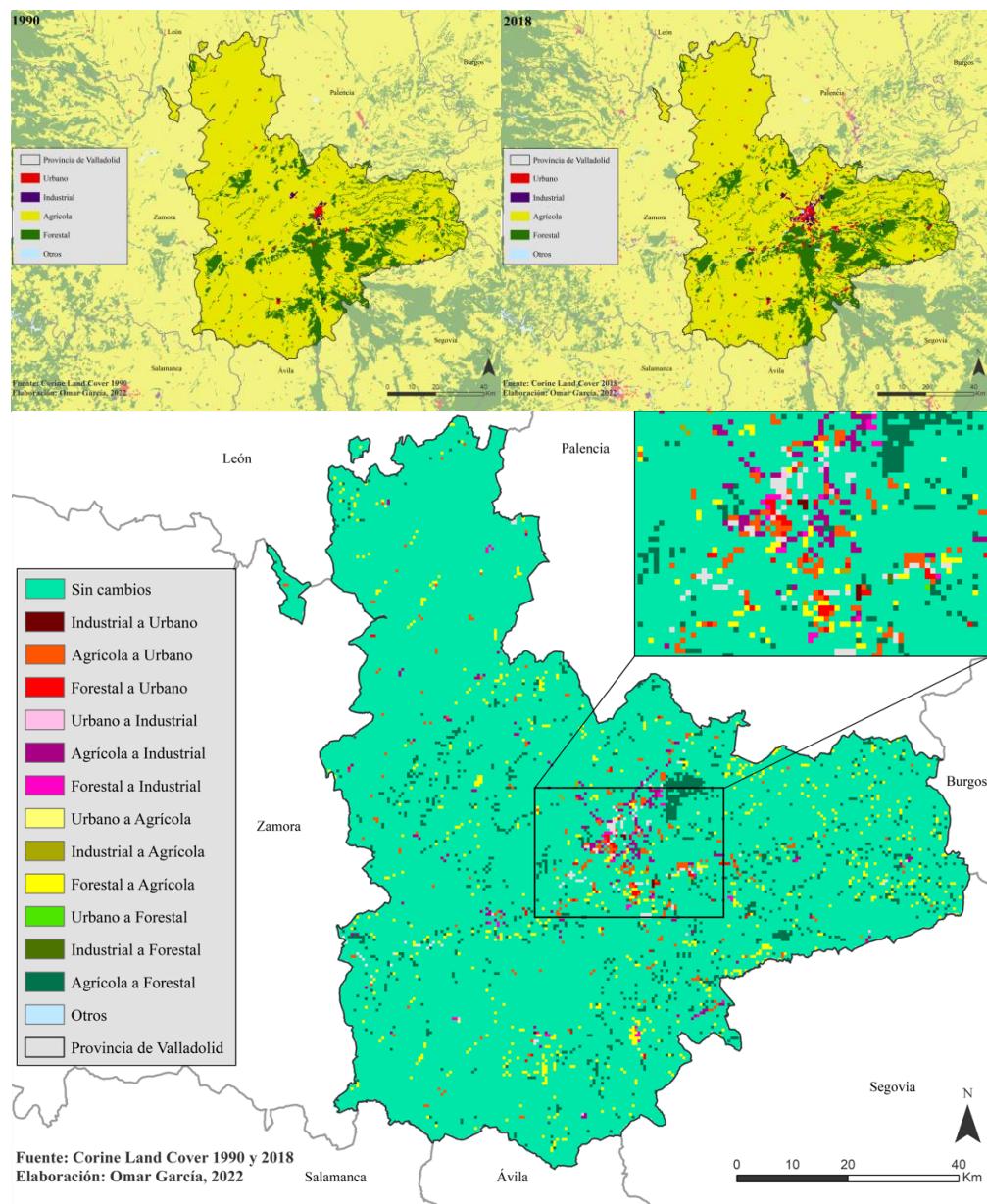


Figura 3. Arriba: principales usos del suelo en la provincia de Valladolid en 1990 y 2018. Abajo: transiciones entre usos del suelo en la provincia de Valladolid entre 1990 y 2018. Fuente: European Union, Copernicus Land Monitoring Service 2022 (EEA). Elaboración propia

A continuación, y previo paso a la interpretación geográfica de los cambios y evolución de las ocupaciones del suelo entre 1990 y 2018, se va a caracterizar, cuantitativamente, el aumento o disminución de los usos del suelo comentados, con objeto de vislumbrar cuáles han sido las alteraciones más significativas en lo que a este ámbito respecta. Así pues, la superficie registrada de cada uno de estos usos se recoge, en kilómetros cuadrados, en la siguiente tabla (Tabla 4). Teniendo en cuenta que la superficie total de la provincia de Valladolid es de aproximadamente 8109 km², y siguiendo con el hilo de los párrafos anteriores, se observa claramente (según datos del CLC) que el uso agrícola fue y continúa siendo el claro predominante, ocupando un 83% de la superficie de la provincia en el año 1990, y un 80,2% en el año 2018. Por otra parte, el uso forestal constituye el 16% del territorio en 1990, mientras que un 16,9% en 2018, y la suma de ambos usos asciende hasta llegar a un 97,1% de la provincia en la actualidad. En el caso del uso urbano, este ha pasado de ocupar un 0,5% de la superficie en 1990 a un 1,5% en 2018 y, finalmente, en lo relativo al uso industrial, su superficie era de un 0,3% para el primer año, mientras que constituye ya un 1% en el caso del segundo.

Tabla 4. Superficie de los principales usos del suelo en la provincia de Valladolid (1990 y 2018), a partir de los datos del CLC. Elaboración propia

Uso/Año	1990	2018
Urbano	41,49 km ²	118,14 km ²
Industrial	22,10 km ²	81,78 km ²
Agrícola	6737,62 km ²	6504,10 km ²
Forestal	1297,52 km ²	1370,50 km ²
Elaboración: Omar García, 2022		

Así pues, los datos recogidos reflejan, en primer lugar, un claro aumento de la superficie urbana entre los años 1990 y 2018, llegándose casi a triplicar como consecuencia del continuo proceso de urbanización y del crecimiento de las áreas periurbanas, mientras que, en el caso de la superficie de uso industrial, también ha tenido lugar un muy claro crecimiento, mayor incluso al anterior en términos relativos, debido a la fuerte industrialización en torno a la capital y a los municipios más dinámicos en términos socioeconómicos. Por otra parte, el suelo forestal también se ha acrecentado, si bien no de manera tan notable en cifras relativas, mientras que el suelo de uso agrícola, que es con diferencia el más extendido en la provincia, es el único que ha disminuido y cedido terreno a los anteriores (con el matiz de que no es el terreno labrado el que se reduce, sino los sistemas agroforestales o terrenos agrícolas que en realidad sean pastizales), motivo por el cual muchos suelos inicialmente agrícolas han pasado a formar parte de la categoría forestal, como, por ejemplo, terrenos de pastizal matorralizado, raramente desmatados con fines ganaderos (Molinero y Alario, 2022).

Finalmente, se han elaborado dos gráficos de cuerdas con el fin de sintetizar entre qué categorías se han producido las principales conversiones en la ocupación del suelo, es decir, cuáles han ganado o perdido terreno y en favor de qué otras (Figura 4). El primero de ellos hace referencia a dichas conversiones para los usos urbano, agrícola y forestal exclusivamente, mientras que el segundo comprende una mayor desagregación de los mismos, siendo estos el urbano, industrial, secano - categorías 2.1.1 y 2.2.1-, regadío -categoría 2.1.2-, forestal y otros usos. Así pues, con el fin de extraer dicha dinámica o transición del territorio, se ha construido una matriz de transición para cada caso, destinadas a establecer una comparación entre los usos del suelo de la provincia en 1990 y 2018, y a partir de las cuales se han originado los gráficos de cuerdas mencionados. No obstante, con el fin de obtener un resultado más expresivo, se han elaborado teniendo en cuenta solamente las zonas en las que se han producido un cambio de uso entre los años mencionados.

El primer gráfico de cuerdas refleja una transición más que evidente del suelo de uso agrícola al forestal, de tal manera que una gran parte de este primero en 1990 ha pasado a pertenecer, en el año 2018, a esta segunda categoría, y también, aunque en menor medida, al suelo de uso urbano. Así pues, las transiciones del suelo agrícola al forestal denotan un marcado descenso de los sistemas agroforestales, o un proceso de abandono del pastizal, en favor de procesos de reforestación. En cuanto al suelo de uso forestal de 1990, cabe destacar también que buena parte del mismo ha pasado a pertenecer a otro de uso agrícola -deforestación y aparición de nuevas zonas de cultivo-, y en menor proporción al de uso urbano -procesos de urbanización-. Así pues, el suelo de uso urbano se ha incrementado en detrimento del agrícola y del forestal y, por el contrario, apenas ha habido suelo de este uso que haya pasado a pertenecer a las otras dos categorías durante estas tres últimas décadas. Por otro lado, lo primero que llama la atención del segundo gráfico de cuerdas es, en primer lugar, la puesta en marcha de nuevos regadíos, viéndose reflejado en esa clara transición de este uso hacia otras categorías como la de secano o la forestal. En segundo lugar, es notorio también el incremento del suelo de uso forestal en detrimento del agrícola de secano, debido a las labores de reforestación a las que se hará mención más adelante, y no tanto al abandono de parcelas agrarias.

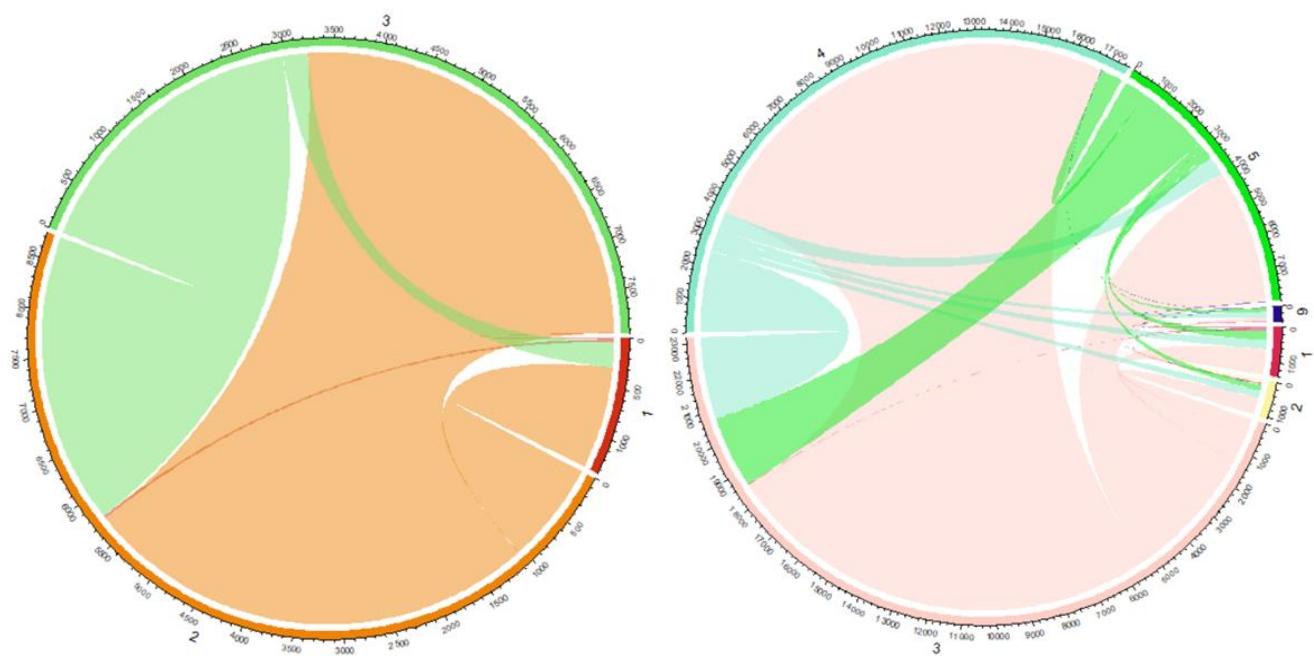


Figura 4. Izquierda: transiciones entre los principales usos del suelo de la provincia de Valladolid entre los años 1990-2018. 1-Uso urbano; 2-Uso agrícola; 3-Uso forestal. Derecha: transiciones entre usos del suelo desagregados de la provincia de Valladolid entre los años 1990-2018. 1-Uso urbano; 2-Uso industrial; 3-Superficie de secano; 4-Superficie de regadío; 5-Uso forestal; 6-Otros usos. Elaboración propia

4.1.1. Evolución del uso urbano, periurbano e industrial

Es bien sabido que, desde los años noventa del siglo XX, ha dado comienzo un proceso imparable conocido como mundialización o globalización (Molinero, 2012; Li et al., 2021). Entre sus principales consecuencias se encuentra el permanente crecimiento de las ciudades, así como la aparición y el desarrollo de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación, de manera que el fenómeno de urbanización planetaria, presente ya desde el siglo XIX, experimentó, si cabe, un crecimiento todavía más acelerado y presente aún en la actualidad (Molinero, 2012). En todo caso, este proceso no afecta solamente a las ciudades, sino que es observable también, en el caso de la provincia de Valladolid, en la aparición constante de pequeños núcleos urbanos en lo que respecta al uso del suelo, y que es claramente visible si se comparan los mapas de la Figura 3. En el caso de la capital, no obstante, el proceso de evolución experimentó, en primer lugar, una fase de aglomeración y de descentralización relativa, en la cual la periferia crece más rápidamente que el centro metropolitano y la ciudad desarrolla, afectada por este proceso de expansión, una corona de crecimiento en mancha de aceite a su alrededor. En segundo lugar, el propio término municipal de Valladolid conformó posteriormente, junto a varios de sus municipios colindantes, lo que conocemos como área metropolitana, la cual se define como una aglomeración urbana -conjunto de núcleos urbanos- que ha incorporado territorios ya existentes y que ha vinculado jurídica y administrativamente a partir de unos límites precisos. Actualmente, el área metropolitana de Valladolid (Figura 5) ocupa el sector central de la provincia y está formada, contando a la propia capital, por un total de 23 municipios, tal y como ha quedado registrado en las DOTVAENT (Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid [IUU], 1998).

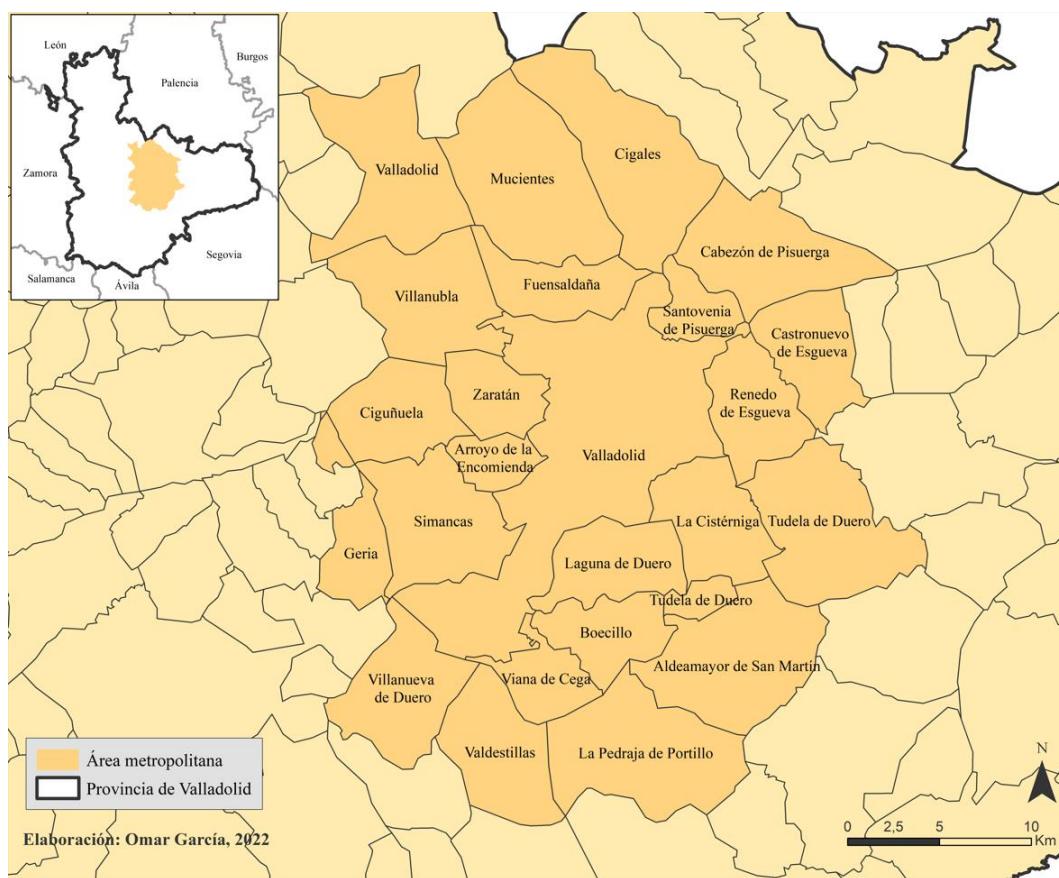


Figura 5. Área metropolitana de Valladolid. Elaboración propia a partir de los datos del IUU

Por otra parte, el crecimiento urbano de la propia capital de provincia y, por ende, del suelo clasificado como urbano, se debe a un fenómeno conocido como contraurbanización, exurbanización o periurbanización -presente ya en las grandes ciudades del mundo desarrollado desde la década de los sesenta-, de manera que el propio espacio urbano pasa de absorber población a expulsarla, motivo por el cual se conoce también a este proceso como “éxodo urbano”. Este proceso se fundamenta entonces en la aparición y el desarrollo de las áreas periurbanas, como consecuencia de la ocupación de los espacios rurales colindantes a la ciudad, y debido a la fácil accesibilidad y comunicación desde estas áreas al centro urbano, así como al menor precio del suelo y a la creciente disponibilidad familiar del automóvil. Así pues, es la ocupación de entornos periurbanos cada vez más alejados de la ciudad lo que ha permitido, tanto en Valladolid como en prácticamente la mayor parte de las ciudades, esa expansión del suelo que pasa a clasificarse como urbano -debido al cambio de su clasificación y uso, a la alta densidad demográfica o a la densificación de infraestructuras y equipamientos-, así como la reorganización de la ciudad como elemento centralizador y articulador de su entorno que da lugar, a su vez, a los *commuters* o movimientos pendulares de la población, y que en Valladolid comprenden desde unos pocos kilómetros hasta superar incluso los sesenta (Molinero, 2012). A pesar de todo, y tal y como se observa en la Figura 3, el suelo clasificado como urbano continúa albergando una entidad territorial intrascendente, a pesar de que el territorio sea predominante urbano -en contraposición con lo rural-, y cuyo ejemplo salta a la vista si se compara la gran extensión del área metropolitana de Valladolid (Figura 5) con la escasa entidad territorial, en cambio, del suelo considerado de uso urbano (Figura 3 y Tabla 4).

En todo caso, otra de las causas que han influido en la propia estructura de la ciudad de Valladolid es el gradual crecimiento de la población residente, así como la alteración del perfil funcional de la población ocupada en favor del sector servicios (Calderón y García, 2014). El elemento desencadenante es entonces el referente a los nuevos complejos terciarios -sedes parlamentarias, consejerías, museos

regionales, palacios de congresos... - asociados a la nueva administración y política regional de finales del siglo XX y principios del XXI, y en torno a los cuales se han levantado los complejos residenciales de la nueva periferia urbana (Brandis, 2007; Fernández, 2007; Bellet, 2007; citados por Calderón y García, 2014), al tiempo que han contribuido a una centralidad reforzada de la ciudad a partir de la regeneración de parte de la misma. Además, el periodo comprendido entre los años 1997 y 2001 dio lugar, como consecuencia del elevado ritmo de actividad urbanística, a un destacable incremento de la construcción de viviendas y, por tanto, a un enorme aumento de la superficie ocupada (Burriel, 2008; citado por Calderón y García, 2014). Cabe destacar que todas estas dinámicas del territorio se encuentran orientadas al aumento en la eficiencia del proceso inmobiliario, especialmente la vinculada a la construcción de nuevas viviendas, ya que el negocio inmobiliario ha derivado, esencialmente, de explotar la multiplicación que se opera en el valor de los terrenos al convertirlos en urbanizables. Así, la construcción nueva se ha visto siempre mucho más favorecida a la conservación del patrimonio construido, pues esta primera es capaz de generar una mayor plusvalía resultante de la reclasificación y recalificación de los terrenos (Fariña y Naredo, 2010; citados por Calderón y García, 2014).

Por otra parte, el hecho de que Valladolid ejerza, de facto, de capital regional (si bien aún no lo es de manera oficial), ha incidido también, como consecuencia de la nueva administración regional, en un constante despliegue competencial autonómico que ha influido en el aumento de la población activa vinculada a la administración, así como en la redistribución de la población durante las últimas décadas y, en consecuencia, en el cambio en las formas de uso de la ciudad y el área urbana, destacando la mejora de la accesibilidad y movilidad mediante la construcción de, por ejemplo, nuevas rondas, puentes o pasarelas. Todo ello, sumado a la antigua estrategia del Plan General de Ordenación Urbana de 1984 consistente en la creación de amplios espacios de uso institucional y al preferente emplazamiento oeste-suroeste de los grandes sectores de suelo urbanizable, propició una especialización sectorial del viejo y nuevo espacio urbano que situó al centro de la ciudad como el ámbito de localización preferente de la administración local, mientras la parte oeste pasó a ser el territorio escogido por las administraciones regional y nacional, debido a la proximidad y buena comunicación con el centro. Así pues, todo ello determina, en definitiva, el progresivo crecimiento del tejido urbano de la ciudad de Valladolid desde los años ochenta hasta la actualidad, dada la pérdida de población del centro histórico y los barrios tradicionales más cercanos, la consolidación del sector suroeste como ámbito de mayor expansión urbana, la disminución de la población de la capital en favor de los municipios del área urbana (especialmente los ubicados al sur y al oeste) y el incremento de la actividad inmobiliaria desde principios de siglo (Calderón y García, 2014). De esta manera, el desarrollo del suelo calificado como urbano se lleva a cabo de forma concéntrica, aunque irregular en el espacio y en el tiempo, pero fundamentada esencialmente a partir de los límites urbanos y basculada y funcionalmente especializada hacia el sur; y, en gran medida, también a partir de las vías de comunicación (Molinero, 2012).

Tal y como se ha plasmado anteriormente, otro de los crecimientos más significativos entre los años 1990 y 2018 ha sido, sin duda, el del suelo calificado como de uso industrial. En primer lugar, durante este periodo de tiempo se han creado y ampliado o prolongado numerosos polígonos industriales en los límites de la ciudad, como consecuencia, principalmente, del propio proceso de industrialización, del Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) de Valladolid del año 2003, de los Planes de Vivienda y Suelo (años 2004-2007, 2008-2011 y 2012-2015), del avance del PGOU (2012), del documento Valladolid hacia 2016, de los planes parciales industriales y de las ayudas de los Planes de Actuación Urbanística (PAU) (Ayuntamiento de Valladolid, 2012; Santa Eufemia, 2016). Algunos ejemplos son, de esta manera, la ampliación hacia el sur del polígono de San Cristóbal aprobada en el año 2000 por el PAU El Carrascal, pues dicho polígono ya se encontraba prácticamente ocupado desde 1990 por pymes del sector servicios o talleres; la construcción del nuevo Hospital Río Hortega entre los años 2000 y 2008, con motivo de dos planes parciales que propiciaron la aparición de amplios terrenos disponibles para edificios de carácter industrial; la aparición de una porción de suelo del barrio de Pinar de Jalón-

La Florida, y más concretamente junto a la avenida de Segovia -al norte de la avenida de Zamora- destinada al uso industrial, en base a la aprobación del plan parcial Pinar de Jalón, si bien su ocupación aún no ha concluido; o parte del suelo situado entre la autovía Valladolid-Segovia y la de Madrid, al sur de la Ronda Exterior, que estaba ocupado exclusivamente por la factoría de FASA-Renault hasta la aprobación, hace unos años, de un nuevo plan parcial de carácter industrial (Ayuntamiento de Valladolid, 2012).

En todo caso, son muchísimos más los casos de aprobaciones de planes parciales industriales y de ampliaciones de polígonos industriales ya existentes, si bien todo ello se puede sintetizar en que nos llevamos encontrando, desde los últimos años hasta la actualidad, ante una realidad urbanística de enorme complejidad, condicionante de las propuestas de revisión urbanística, y que, como es lógico, repercute inevitablemente en la evolución del suelo calificado como de uso industrial. Por otra parte, los espacios industriales ubicados en la ciudad de Valladolid se encuentran fundamentalmente al norte y al sureste de la misma, como se puede observar en la Figura 6.

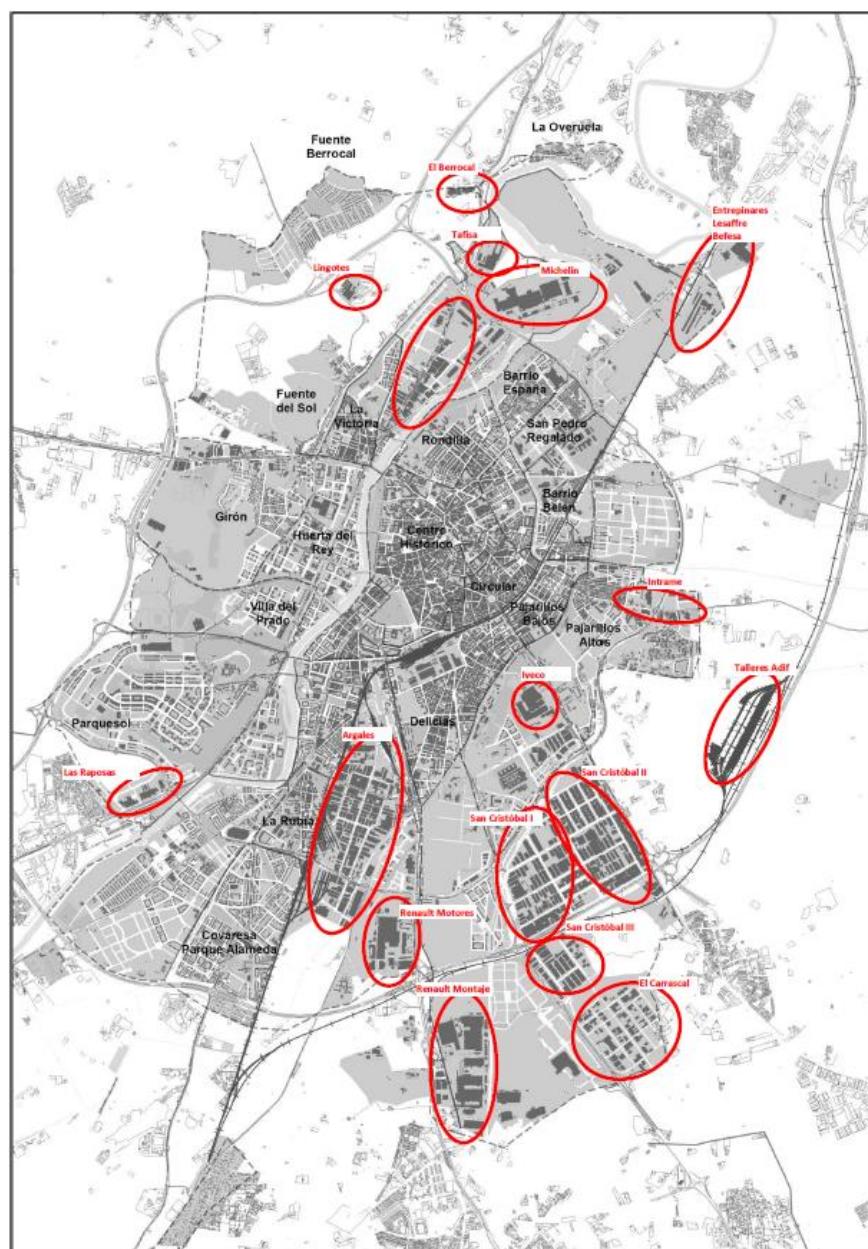


Figura 6. Principales espacios industriales de la ciudad de Valladolid. Fuente: Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Valladolid

Frente a esta realidad territorial, en las últimas décadas ha surgido la necesidad de racionalizar los polígonos industriales de la ciudad de Valladolid y de los municipios de su entorno, junto a la conveniencia de especialización de las nuevas áreas en aras de conservar e impulsar el suelo industrial. Esto se debe, además, a que en el área metropolitana aún existen áreas de suelo industrial no utilizado, debiendo prevalecer la reutilización y mantenimiento de lo ya existente frente al surgimiento de nuevos proyectos que conllevaran un mayor gasto económico. Algunas de estas áreas o espacios ya existentes son los polígonos de Argales, San Cristóbal o Carrascal, en Valladolid; el polígono El Brizo, en Aldeamayor de San Martín; el Parque Empresarial “La Encomienda”, en Arroyo de la Encomienda; el Parque Tecnológico de Boecillo, en Boecillo; La Mora, en La Cistérniga; Los Alamares, en Laguna de Duero; El Esparragal, en Santovenia de Pisuerga; o Tuduero, en Tudela de Duero. Por otro lado, algunos de los nuevos polígonos industriales son el de Jalón, el Sector Palomares o Las Raposas 2 (Saravia, 2015).

En todo caso, es importante tener en cuenta, en primer lugar, que la puesta en marcha de promociones de suelo industrial debe estar siempre contemplada en alguno de los documentos normativos de la ciudad de Valladolid, es decir, en el PGOU vigente, y, además, si dichas promociones son de iniciativa pública y municipal, las propuestas deben quedar reflejadas en los Planes de Vivienda y Suelo de dicha ciudad. En segundo lugar, cabe destacar que las diferentes promociones de suelo industrial realizadas en la ciudad, así como su localización, poseen una serie de rasgos en común y que han ido variando a lo largo del tiempo y, particularmente, con el modelo industrial dominante tanto a escala local como nacional. Así, en la ciudad de Valladolid se ha pasado del valor de localización del suelo industrial -buena comunicación a escala subprovincial o interprovincial, mano de obra...-, como uno de los factores clave en lo que respecta al desarrollo económico del asentamiento industrial, y cuyo ejemplo puede verse reflejado en las ventajas que la cercanía del ferrocarril proporcionaba al polígono de Argales, al impulso de otras formas de transporte y comunicación en detrimento del ferrocarril, entre otros muchos motivos debido a la deslocalización de los espacios industriales a lugares más alejados de las ciudades, dadas las ventajas que ofrecían, entre ellas, verbigracia, el menor precio de los suelos.

De esta manera, los espacios industriales comienzan a ser frecuentes en núcleos rurales y zonas apartadas, frecuentemente próximas a las principales vías de comunicación en aras de mantener una buena accesibilidad y favorecer las tareas de transporte. A pesar de todo, en los últimos años la coyuntura económica ha favorecido la promoción de suelo residencial en detrimento del industrial, lo que ha ocasionado que en la ciudad de Valladolid exista actualmente un cierto déficit de este último. Así pues, a día de hoy, la mayor parte de las industrias se sitúan en polígonos industriales cuyas características se alejan de los estándares de las nuevas áreas industriales (Santa Eufemia, 2016), mientras que, por otro lado, la existencia de una sobreoferta de suelo industrial en la provincia de Valladolid y la reducción de actividad de empresas industriales producida por la crisis económica de 2008 ha desembocado en la existencia, desde hace ya unos años, de múltiples espacios industriales que han quedado sin desarrollar (Pérez, 2017).

4.1.2. Evolución del uso agrícola

La provincia de Valladolid se caracteriza por una ocupación del suelo predominantemente agrícola, que es superior al 80% de la superficie -según la información extraída del CLC- pese a que haya disminuido ligeramente en las últimas tres décadas. Este hecho es común en buena parte del país y en prácticamente toda la comunidad autónoma, dado que, desde siglos pasados, y pese a los procesos generalizados de industrialización y terciarización desde principios de 1960, la actividad agraria ha sido siempre la predominante en términos de superficie, pues el territorio vallisoletano se ha dedicado tradicionalmente al aprovechamiento agrícola (Del Río y Martínez, 2010). No obstante, los efectos de

la desagrarización y del éxodo rural o migración -intraprovincial o interprovincial- de la población del campo a la capital -o bien a otras provincias o al extranjero-, desde mediados del siglo XX, han repercutido inevitablemente, a nivel socioeconómico y sobre todo demográfico, en el medio rural y en la mano de obra destinada a la agricultura, dando lugar a un proceso de abandono del campo cuyas consecuencias son claramente visibles en el incremento de los contrastes territoriales de ocupación del territorio -grandes vacíos y bajas densidades en el medio rural-, en la despoblación rural y concentración urbana, en la desestructuración demográfica -envejecimiento y masculinización de la población en las áreas rurales, caída de la natalidad y mayor mortalidad...-, en los problemas de articulación territorial y en la ausencia de oferta laboral acorde a la formación y necesidades de los jóvenes (Molinero y Alario, 2022). En definitiva, la provincia de Valladolid no ha experimentado otro proceso diferente al de una acelerada desagrarización, generalizada en todo el país, y que se fundamenta en el cambio de modelo económico y en las características ya comentadas.

Volviendo nuevamente al hecho de que el suelo de uso agrícola es claramente el predominante en la provincia de Valladolid (y en muchos otros territorios y regiones), esto se debe, y pese a los procesos y factores descritos en el párrafo anterior, a que el terreno labrado (tanto las tierras de labor en secano como las de regadío) no se abandona (a diferencia de los pastizales), lo que, sumado a la gran extensión del mismo, da lugar a que sea este uso del suelo el que constituya un mayor aprovechamiento en términos de superficie. Así pues, los terrenos cultivados tienden a mantenerse, e incluso incrementarse en muchas ocasiones, a causa de la potente maquinaria de la que disponen los agricultores y de que, a pesar de que con el tiempo sean menos en número, se encuentran cada vez más capacitados a nivel técnico (Molinero, 2022; Molinero y Alario, 2022). De esta manera, aumenta el espacio cultivado a costa del erial, si bien la ocupación del suelo referente al matorral también crece (sobre todo a partir de suelos malos o mediocres, inservibles para el cultivo -roquedo duro, fuertes pendientes, abandono y desinterés del ganadero...-) como consecuencia del abandono del pastizal, que es el que decrece (Molinero y Alario, 2022).

Por otro lado, la provincia de Valladolid destaca por la producción de productos hortícolas, destacando especialmente el cultivo de la zanahoria y el ajo, cultivándose este último en el mes de enero y recogiéndose la cosecha en los meses de verano. A su vez, es importante también la comercialización de cereales y oleaginosas, así como de la remolacha azucarera y la alfalfa (Baraja, 1995; Molinero y Alario, 2022). En lo que respecta a la principal localización de las áreas cultivadas, estas suelen encontrarse, dadas sus características geográficas, en las campiñas y fondos de valle, así como en el tramo inferior de las laderas o glacis, caracterizadas por ser extensas superficies poligénicas de escasa pendiente (normalmente inferior a 2°), inclinadas hacia el valle y cuyo origen se suele deber a antiguos procesos erosivos en la parte alta y acumulativos en la parte distal. En cambio, el páramo, por sus características edáficas, y las zonas de ladera y terrenos que por su pendiente son susceptibles de erosionarse, no son en ningún caso aptos para el cultivo agrícola (Del Río y Martínez, 2010).

Mientras tanto, si se establece una diferenciación entre las tierras de labor en secano y de regadío, es claramente perceptible el mayor dominio de las primeras. Cabe destacar que, aunque los cultivos de secano han experimentado, según datos de CLC, una disminución en su superficie, pasando de ocupar 5881 km² en 1990 a 5071 km² en 2018, no toda esta superficie tiene por qué ir destinada al aprovechamiento de los cultivos ni permanecer tampoco en activo, sino que simplemente podría encontrarse clasificada como de uso agrícola según el CLC, perteneciendo realmente a terrenos de pastizal. Los cultivos de regadío, en cambio, presentaban una superficie de 1297 km² en el primer año mencionado, y de 1218 km² en el segundo, por lo que se han reducido en mucha menor medida, si bien estos presentan posibilidades limitadas en cuanto a su desarrollo (Baraja, 1995) dada la escasa entidad de la red fluvial y la escasez hídrica propias de un clima seco como lo es el de Valladolid. Empero, si bien es cierto que toda la provincia se encuentra calificada en la categoría de terreno semiárido, según el índice de aridez utilizado por el Convenio de Lucha contra la Desertificación (Del Río y Martínez,

2010), esta cuestión merece ser especialmente matizada. Así pues, frente a la idea de desertización o disminución de la productividad de los ecosistemas terrestres por la sobreexplotación de recursos, la aridez y la sequía, expertos de la Universidad de Valladolid como Fernando Molinero no consideran que dicha afirmación, aplicada a Valladolid y Castilla y León, tenga ninguna base científica, y, como afirma este último, no existe ninguna zona en la provincia en la que pueda hablarse de desertización, sino, en todo caso, de erosión, del cual tampoco existe un riesgo excesivo, dado que los terrenos en Valladolid son muy llanos. La erosión, en tal caso, forma parte de la historia geológica y se da principalmente en las cuestas de los páramos, donde hay pendientes fuertes (Vela, 2008).

4.1.3. Evolución del uso forestal

El suelo calificado como de uso forestal ocupa el segundo lugar en la provincia de Valladolid en cuanto a superficie se refiere, situándose en torno a un 17% de la misma en el año 2018 según la información extraída del CLC. Dentro de este porcentaje, una parte muy significativa se encuentra comprendida por formaciones arboladas, las cuales se encuentran, en su mayoría, en las zonas marginales y menos productivas para el cultivo agrícola debido a sus características edáficas o fisiográficas. No obstante, y aunque cabría esperar una ausencia de tradición forestal en la provincia, lo cierto es que sí que existe. Prueba de ello es el Segundo Inventario Forestal Nacional, el cual recoge en su totalidad la historia forestal provincial, así como la creación y consolidación del Catálogo de Montes de Utilidad Pública, por parte de la administración forestal, junto a los procesos de defensa de la propiedad pública a partir de los actos de deslinde y amojonamiento, y del impulso que se ha dado a la realización de tareas vinculadas a la ordenación de los montes. Todo ello ha convertido a la provincia de Valladolid en un referente nacional en el ámbito de la gestión sostenible de masas de pino piñonero, así como en el referente a la dilatada actividad repobladora con el pino resinero y el pino carrasco (Del Río y Martínez, 2010). A pesar de todo, la mayor parte de los esfuerzos por repoblar y reforestar buena parte de la superficie de la provincia de Valladolid -fundamentalmente tierras agrarias- desde principios de siglo no han destacado a simple vista si se comparan con el conjunto regional, si bien hay que tener en consideración las características singulares de la misma, pues es la provincia con menos superficie forestal y mayor proporción de tierras dedicadas a la agricultura de toda la comunidad autónoma. Por otra parte, dada la situación centralizada de Valladolid en la región, tanto geográfica como administrativamente, presenta también otros rasgos peculiares que la afectan en este sentido, tales como la proliferación de infraestructuras y el desarrollo del urbanismo en el entorno de la capital. Así pues, debido a tales causas, no se debe despreciar en ningún caso el valor del incremento de la superficie forestal de la provincia a partir de la forestación de tierras agrarias (Del Río et al., 2009).

Es bien sabido que las funciones ambientales y de conservación del medio natural de los montes son esenciales a nivel geográfico, y que, además, poseen un papel fundamental para el ser humano dentro de la economía y la sociedad rural, pues es precisamente en estas áreas donde se localizan tanto los recursos productivos como una parte significativa de la industria forestal, la cual constituye una pieza clave en el nuevo modelo de bioeconomía como generador de productos renovables y de origen biológico, así como para hacer frente al despoblamiento de las áreas rurales en España y contribuir al desarrollo rural (Gómez y Ortuño, 2022). No obstante, la superficie forestal en la provincia de Valladolid ha disminuido claramente durante el último siglo, fruto de la presión agrícola, urbana y de infraestructuras de transporte y energía, y pese a que entre los años 1940 y 2010 se hayan llegado a repoblar hasta unas 40.000 ha (Del Río y Martínez, 2010), especialmente entre los años 1993-1999 y 2001-2006 a partir del Programa de Ayudas a la Forestación de Tierras Agrarias en el marco de la Política de Desarrollo Rural de Europa -actualmente cofinanciadas por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER)-, y como medida de acompañamiento de la reforma de la Política Agrícola Comunitaria (PAC). El objetivo de esta última iniciativa fue, de este modo, retirar del uso agrícola todos

aquellos terrenos con producciones no competitivas mediante la plantación de árboles, dificultando su retorno a la actividad agrícola incluso a largo plazo (Del Río et al., 2009). En todo caso, si bien Valladolid ha perdido un 3% de la superficie forestal entre 1992 y 2002 según el Tercer Inventory Forestal Nacional, la información extraída del CLC revela ese incremento de 1297 a 1370 km² referente a cubiertas del suelo pertenecientes a la categoría forestal. Por otro lado, las principales actividades de repoblación han tenido lugar, en las últimas ocho décadas, en áreas secas presentes en campiñas, arenales y páramos, así como en las cuestas calizas (Del Río y Martínez, 2010).

Actualmente, según los datos del Cuarto Inventory Forestal Nacional, la superficie forestal arbolada en la provincia de Valladolid se compone de distintas formaciones arboladas agrupadas en nueve formaciones dominantes, destacando, por orden de importancia en términos de superficie, los pinares de pino piñonero (*Pinus pinea*), encinares (*Quercus ilex*), y pinares de *Pinus pinaster*, entre los cuales constituyen casi el 70% de la superficie arbolada. Además, considerando los indicadores de biodiversidad forestal es posible intuir que todas las formaciones de Valladolid albergan valores similares de riqueza arbórea, si bien la que posee mayor valor de este tipo es la referente a los quejigares de *Quercus faginea*, mientras que, la de menor riqueza, los encinares (*Quercus ilex*). Por otra parte, respecto a las especies arbustivas y/o de matorral, la formación con mayor valor es nuevamente la vinculada a los quejigares de *Quercus faginea*, a la inversa que los pinares de pino piñonero (*Pinus pinea*), los cuales dan lugar a la formación con menor riqueza arbustiva. En cuanto a la diferenciación de la superficie arbolada en bosques de coníferas y de frondosas, la provincia de Valladolid se encuentra compuesta, respectivamente, por un 71,2% y un 25,6% de ambos tipos, mientras que por solamente un 3,2% de bosques mixtos (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2021).

De cara a los próximos años se prevé que las condiciones climáticas dificulten la capacidad de regeneración de las masas actuales, cuya fenología se encuentra claramente vinculada a la disponibilidad hídrica de los meses primaverales. Esto va a dar lugar, a su vez, a que los ecosistemas forestales, que ejercen una labor protectora en el paisaje vallisoletano, tengan que enfrentarse a condiciones de aridez más severas. Por otro lado, el incremento de las precipitaciones durante el invierno va a configurar que la capacidad de transferencia hídrica de los suelos tenga cada vez una importancia mayor, y de lo cual deriva que la conservación y aumento de la capacidad de infiltración de los suelos sea, de cara al futuro, una estrategia esencial en la gestión de las masas forestales, suponiendo un claro desafío para la ordenación del territorio en la que la Hidrología de Conservación de Aguas se presenta como una disciplina indispensable para una adecuada gestión del medio agroforestal (Del Río y Martínez, 2010). Por otra parte, en la actualidad es cada vez más común la presencia de incendios, particularmente en los meses de verano, y que ya han afectado a grandes extensiones de terreno en muchas provincias y comunidades autónomas de nuestro país, ya sea debido a las amplias superficies forestales vulnerables, a las altas temperaturas del aire y del suelo, a la humedad relativa, al estrés hídrico de gran parte de la vegetación, a la aridez estival, a los rayos caídos, o a causas antrópicas, entre las que se encuentran las altas cantidades de basura arrojadas en el suelo y los incendios intencionados (Ynouye-Francés et al., 2021). Así, aunque el CLC incluye dentro de la categoría forestal los espacios afectados por este fenómeno, ello supondría igualmente una reducción de la superficie arbolada, con las repercusiones medioambientales y socioeconómicas que ello conlleva. Otro factor de gran importancia en la actualidad, tanto a nivel global como en la provincia de Valladolid, es el referente a la extracción de biomasa forestal para su valorización energética, lo que suele suponer una parte sustancial dentro de la extracción anual de productos leñosos de los montes (Cubero, 2014).

4.2. Interpretación de los modelos de regresión de las principales transiciones (1990-2018)

Se presentan a continuación los resultados para cada una de las transiciones.

4.2.1. Transición del suelo no urbano a urbano

Para la transición del suelo no urbano a urbano se ha obtenido, como se refleja en la Tabla 5, que este cambio es más probable en zonas con menor densidad de población (-1,71E-04), pues son las que más se han urbanizado o edificado durante los últimos años, así como en aquellas zonas que tienden a estar más alejadas de los núcleos de población (3,06E-03), pero más próximas a vías de comunicación tales como carreteras (-1,38E-03), caminos y sendas (-4,22E-03). La transición en cuestión podría deberse al constante surgimiento de segundas residencias, ya que se encuentran en muchas ocasiones en lugares apartados y alejados de la ciudad -a menudo con fines destinados al descanso y al contacto con la naturaleza-, es decir, en áreas de baja densidad poblacional, como consecuencia del creciente uso del automóvil que permitiría a sus residentes desplazarse, y, como consecuencia de ello, en zonas apartadas de los principales núcleos de población pero próximas a carreteras y otras vías de comunicación, y situadas la gran mayoría, desde principios de siglo, en el mismo municipio que el domicilio habitual (López, 2004). En cuanto a las instalaciones industriales, están aflorando más urbanizaciones en las zonas colindantes o relativamente cercanas a estas, y que podrían deberse, en buena parte, a nuevas residencias destinadas a los trabajadores de dichas instalaciones, así como a todas aquellas viviendas que se hayan estado construyendo en áreas periurbanas por las que se haya podido ir expandiendo la ciudad, y que se encuentran cercanas a las instalaciones previamente mencionadas, ubicadas a menudo en las afueras (López de Lucio, 1993; Santa Eufemia, 2016). También se ha observado que la probabilidad de que se urbanice o edifique aumenta de manera proporcional al incremento de la altitud del terreno. Esta última variable, no obstante, no se considera especialmente relevante, pudiendo deberse tal fenómeno a que la propia ciudad de Valladolid se encuentre situada en una de las zonas con menor elevación de la provincia, motivo por el cual, a poco que aumente el suelo urbano, lo hará en la mayor parte de los casos en espacios situados a mayor altitud.

En la obra de Domingo, citada en la sección 1.2., la densidad de población y la distancia a carreteras son los más relevantes de cara a explicar cambios de usos urbanos y, de manera similar a este trabajo, la urbanización tiende a producirse en torno a zonas urbanizadas de baja y media densidad, creando nuevas áreas de desarrollo lejos de los de los centros existentes, a expensas de los pastizales naturales, las zonas de construcción y los pastos. Por otra parte, si bien la pendiente no ha tenido un valor significativo en este caso, en la obra de Domingo se determinó que pendientes suaves favorecen la urbanización (Domingo, Palka y Hersperger, 2021).

Tabla 5. Coeficientes de regresión de la primera transición. Elaboración propia

Transición Uso No Urbano a Urbano -Urbanización/Edificación-				AIC: 1.308,1	
	Estimación	Error estándar	z value (Estadístico z)	Pr (> z) (Valor p)	
(Intercesto)	4,52E-01	1,11E-01	4,08	4,51E-05	***
Densidad de población	-1,71E-04	1,18E-04	-1,44	1,49E-01	
Distancia a núcleos de población	3,06E-03	4,76E-04	6,43	1,32E-10	***
Distancia a carreteras	-1,38E-03	2,60E-04	-5,31	1,11E-07	***
Distancia a caminos y sendas	-4,22E-03	5,79E-04	-7,29	3,14E-13	***

Una de las principales limitaciones a la hora de llevar a cabo los modelos de regresión para esta primera transición ha sido la referente a que no se ha tenido en cuenta la diferenciación entre los distintos tipos de usos (según se han definido las variables dependientes) o transiciones, es decir, no se ha diferenciado, por ejemplo, entre transiciones de suelo industrial a urbano, agrícola a urbano o forestal a urbano. Esto se ha debido, principalmente, a que dicha distinción no es especialmente significativa en cuanto a los objetivos del presente trabajo se refiere, de manera que no se ha considerado conveniente complejizar el modelo y el cálculo de coeficientes en función de la misma. Así pues, lo realmente necesario en lo relativo a esta transición ha sido tener en consideración, esencialmente, todas aquellas partes del territorio que no eran urbanas en 1990 pero que sí que han pasado a serlo en el año 2018.

4.2.2. Transición del suelo agrícola al forestal

La transición del suelo agrícola a forestal hace referencia esencialmente a todos aquellos procesos que han influido en la reducción del suelo de uso agrícola y han dado lugar a zonas de matorral -con labores posteriores de reforestación o no-. Se ha obtenido como resultado que dicha transición se ha dado con más frecuencia, y por lo tanto es más probable, cuanto mayor es la pendiente (1,21E-01), cuanto menor es la densidad de población (-5,94E-04), cuanto menor es la distancia a los núcleos de población (-1,39E-04), cuanto menor es la precipitación media anual (-2,38E-03) y cuanto menor es la distancia a los embalses (-7,21E-06). Por ello, según los coeficientes de regresión (Tabla 6), la transición tiende a ser menor en zonas de escasa pendiente, debido a la mayor facilidad para cultivar en terrenos llanos; en zonas con mayor densidad de población, fruto de la mayor mano de obra que pueda haber; en zonas alejadas de los núcleos de población, bien porque las que están más próximas hayan sido destinadas a otros usos, o bien simplemente porque haya habido mayores tasas de abandono de espacios agrícolas de pastizal o de sistemas agroforestales en sus inmediaciones. Por otra parte, la transición ha sido también menor en zonas donde la precipitación media anual es más abundante, pues esta podría contribuir al regado de los cultivos -dado que las sequías, cada vez más frecuentes (Paniagua, 2022), pueden causar importantes pérdidas en los de secano en la provincia (G. Rojo, 2022)-; y cuanto mayor es la distancia a los embalses, lo que podría deberse a que esta transición se ha producido en los terrenos contiguos o más próximos a ellos entre estos años como consecuencia de la desagrariación y el abandono del campo, así como a posibles labores de reforestación en torno a los mismos. En síntesis, se tienden a abandonar mayormente espacios agrícolas en terrenos inclinados, con poca densidad de población, en zonas próximas a núcleos de población y embalses y donde la precipitación total anual es inferior.

De los factores comentados, el más expresivo en la obra de Domingo en la caracterización de cambios agrícolas fue la pendiente, que junto a la orientación tuvo especial relevancia en la localización de usos de este tipo (Domingo, Palka y Hersperger, 2021). Además, Gelabert y otros autores obtuvieron en su investigación que, del mismo modo que en este trabajo, el abandono de tierras agrícolas tradicionales se produce principalmente en zonas donde la pérdida de población es mayor, pues esto provoca un declive económico que se traduce a su vez en el mencionado abandono agrícola (Lasanta et al., 2017, Vidal-Macua et al., 2018; citados por Gelabert et al., 2022).

Tabla 6. Coeficientes de regresión de la segunda transición. Elaboración propia

Transición Uso Agrícola a Forestal -Abandono agrícola y/o reforestación-				AIC: 12.365	
	Estimación	Error estándar	z value (Estadístico z)	Pr (> z) (Valor p)	
(Intercepto)	1,27	3,06E-01	4,14	3,46E-05	***
Pendiente del terreno	1,21E-01	8,19E-03	14,83	< 2E-16	***
Orientación del terreno	-1,29E-03	2,01E-04	-6,43	1,31E-10	***
Densidad de población	-5,94E-04	1,09E-04	-5,45	5,12E-08	***
Distancia a núcleos de población	-1,39E-04	1,93E-05	-7,19	6,29E-13	***
Precipitación Media Anual	-2,38E-03	8,95E-04	-2,66	7,84E-03	**
Proximidad a embalses en función de la distancia	-7,21E-06	1,57E-06	-4,58	4,63E-06	***

4.2.3. Transición del suelo forestal al agrícola

La transición del suelo forestal a agrícola se encuentra vinculada fundamentalmente a todas aquellas labores de expansión agrícola o plantación de nuevos cultivos entre los años 1990 y 2018 -asociadas o no a previos procesos de deforestación con la consecuente eliminación del suelo de uso forestal-. Se ha observado, de acuerdo a la Tabla 7, que la expansión agrícola es directamente proporcional a la pendiente del terreno (2,48E-01), lo que podría ser debido a las recientes iniciativas vinculadas al

fomento de algunos cultivos, como el de la trufa de verano, en laderas desarboladas y marginales con fuerte pendiente, escasa profundidad del suelo y alta pedregosidad, fuerte erosión y con dificultades de acceso y mecanización, con el propósito de revalorizar y forestar ecológicamente dichos espacios (Ojosnegros, 2019), si bien es evidente que esta relación directa no se dará a partir de ciertos umbrales de pendiente, sino en lugares en los que esta no sea aún muy significativa. Así, los 35° de pendiente (un 70%) constituyen un límite prácticamente infranqueable para la agricultura (Molinero y Alario, 2022).

Además, se ha determinado que esta transición entre usos del suelo es también mayor en zonas con mayor densidad de población (4,75E-04), seguramente debido a la mayor mano de obra disponible; así como cuanto menor es la distancia a caminos y sendas (-1,53E-03), pues estos favorecen la accesibilidad y han podido construirse precisamente con tales fines; y cuanto mayor es la distancia a los embalses (7,81E-06), lo cual podría deberse a que la funcionalidad actual de los mismos se encuentra más vinculada al uso turístico y recreativo, como consecuencia de la escasez hídrica de la provincia ante la cada vez mayor ausencia e irregularidad de precipitaciones, y por la cual los embalses se encuentran en la comunidad autónoma a menos de un 30% de su capacidad, con la creciente preocupación en lo que respecta a las próximas campañas de riego de cultivos (G. Rojo, 2022).

En la obra de Domingo se obtuvo, por un lado, que pendientes pronunciadas podrían limitar el desarrollo de suelos de uso forestal (Domingo, Palka y Hersperger, 2021), según lo cual este factor es, en efecto, un condicionante para el desarrollo del uso forestal que podría favorecer su sustitución a favor del aprovechamiento agrícola; y, por otro, que las zonas con pendientes suaves favorecen la intensificación agrícola, al contrario que en este trabajo.

Tabla 7. Coeficientes de regresión de la tercera transición. Elaboración propia

Transición Uso Forestal a Agrícola -Expansión agrícola y posible deforestación-				AIC: 7.720,6	
	Estimación	Error estándar	z value (Estadístico z)	Pr (> z) (Valor p)	
(Intercepto)	-6,98E-01	8,55E-02	-8,16	3,39E-16	***
Pendiente del terreno	2,48E-01	1,47E-02	16,92	< 2E-16	***
Orientación del terreno	1,05E-03	2,61E-04	4,01	6,15E-05	***
Densidad de población	4,75E-04	1,18E-04	4,01	6,10E-05	***
Distancia a caminos y sendas	-1,53E-03	2,01E-04	-7,60	2,92E-14	***
Proximidad a embalses en función de la distancia	7,81E-06	2,10E-06	3,73	1,94E-04	***

El factor orientación del terreno, al ser muy específico, precisaría para su análisis de un aumento en la escala o nivel de detalle. Finalmente, los factores y variables explicativas correspondientes a la curvatura del terreno, la concentración parcelaria en función de la rentabilidad económica, la temperatura media anual y la proximidad a embalses en función del nivel de cota no han tenido una importancia trascendental en ninguno de los modelos de regresión efectuados para cada una de las transiciones llevadas a cabo.

4.3. Distribución de las coberturas del suelo en escenarios futuros

A continuación, se presentan los mapas de usos del suelo proyectados al futuro que se han obtenido para los años 2030 y 2050, así como las transiciones específicas que han dado lugar entre 2018 y dichos años.

4.3.1. Escenario de contención de la expansión urbana

En el caso del escenario de contención de la expansión urbana se han obtenido los siguientes resultados (ver Figuras 7 y 8).

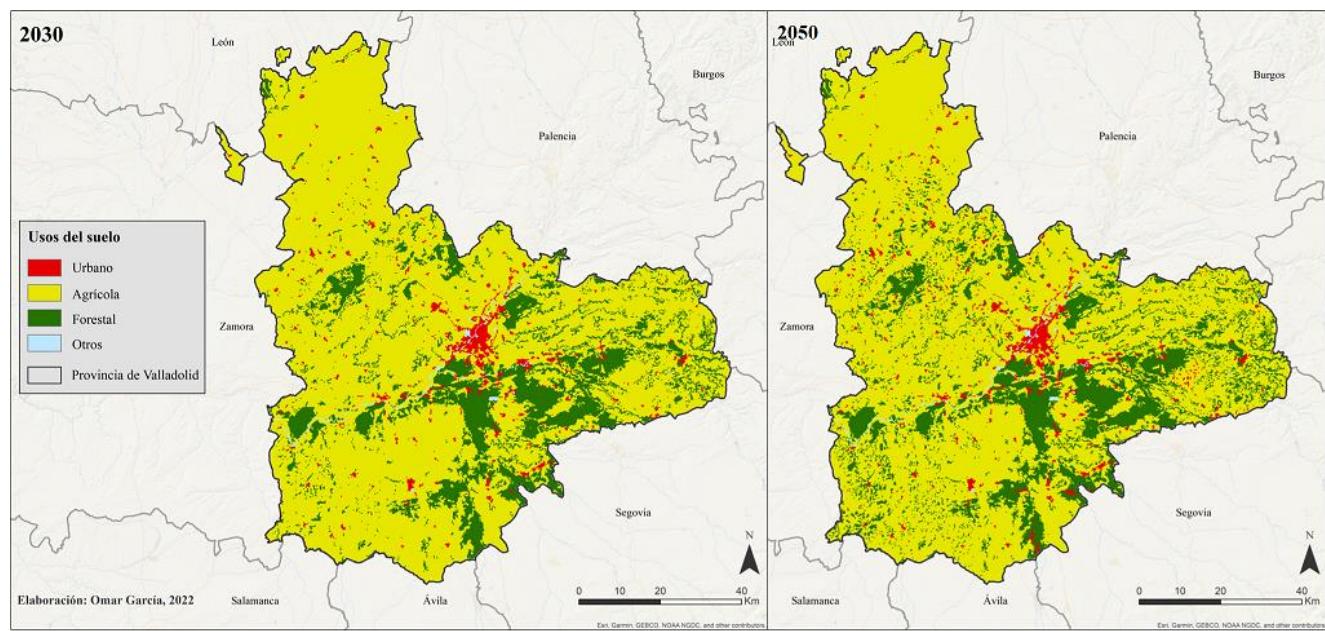


Figura 7. Ocupación del suelo en la provincia de Valladolid proyectada a 2030 (izquierda) y 2050 (derecha) en función de un escenario de contención de la expansión urbana. Elaboración propia mediante Dyna-CLUE

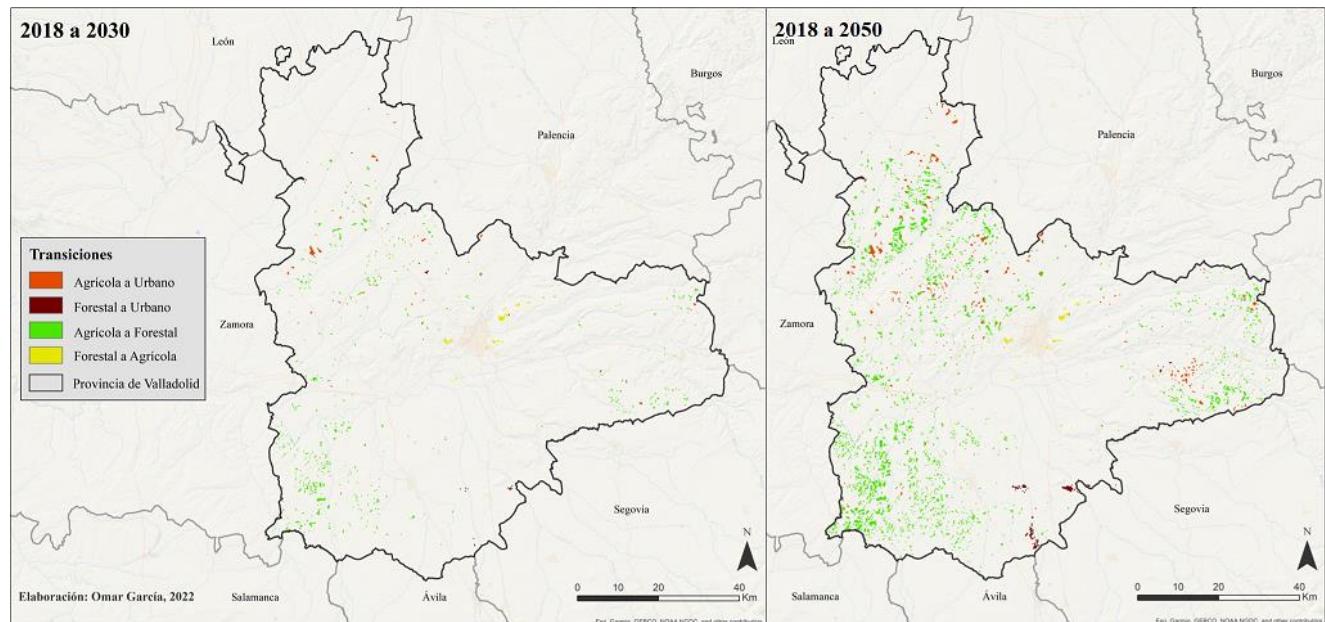


Figura 8. Transiciones entre usos del suelo en la provincia de Valladolid entre 2018 y 2030 (izquierda) y 2050 (derecha) en función de un escenario de contención de la expansión urbana. Elaboración propia

Como resultado de la simulación, se observa que el crecimiento de suelo calificado como urbano no es especialmente revelador, e inesperadamente apenas lo hace en torno a la capital de provincia, a pesar de ser la que cuenta con la mayor parte de infraestructuras, recursos y servicios. A pesar de todo, el crecimiento previsto de suelo urbano se da, al igual que durante las últimas décadas, de manera irregular, y sobre todo a partir de los límites urbanos y de muchas cabeceras comarcales o centros rurales de primer y segundo orden, así como en torno a algunas de las principales vías de comunicación. Dependiendo de las zonas por las que se desarrolle, es necesario prestar atención no solamente a las consecuencias ambientales, sino también a las paisajísticas que puedan derivar de su expansión (edificaciones en áreas paisajísticas, grandes equipamientos e infraestructuras de transporte, parques eólicos, canteras de áridos...). Además, por motivos ya expuestos, los espacios industriales comienzan

a ser frecuentes en núcleos rurales y zonas apartadas (Santa Eufemia, 2016), de manera que, dado que se ha incluido el uso industrial dentro del urbano, su expansión puede deberse también a este motivo. En segundo lugar, la proyección al futuro da lugar, como viene siendo habitual durante las últimas décadas, a un descenso en el suelo calificado como agrícola, debido al abandono del pastizal y el incremento del matorral que sufre la provincia (y la comunidad autónoma, en la cual también predomina este uso del suelo) bien por la escasa rentabilidad de estas zonas, o bien por de la dificultad de su mantenimiento, a favor del incremento del suelo forestal, siendo este en su mayor parte el relativo a terrenos de matorrales que habrán surgido como resultado del abandono de pastizales previamente mencionado. Así pues, en este escenario no se ha otorgado un especial protagonismo a los procesos que pudieran dar lugar, por un lado, a la puesta en marcha de nuevas campañas agrícolas, ni, por otro lado, a la realización de actividades vinculadas a la reforestación forestal.

4.3.2. Escenario de intensificación de la actividad agrícola

A continuación, las previsiones obtenidas en caso de darse el segundo escenario establecido son, para 2030 y 2050, las mostradas en las Figuras 9 y 10.

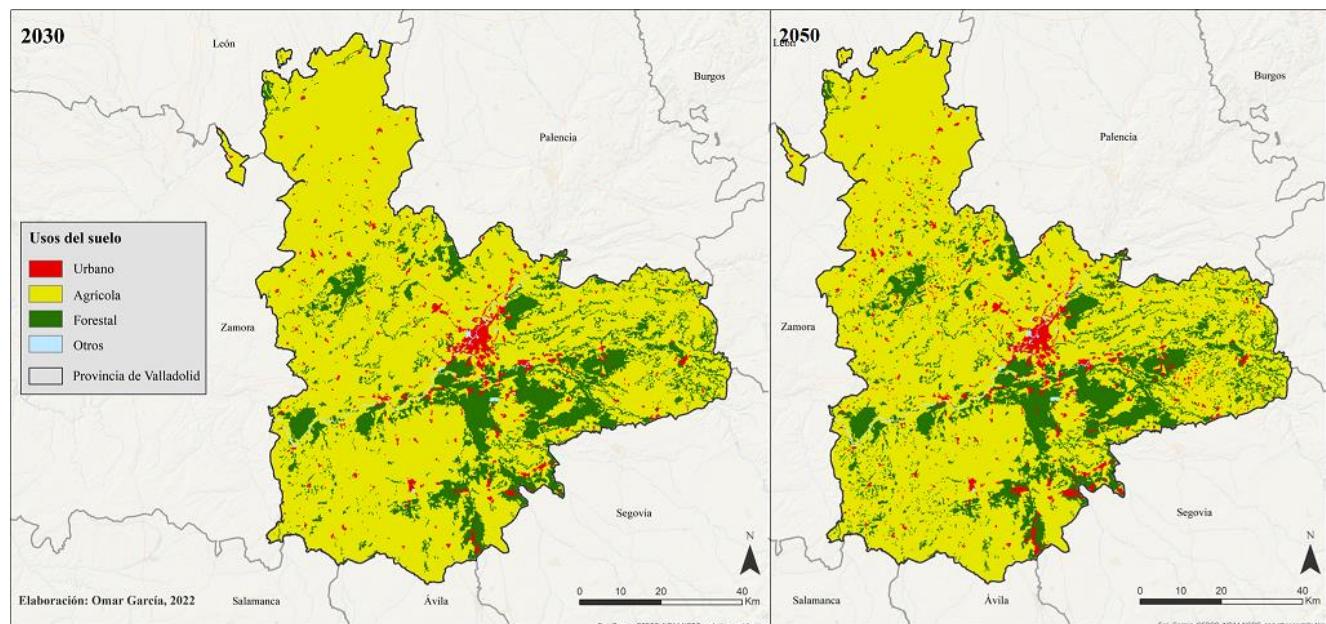


Figura 9. Ocupación del suelo en la provincia de Valladolid proyectada a 2030 (izquierda) y 2050 (derecha) en función de un escenario de intensificación de la actividad agrícola. Elaboración propia mediante Dyna-CLUE

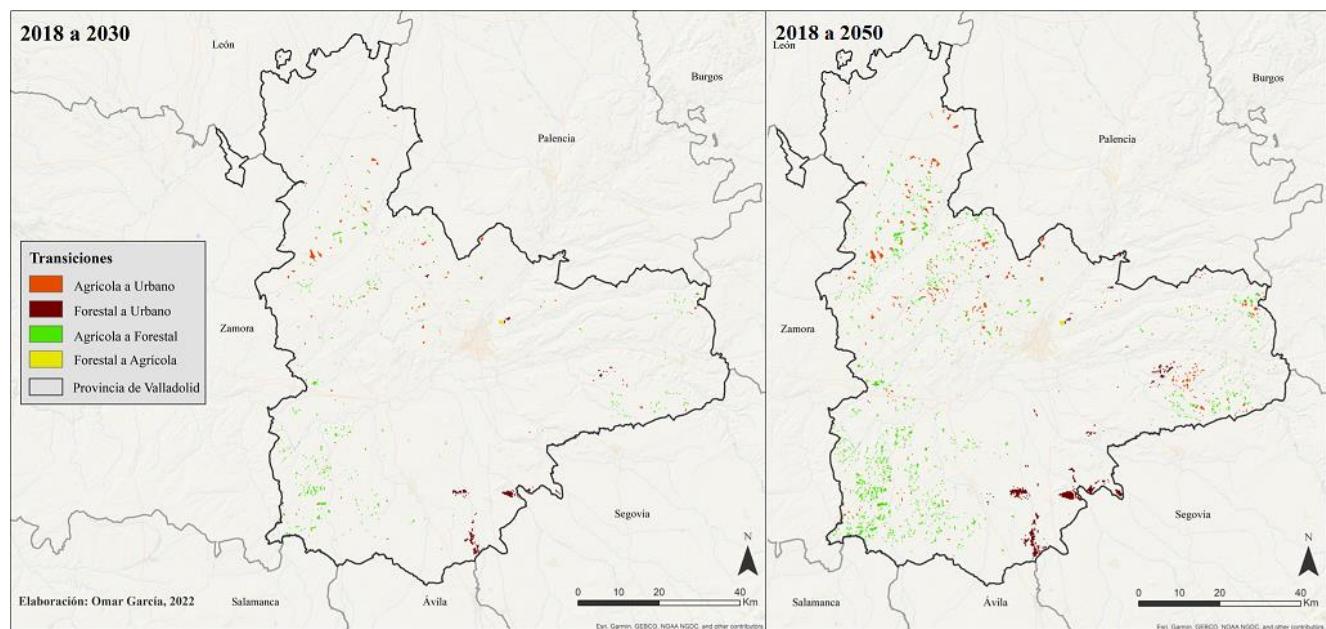


Figura 10. Transiciones entre usos del suelo en la provincia de Valladolid entre 2018 y 2030 (izquierda) y 2050 (derecha) en función de un escenario de intensificación de la actividad agrícola. Elaboración propia

Los resultados arrojados por las simulaciones con respecto a los futuros usos del suelo en la provincia de Valladolid en el contexto de este segundo escenario muestran, pues, un descenso bastante reducido del suelo de uso agrícola en comparación con el resto de escenarios definidos, fruto de las mencionada puesta en marcha de campañas agrícolas en áreas de pastizal, así como de la inversión de capital y destinación de fondos FEADER en el marco de la PAC (verbigracia, con objeto de fomentar la competitividad agrícola, la creación de empleo o la gestión sostenible de los recursos naturales). Sin embargo, resulta crucial para ello el aumento de la mano de obra destinada a la agricultura, y, para ello, hacer frente en la medida de lo posible a las consecuencias de la desagrariación y la disminución del peso de la agricultura en la actividad económica en los que se encuentra inmersa la provincia, ya sea mediante la mejora de las infraestructuras y servicios actuales y la reestructuración demográfica vinculada a la reducción de la edad media en el medio rural, el fomento del turismo y revalorización de los recursos locales, o la puesta en marcha de planes territoriales integrados encaminados a la definición de un modelo territorial que compatibilice el desarrollo y la protección del medio natural. Por otra parte, como ya se ha comentado al principio del trabajo, los terrenos cultivados tienden a mantenerse, e incluso incrementarse en muchas ocasiones, como consecuencia de la potente maquinaria de la que disponen los agricultores y de que, a pesar de que cada vez sean menos en número, se encuentran cada vez más capacitados a nivel técnico (Molinero, 2012; Molinero y Alario, 2022).

En todo caso, sería una utopía considerar que, ni en el mejor de los escenarios posibles, los esfuerzos encaminados a la intensificación de la actividad agrícola podrían frenar o incluso revertir la trayectoria claramente descendente a la que se encuentra sometido el suelo de uso agrícola, dado que lo que realmente se abandona son terrenos agroforestales, o bien de pastizal así calificados, de manera que, tal y como se observa en la Figura 9, esta continuará reduciéndose de manera inexorable, dando paso al incremento del suelo forestal vinculado, con toda seguridad, a la aparición de matorral. Cabe destacar, finalmente, que una de las limitaciones de este modelo, al contar solamente con las transiciones entre los usos urbano, agrícola y forestal, es que no contempla el abandono de todas aquellas parcelas forestales que por su escasa rentabilidad no se mantienen, debido a que, realmente, estas no cambiarán de uso del suelo y seguirán siendo calificadas como áreas forestales, pese a que sí lo hagan en términos funcionales, paisajísticos o en lo relativo a su gestión, pudiendo incrementar la probabilidad de la aparición de incendios al disminuir las labores de mantenimiento y vigilancia en dichos espacios.

4.3.3. Escenario de incremento de la reforestación

En siguiente lugar, las previsiones obtenidas en caso de que se aprueben y lleven a cabo los planes territoriales definidos para el tercer escenario se encuentran presentes en las Figuras 11 y 12.

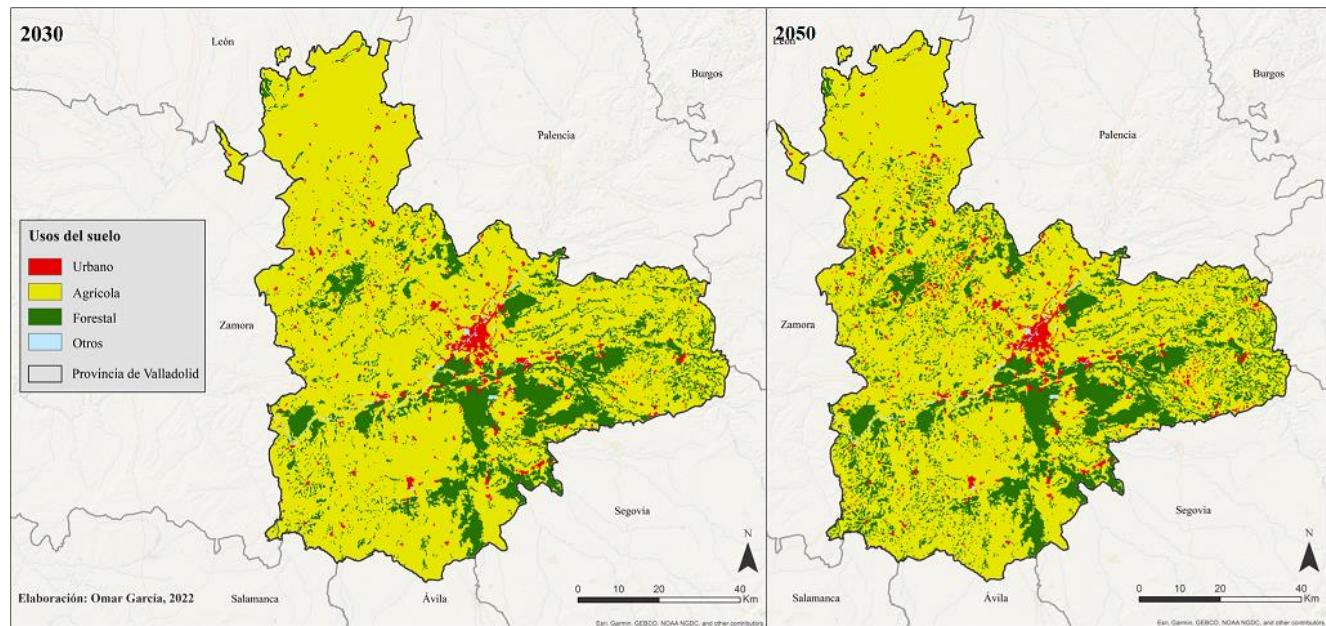


Figura 11. Ocupación del suelo en la provincia de Valladolid proyectada a 2030 (izquierda) y 2050 (derecha) en función de un escenario de incremento de la reforestación. Elaboración propia mediante Dyna-CLUE

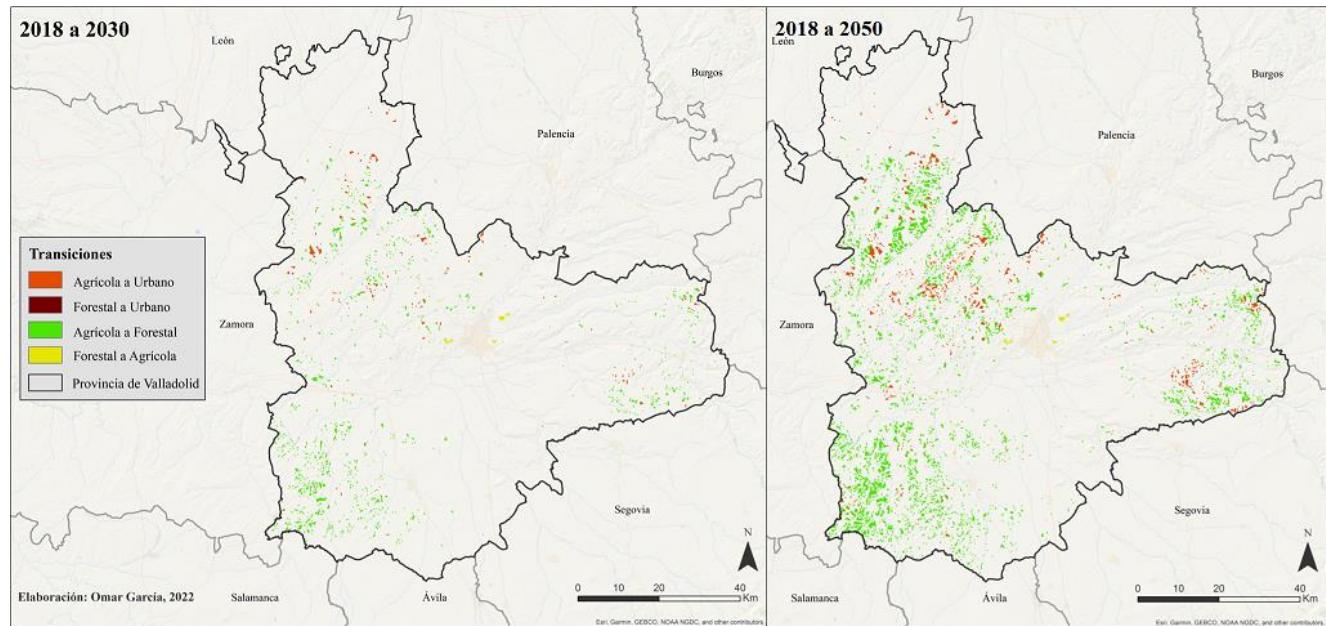


Figura 12. Transiciones entre usos del suelo en la provincia de Valladolid entre 2018 y 2030 (izquierda) y 2050 (derecha) en función de un escenario de incremento de la reforestación. Elaboración propia

En este tercer escenario, se observa que la transición predominante va a ser la de suelo agrícola a forestal, si bien no se podrán contemplar en la cartografía elaborada -constituyendo, por ello, otra limitación del modelo- las transiciones de aquellas áreas ya calificadas como forestales, pero deforestadas o quemadas por un incendio, en otras en las que se lleve a cabo la reforestación y el desarrollo y crecimiento de formaciones vegetales de cada vez mayor entidad, al no constituir este

proceso un cambio en el uso del suelo como tal, y manteniéndose por lo tanto el referente al forestal. Así, el suelo calificado como forestal podría estar haciendo referencia, bien a una cubierta del suelo de pastizal o matorral, o bien a una de bosque. A pesar de todo, sí es necesario subrayar que actualmente predomina el minifundio en la provincia, así como en la comunidad autónoma, siendo el tamaño medio de las parcelas forestales de apenas tres hectáreas, lo cual provoca que su rentabilidad sea muy escasa en general e invite al abandono de las mismas, con el riesgo que ello conlleva (Corbillón, 2022). Además, es preciso recordar algunas de las principales dificultades, expuestas en la sección 4.1.3., a las que se van a enfrentar las labores de reforestación y procesos de regeneración de las masas forestales, todas ellas ligadas y favorecidas por el cambio climático, y entre las cuales destacan la decreciente disponibilidad hídrica durante gran parte del año, así como las condiciones de aridez, cada vez más severas. Por ello, como ya se ha indicado, una estrategia fundamental para llevar a cabo este escenario se fundamenta en la mejora en la gestión de las masas forestales a partir de la conservación e incremento de la capacidad de infiltración de los suelos (Del Río y Martínez, 2010).

Volviendo a lo indicado con anterioridad, el minifundio imposibilita en gran medida cualquier tipo de plan de gestión territorial, pues una buena parte de los propietarios no residen en el entorno de sus parcelas, sino que suele compartir la propiedad con algún familiar, dando lugar a una gestión antieconómica de las mismas. Si bien los planes de gestión pasan a ser obligatorios en todas aquellas parcelas con una superficie superior a 100 hectáreas, estas son minoritarias y, por ende, aquellas que no llegan a este umbral carecen de un mantenimiento o rentabilidad adecuados, salvo en los casos en los que se encuentren agrupadas. En síntesis, mientras que los montes con tradición forestal siempre han poseído una gestión forestal apropiada, aquellos otros procedentes de tierras agrícolas abandonadas se encuentran, en su mayoría, bastante descuidados. De tal manera, los montes públicos y privados de cierta superficie están cuidados por lo general, a la inversa que los de pequeña superficie, pues muchos se encuentran en un abandono total. Como consecuencia, resulta indispensable profundizar en una gestión equánime de las masas forestales independientemente de su tamaño, siendo esencial, además, llevar a cabo otras posibilidades tales como agrupaciones de propietarios, concentraciones parcelarias forestales, facilidades en la transmisión de la propiedad hacia propietarios activos, u otro tipo de fórmulas que ayuden a revertir el abandono, salvaguardando los derechos del propietario (Corbillón, 2022).

A pesar de todo, si se alcanzase una realidad similar a este tercer escenario, se estaría contribuyendo en gran medida al incremento de sumideros de carbono destinados a reducir los niveles de dióxido de carbono y de otros gases de efecto invernadero, así como a una excelente mejora de la gestión forestal y al aumento de la biodiversidad. Por otra parte, no todas las transiciones de suelo agrícola a forestal observadas en los mapas van a deberse a dichas labores de reforestación llevadas a cabo durante las próximas décadas, sino que muchas de ellas van a deberse, al igual que en el resto de los escenarios, al abandono de terrenos de pastizal, que traerá como consecuencia la aparición de zonas en las que predomine el matorral, consideradas por el CLC como de uso forestal. En todo caso, pese a las simulaciones vinculadas a este tercer escenario, es notorio observar que se prevé que la mayor parte de la provincia seguirá siendo, en el año 2050, de uso eminentemente agrícola, si bien sí se habría conseguido mejorar muy notablemente, -a partir de la ayuda recibida, mismamente, de la PAC mediante fondos FEADER-, la gestión de los montes vallisoletanos en toda la provincia, de cara a la prevención y reducción de incendios, así como la consecución de otros de los muchos objetivos previamente comentados vinculados al actual cambio climático y a la lucha por la biodiversidad y el medioambiente.

4.3.4. Escenario de expansión urbana y abandono agrícola

Finalmente, los resultados obtenidos en las simulaciones en lo que respecta al cuarto y último escenario, de expansión del suelo urbano, son los correspondientes a las Figuras 13 y 14.

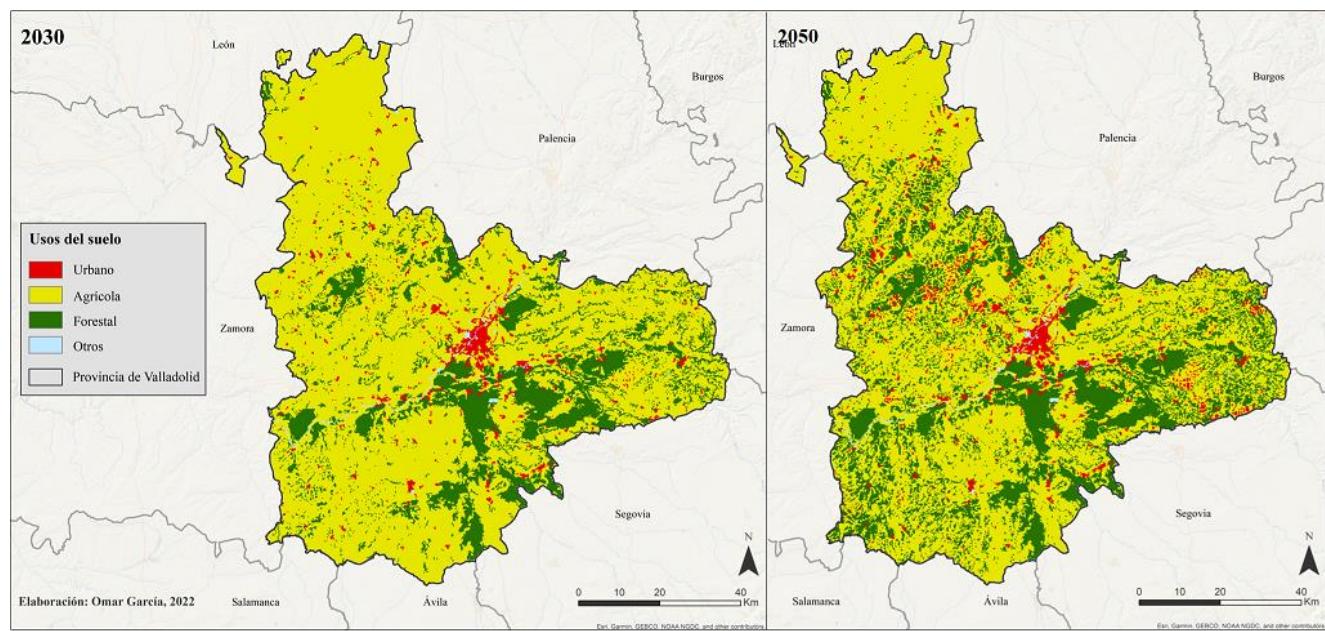


Figura 13. Ocupación del suelo en la provincia de Valladolid proyectada a 2030 (izquierda) y 2050 (derecha) en función de un escenario de expansión urbana y abandono agrícola. Elaboración propia mediante Dyna-CLUE

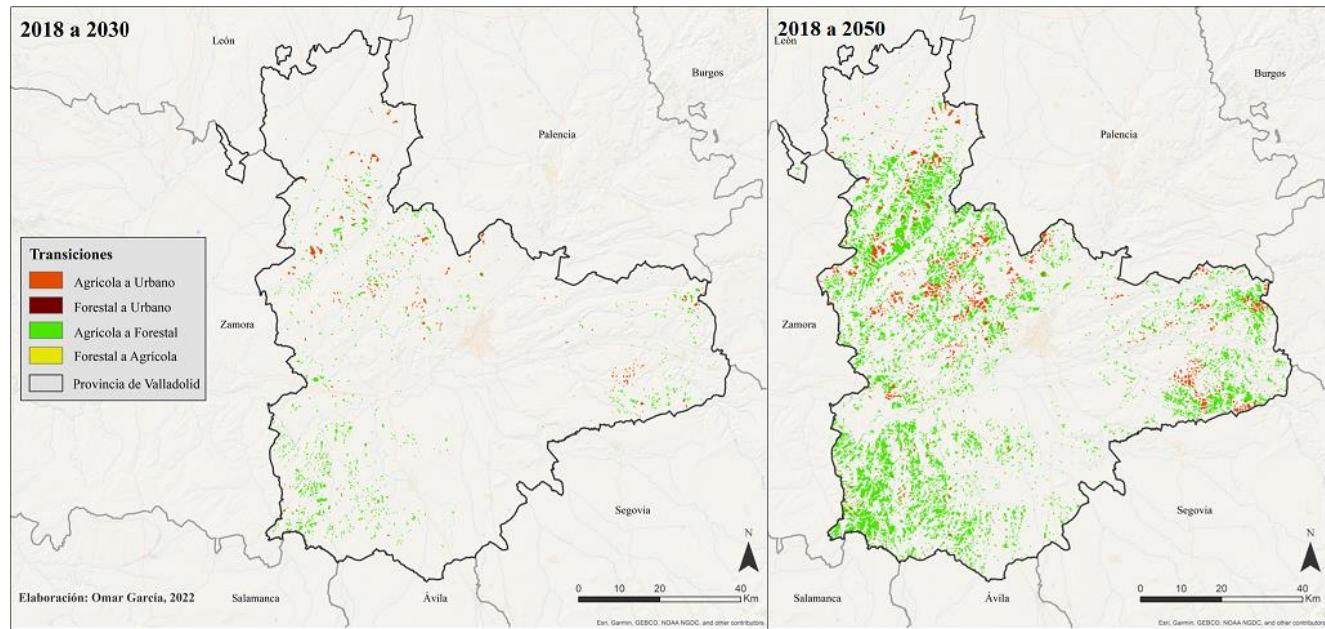


Figura 14. Transiciones entre usos del suelo en la provincia de Valladolid entre 2018 y 2030 (izquierda) y 2050 (derecha) en función de un escenario de expansión urbana y abandono agrícola. Elaboración propia

Como consecuencia de este cuarto escenario, se estaría simulando un crecimiento urbano por la provincia en aquellas zonas que, en función de los factores de localización -las variables dependientes de los modelos de regresión- y de los coeficientes de regresión obtenidos, serían más propensas a tal transición en las próximas décadas, observándose que esta tiende a dar lugar a partir de núcleos urbanos previamente existentes -esencialmente cabeceras comarcales o centros rurales de primer y segundo orden-, o en aquellas áreas mejor comunicadas por las infraestructuras de transporte. Por otra parte, llama enormemente la atención la expansión de lo que sería el suelo de uso forestal, pero que daría lugar no por causas humanas, sino por tal hipotético y no esperado abandono agrícola -ya sea por factores socioeconómicos o ambientales (Fielding, 1989; Collantes y Pinilla, 2004; Benayas et al., 2007; citados por Vidal-Macua, 2017)-, de manera que aparecerían de forma ubicua extensiones de terreno relativamente

al matorral por procesos meramente naturales. Así pues, las consecuencias medioambientales y paisajísticas, entre otras, serían casi catastróficas -zonas de degradación, incremento de la probabilidad de ocurrencia de incendios, agresión a las propiedades intrínsecas del paisaje...-, dada la nula gestión del territorio a la que se estaría dando lugar. En todo caso, como se ha comentado ya con anterioridad, la pretensión en la creación de este escenario radica, más bien, en un ejemplo paradigmático acerca de cómo evolucionarían, sobre todo a nivel visual o cartográfico, los usos del suelo a lo largo de la provincia, no siendo otra la intención que la ilustrativa y puramente anecdótica con tal de poner de manifiesto la potencialidad de Dyna-CLUE en la simulación de escenarios proyectados al futuro.

4.4. Principales limitaciones y posibles mejoras del proceso

Finalmente, se considera conveniente aclarar que, a pesar de lo razonable de los resultados obtenidos y la interpretación extraída de los mismos, la calidad de los modelos generados se encuentra condicionada y limitada por las distintas variables dependientes -factores de localización- e independientes -transiciones- generadas en fases previas a su incorporación en ellos, motivo por el cual se encuentran, muy posiblemente, sujetos a mejoras o perfeccionamientos que podrían dar lugar a la obtención de información más robusta y significativa sobre la relación entre los distintos factores explicativos (datos climáticos, distancia a núcleos de población, etc.) y las transiciones comentadas. Asimismo, cabe resaltar la ausencia de una validación formal de los resultados de regresión, que no ha podido ser abordado en tiempo y forma, habiendo destinado el grueso del tiempo y esfuerzo a la familiarización con el algoritmo Dyna-CLUE.

Posteriormente, de cara a la elaboración de los factores de localización, se ha utilizado en muchas ocasiones la distancia euclíadiana, si bien se podría haber tenido en cuenta otras más específicas. Así pues, a partir de una mayor incorporación y mejora de los medios técnicos empleados (como, por ejemplo, una mayor diversidad y exactitud de los datos geográficos y/o posibles mejoras en el tratamiento y la calidad de los mismos), junto a un mayor conocimiento del territorio concerniente a la provincia de Valladolid, se podría dar lugar a la obtención de unos coeficientes de regresión más fiables y fieles a dicha zona de estudio, así como a una mayor clarividencia en la comprensión de la misma, para lo cual resultaría indispensable el aumento de la escala de análisis -y, por tanto, la reducción de la zona de estudio-, y la disposición de unos datos mucho más detallados y precisos. En todo caso, el objetivo que se ha perseguido durante el trabajo ha sido el de llevar a cabo una aproximación a dicha exégesis del territorio y de los procesos geográficos y transiciones que han dado lugar en el mismo, así como proyectar al futuro diferentes escenarios con objeto de impulsar las labores encaminadas a una mejora de la prospectiva territorial, y de dilucidar las principales claves territoriales que dirigen unos u otros cambios en la ocupación del suelo, primando, por ello, la elección de un número razonable de dichos factores de localización en aras de cumplir con los objetivos del trabajo y de continuar a la siguiente fase del proceso.

Como propuesta de mejora, las principales enmiendas que podrían implementarse a lo largo del proceso de cara a un estudio geográfico a mayor escala se sustentan en la incorporación de la teledetección como método adicional destinada a la detección e interpretación de cambios en los usos del suelo, así como para llevar a cabo un análisis más exhaustivo sobre las propiedades de las coberturas del área de estudio, entre otras, verbigracia, la estructura forestal mediante el empleo de tecnología LiDAR, o la distinta fenología de los cultivos a nivel intranual a partir del análisis visual y el uso de distintas combinaciones de bandas espectrales captadas por los sensores, o bien, directamente, por medio de sensores hiperespectrales que permitan indagar, de manera cuantitativa, en sus propiedades espectrales. Por una parte, sería necesario también un conocimiento experto del terreno favorecido por el trabajo de campo, así como refinar el tratamiento y geoprocесamiento de los datos geográficos al máximo nivel de detalle posible, siempre que se cuente con los medios adecuados para ello. Así, en lo

concerniente a Dyna-CLUE y las simulaciones obtenidas, y si se llevase a cabo un estudio a una escala de análisis mucho más ampliada, la desagregación en usos del suelo debería ser mayor, por lo que se debería trabajar mejor aún a nivel de coberturas y no de usos, a la vez que, si fuera posible, sería también aconsejable la implementación de factores de localización dinámicos -verbigracia, las variables climáticas o de carácter demográfico- en aras de reflejar, de una forma más fiel, las consecuencias del cambio climático o del proceso de urbanización, respectivamente. Por otra parte, el hecho de disponer de información mucho más desagregada posibilitaría, por su parte, experimentar con un mayor número de escenarios hipotéticos en pos de reflejar, más minuciosamente, algunas de las posibles realidades territoriales a las que se podrían llegar. En síntesis, se pretende poner de manifiesto que la potencialidad de este proyecto es enorme -si bien dependerá del grado de detalle de los datos geográficos de los que se disponga- y, más importante aún, que su base de operaciones y mecánica de funcionamiento se encuentra sustentada en las tecnologías de la información geográfica, así como en el análisis espacial básico y la modelización.

Finalmente, en lo relativo al algoritmo de simulación utilizado existen también posibles mejoras a implementar. Lo principal orbita en torno a la aplicación de filtros de vecindad, que no se han aplicado con la intención de reducir la complejidad de las simulaciones. No obstante, si así hubiera sido el caso, se habría priorizado el uso de funciones de vecindad en la expansión urbana, de manera que no habrían aparecido tantas zonas correspondientes a suelo urbano dispersas por la provincia en las simulaciones a futuro, sino que el modelo habría priorizado la expansión de este uso a partir de otros preexistentes, otorgando una mayor fidelidad a los resultados obtenidos. La segunda mejora, por su parte, consiste en que podría haberse utilizado una versión más reciente de CLUE, denominada CLUMondo, con la cual es posible ajustar los modelos de regresión de manera automática (aunque no permite analizar transiciones sino simplemente presencia de cubiertas) y, además, la capacidad de asignar a cada uso o cubierta qué servicios proporcionan de cara a definir la demanda, que pasa así de definirse en términos de superficie a provisión de bienes y servicios, con la consiguiente complejidad asociada a la estimación de dicha provisión de servicios. La tercera y última mejora hace referencia a la posibilidad que ha existido de incorporar información relativa a la ganadería -número de cabezas, composición del ganado...-, si bien no se ha incluido al modelo, esencialmente, por la dificultad de espacializar datos de este tipo y los problemas que a menudo ocasionan, aunque se reconoce la importancia de este factor en dinámicas asociadas a la reducción del suelo de uso agrícola, entre otras.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha abordado de manera exhaustiva el análisis de la dinámica de la ocupación del suelo en la provincia de Valladolid. Para ello, se han analizado las transiciones ocurridas en el periodo 1990-2018, trasladando los mecanismos subyacentes a diversos escenarios futuros mediante el algoritmo de simulación de cambios en el uso y ocupación del suelo Dyna-CLUE. Las principales conclusiones que pueden extraerse del análisis realizado a lo largo del trabajo y en relación con los objetivos planteados son las siguientes.

La provincia de Valladolid se ha caracterizado siempre, y continúa haciéndolo, por una ocupación del suelo eminentemente agrícola, si bien desde la segunda mitad del siglo XX ha experimentado procesos como la desagrarización y la huida del campo, muy dilatados en el tiempo y que han tenido una fuerte repercusión a nivel territorial. Por consiguiente, el medio rural de la provincia, que forma parte de la *España rural interior*, calificada erróneamente como *España vaciada*, ha sufrido un cambio territorial a lo largo de las últimas décadas -y se prevé que continúe dicha tendencia- debido esencialmente al cambio de modelo económico consistente, en primer lugar, en la modernización del campo y “push rural” -de forma que la maquinaria ha ido sustituyendo la mano de obra y, por consiguiente, favoreciendo la desaparición de los empleos agrícolas y el éxodo rural-, y, en segundo lugar, en la industrialización, la terciarización y el “pull urbano”, consistente en la atracción de población a las ciudades y sus áreas de influencia, con motivo de la creación de empleos industriales y terciarios y las mejores condiciones de vida. En todo caso, no solamente no existe un abandono agrícola en la provincia (ni por lo general en el medio rural interior), sino que, actualmente, la agricultura continúa siendo la clave del empleo en muchas comarcas de España, así como en la mayor parte de los municipios pertenecientes al medio rural profundo, de los cuales muchos de ellos se encuentran en Castilla y León y poseen un importante peso agrario.

Por otra parte, tal y como se observa en varios de los mapas de usos del suelo a lo largo del trabajo, la expansión del suelo urbano se debe al imparable proceso de urbanización -y hoy en día del entorno periurbano-, que no solamente no es uniforme, sino que se produce a partir de conjuntos dispersos de viviendas salpicadas en torno a la capital que van ganando terreno a antiguos suelos agrícolas o forestales fruto del crecimiento de los límites de la ciudad. Cabe preguntarse también, por el futuro tan incierto de los espacios rurales, en los cuales, si bien es visible un crecimiento del suelo calificado como urbano en los mapas proyectados al futuro, tal vez esto signifique solamente un incremento del número de residencias secundarias adquiridas en los pueblos por parte de los habitantes de la ciudad o el área metropolitana, pudiendo ser muchos de ellos antiguos emigrantes rurales. A pesar de todo, la transformación territorial que pudiera originarse por un tema tan actual como lo es la necesaria superación del rechazo de lo rural y el impulso y promoción de estos espacios como contenedores de nuevos recursos que no ofrece la ciudad, supone un tema de investigación que va más allá de los objetivos de este trabajo. Además, las transiciones en los usos del suelo que han ocurrido entre los años 1990 y 2018 se encuentran guiadas, a grandes rasgos, por procesos comunes en todo el territorio, y que se han podido identificar e interpretar, en aras de evaluar las claves territoriales o especificidades que puedan diferenciar la provincia de Valladolid de otros territorios.

Por otro lado, realizar proyecciones con las que sea posible, en base a dichas especificidades, simular al futuro la forma en que los usos del suelo continuarán desarrollándose a fin de adoptar medidas políticas y territoriales para favorecer dichos cambios, o, por el contrario, para prevenirlos si estos son indeseables por sus consecuencias ambientales o de otra índole. En cualquier caso, en todos los escenarios planteados los suelos de uso urbano y forestal continuarán extendiéndose, mientras que, a la inversa, el suelo agrícola disminuirá de manera constante. Entre las principales consecuencias en todos estos cambios, destacan, más allá de las económicas o demográficas, las vinculadas al medioambiente, no solamente por la ineludible degradación del medio que puedan suponer procesos tales como la expansión urbana o la deforestación, sino por la apremiante necesidad de frenar y combatir el actual proceso de cambio climático, cuyos efectos son cada vez mayores y más extensos en el espacio y en el

tiempo. Empero, tampoco debe obviarse que, analizado el panorama actual y las perspectivas de futuro, nos encaminamos hacia una sociedad cada vez más compleja y multifuncional en la que cada vez habrá un menor número de agricultores, mientras que, sin embargo, el espacio rural continuará siendo fundamentalmente agrario.

Sin ánimo de reiterar una vez más todos los temas ya tratados con anterioridad, tan solo se pretende insistir en que aún es pronto para prever cambios irremediables en la dinámica territorial, ni el panorama es tan alarmante como se refleja en los medios de comunicación, y que, por tanto, los próximos años serán cruciales a la hora de implantar, verbigracia, medidas territoriales destinadas a combatir el vigente calentamiento global, impulsado por acciones antrópicas tales como la contaminación atmosférica. Así pues, es indispensable llevar a cabo un diagnóstico acertado de la realidad actual y la eficiencia de las medidas y acciones territoriales presentes y futuras, para lo cual es menester adoptar una visión prospectiva en base al conocimiento de las tendencias del pasado y de los recursos territoriales actualmente disponibles.

Por todo ello, se ha tratado, en definitiva, de convertir un conjunto de datos geográficos, a los que se puede acceder mediante determinados portales de información o infraestructuras de datos espaciales, en información útil que ha permitido, a partir de un enfoque puramente geográfico, el análisis, interpretación y representación de las distintas transiciones entre coberturas y usos del suelo que han dado lugar durante las últimas décadas en la provincia. Todo ello ha posibilitado el ajuste de modelos de regresión, de los cuales han podido obtenerse relaciones específicas con las que ha sido factible no solamente hallar posibles asociaciones entre distintas variables de componente geográfica o territorial - tales como la complejidad del terreno u otras características del territorio- y las transiciones mencionadas, sino también la predicción del modo en que estas evolucionarían en las próximas décadas a partir del mencionado modelo predictivo Dyna-CLUE. A grandes rasgos, la distancia a núcleos de población y carreteras han sido los principales factores que explican transiciones del suelo urbano, mientras que la pendiente y orientación han tenido mayor relevancia para las transiciones de usos agrícolas y forestales. En definitiva, los análisis y simulaciones posibilitan la capacidad de anticiparse (y eludir) a algunas de las repercusiones negativas que puedan originarse. Por esta razón, tanto el estudio geográfico del territorio, de cara a su comprensión, como el proceso técnico que se ha seguido, en aras de obtener resultados a nivel gráfico y cuantitativo, han supuesto dos métodos insoslayables a la hora de cumplir con los objetivos propuestos al principio del trabajo.

Finalmente, se pretende transmitir una vez más la importancia de la Geografía y la Ordenación del Territorio como pilar y pionera en el análisis y estudio global, integrado y holístico del territorio y de todos los procesos que se desarrollan en él, a pesar de que sus objetivos y nivel de detalle variarán, como es lógico, dependiendo del nivel o escala a la que se esté trabajando. De esta manera, la envergadura de las Tecnologías de la Información Geográfica como soporte de la Geografía a la hora de representar la realidad o profundizar más en ella no solo se manifiesta por sí sola, sino que además evidencia que las TIG suponen un conjunto de herramientas que van más allá de lo puramente técnico, constituyendo en sí mismas una ciencia capaz de dar sentido y de interpretar los diferentes problemas territoriales, pasados y actuales, así como de plantear soluciones a los mismos, entre otros medios mediante la aportación de información cuantitativa con la que posibilitar un seguimiento más exacto del tema de estudio o la capacidad de establecer comparaciones entre distintos territorios que puedan servir de base para futuras estrategias de carácter territorial.

FUENTES UTILIZADAS

La bibliografía consultada se ha estructurado en dos apartados: referencias bibliográficas (publicaciones con autoría) y otras fuentes (organismos oficiales, páginas de descarga de información geográfica, noticias de periódicos y páginas web).

Referencias bibliográficas

- Bacău, S., Domingo, D., Palka, G., Pellissier, L., & Kienast, F. (2022). Integrating strategic planning intentions into land-change simulations: Designing and assessing scenarios for Bucharest. *Sustainable Cities and Society*, (76), 103446.
- Baraja, E. (1995). Panorama actual del asociacionismo agrario en Castilla y León y análisis de su estado en la provincia de Valladolid. *Ería*, (37), pp. 177-191. Departamento de Geografía, Universidad de Valladolid.
- Bellet, C. (2007). Los nuevos espacios residenciales: estructura y paisaje. En VVAA: Espacios públicos, espacios privados: un debate sobre el territorio. *Santander, AGE, Gobierno de Cantabria, Departamento de Geografía, Urbanismo y O. T./Universidad de Cantabria*, pp. 93-130.
- Benayas, J. R., Martins, A., Nicolau, J. M., & Schulz, J. J. (2007). Abandonment of agricultural land: an overview of drivers and consequences. CAB reviews: *Perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources*, 2(57), pp. 1-14.
- Brandis, D. (2007). Los espacios residenciales españoles en el cambio de siglo. En VVAA: Espacios públicos, espacios privados: un debate sobre el territorio. *Santander, AGE. Gobierno de Cantabria, Departamento de Geografía urbanismo y O. T. /Universidad de Cantabria*, pp. 25-54.
- Bullón, T. (1984). El interés de las representaciones gráficas en la interpretación de la estructura y la dinámica del medio físico. El ejemplo de los matorrales supraforestales del sector occidental de la Sierra de Guadarrama. En *Anales de geografía de la Universidad Complutense*. Ediciones Complutense.
- Burriel, E. (2008). La ‘década prodigiosa’ del urbanismo español (1997-2006). *Scripta Nova*, (64), (Vol. XII, 270). 1 de agosto de 2008. Disponible en <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-270/sn-270-64.htm>.
- Calderón, B. (2004). El paisaje geográfico de la provincia de Valladolid. *I Curso de Verano sobre el Patrimonio Histórico Artístico de la provincia de Valladolid*.
- Calderón, B., & García, J. L. (2014). Capitalidad política regional y cambios en la estructura urbana de Valladolid (1987-2012). *Estudios Geográficos* (Vol. LXXV, 276), pp. 97-138.
- Collantes, F., & Pinilla, V. (2004). Extreme depopulation in the Spanish rural mountain areas: a case study of Aragon in the nineteenth and twentieth centuries. *Rural History*, 15(2), pp. 149-166.
- Corbillón, A. (2022, Octubre 23). «Los montes de pequeña superficie sufren un abandono total». *El Norte de Castilla*.
- Cubero, D. (2014). *Evolución y diagnóstico de la extracción de recursos maderables y leñosos en montes de la provincia de Valladolid* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Valladolid]. UVaDOC. Disponible en <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/5819>
- Dagnino, J. (2014). Coeficiente de correlación lineal de Pearson. *Chil Anest*, 43(1), pp. 150-153.
- Das, P., Behera, M. D., Pal, S., Chowdary, V. M., Behera, P. R., & Singh, T. P. (2019). Studying land use dynamics using decadal satellite images and Dyna-CLUE model in the Mahanadi River basin, India. *Environmental monitoring and assessment*, 191(3), pp. 1-17.
- Del Río, J., & Martínez, A. (2010). Valladolid, la provincia de las cuatro paradojas. En *Inventario Nacional Erosión Suelos - Valladolid (Castilla y León)*, pp. 7-21.

- Del Río, J., García-Jiménez, C., & Morán, F. (2009, Septiembre, 21-25). *La repercusión social del programa de forestación de tierras agrarias en la provincia de Valladolid durante los periodos 1993-1999 y 2001-2006. Comparativa y análisis espacial*. [Conference Paper]. 5º Congreso Forestal Español – Montes y sociedad: Saber qué hacer, Ávila. Sociedad Española de Ciencias Forestales. ISBN: 978-84-936854-6-1.
- Díez, J., & Guerra, J. C. (1996). *Valladolid. Paisaje*. Ed. Cáalamo.
- Domingo, D., Palka, G., & Hersperger, A. M. (2021). Effect of zoning plans on urban land-use change: A multi-scenario simulation for supporting sustainable urban growth. *Sustainable Cities and Society*, (69), 102833.
- Fariña, J. & Naredo, J. M. (2010). *Libro Blanco de la sostenibilidad en el Planeamiento Urbanístico Español*. Madrid, Ministerio de la Vivienda.
- Fernández, V. (2007). El papel del planeamiento territorial en la configuración de los espacios residenciales. En VVAA: Espacios públicos, espacios privados: un debate sobre el territorio. Santander, AGE, Gobierno de Cantabria, Departamento de Geografía, Urbanismo y O.T. / Universidad de Cantabria, pp. 55-78.
- Fielding, A. J. (1989). Migration and urbanization in Western Europe since 1950. *The Geographical Journal*, 155(1), pp. 60-69.
- G. Rojo, S. (2022, Septiembre 30). Concluye la campaña de riego con los embalses al 28,8%. *El Norte de Castilla*. Disponible en <https://www.elnortedecastilla.es/somoscampo/concluye-campana-riego-20220930001325-nt.html>
- García, O. (2021). *Las canteras y su problemática con el medio ambiente: el caso-estudio de La Cistérniga* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Valladolid]. UVaDOC. Disponible en <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/51332>
- Gelabert, P. J., Rodrigues, M., Vidal-Macua, J. J., Ameztegui, A., Vega-Garcia, C. (2022). Spatially explicit modeling of the probability of land abandonment in the Spanish Pyrenees. *Landscape and Urban Planning*, (226), 104487.
- Gómez, P., & Ortúñoz, S. F. (2022). Los bosques en el desarrollo de los territorios rurales en España. En E. Moyano (Coord.), *La España Rural: retos y oportunidades de futuro* (1ª ed., Vol. 35), pp. 123-141. Cajamar Caja Rural.
- Goodchild, M. F. (2020). How well do we really know the world? Uncertainty in GIScience. *Journal of Spatial Information Science*, (20), pp. 97-102.
- Jiménez, F. B. G., & Castaño, J. A. A. (2008). El modelo de evaluación de la capacidad de acogida del territorio. Aspectos conceptuales y técnicas relacionadas. BAETICA. *Estudios de Historia Moderna y Contemporánea*, (30), pp. 21-39.
- Lasanta, T., Arnáez, J., Pascual, N., Ruiz-Flaño, P., Errea, M. P., & Lana-Renault, N. (2017). Space-time process and drivers of land abandonment in Europe. *Catena*, (149), pp. 810-823.
- Li, X., Zhou, Y., Hejazi, M. et al. (2021). Global urban growth between 1870 and 2100 from integrated high resolution mapped data and urban dynamic modeling. *Commun Earth Environ* 2, (201). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00273-w>
- López de Lucio, R. (1993). *Ciudad y urbanismo a finales del siglo XX*. Universitat de Valencia, Servicio de publicaciones.
- López, J. (2004). La residencia secundaria en España: estudio territorial de su uso y tenencia, pp. 181-440.
- Martí, F. P., & Myro, R. (2006). Impacto potencial del PEIT sobre la accesibilidad del territorio español por carretera. *Economistas*, 24(110), pp. 81-88.
- Molinero, F. (2012). Fundamentos de Geografía.

- Molinero, F. (2022). Caracterización, representación cartográfica y perspectivas del espacio rural de España. En E. Moyano (Coord.), *La España Rural: retos y oportunidades de futuro* (1^a ed., Vol. 35), pp. 19-44. Cajamar Caja Rural.
- Molinero, F., & Alario, M. (2022). *Una mirada geográfica a la España rural*. Ed. Revives. ISBN: 978-84-09-41132-0
- Ojosnegros, A. (2019, Abril 19). Piñel de Abajo y Viloria, a la vanguardia en Castilla y León en el cultivo de la trufa. *El Norte de Castilla*. Disponible en <https://www.elnortedecastilla.es/valladolid/pinel-abajo-viloria-20190419223054-nt.html>
- Paniagua, A. (2022, Octubre 23). «Respirar comienza a ser algo peligroso». *El Norte de Castilla*.
- Pérez, S. (2017). *Áreas industriales vacías en torno a la ciudad de Valladolid: del optimismo a la crisis* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Valladolid]. UVaDOC. Disponible en <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/27954>
- Quiroga, D. R., Coronato, A., Ángeles, G. R., & del Valle, H. F. (2020). Zonificación de áreas susceptibles a procesos erosivos en laderas desencadenados por la ganadería extensiva, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 29(2), pp. 75-94.
- Rodríguez-Jaume, M. J., & Mora, R. (2001). Análisis de regresión múltiple.
- Sánchez, D. (2007). Principios de planificación territorial.
- Santa Eufemia, A. (2016). *La producción de suelo y la configuración de los Espacios Industriales en Valladolid* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Valladolid]. UVaDOC. Disponible en <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/17563>
- Saravia, M. (2015, Octubre 21). *Espacio industrial en el PGOU. Propuestas sobre el Racimo Agroalimentario. Propuestas sobre infraestructuras*. Ciclo de debates «Pensar y vivir Valladolid»: construyendo una ciudad en común. Concejalía de Urbanismo, Infraestructuras y Vivienda. Valladolid.
- Taboada, B. (2021). *Estudio de impacto ambiental de una planta solar fotovoltaica en una parcela de 80 ha útiles en el término municipal de Villalba de los Alcores (Valladolid)* (Trabajo Fin de Máster, Agronómica).
- Tizora, P., Le Roux, A., Mans, G., & Cooper, A. K. (2018). Adapting the Dyna-CLUE model for simulating land use and land cover change in the Western Cape Province. *South African Journal of Geomatics*, 7(2), pp. 190-203.
- Vela, V. M. (2008, Diciembre 22). ¿Un desierto en Valladolid? *El Norte de Castilla*. Disponible en <https://www.elnortedecastilla.es/20081222/valladolid/deserto-valladolid-20081222.html>
- Verburg, P. H. (2010). *The CLUE Modelling Framework. The Conversion of Land Use and its Effects*. En Institute for Environmental Studies. Environmental Geography. Disponible en <http://environmentalgeography.nl/files/data/public/cluemannual>
- Verburg, P. H., & Overmars, K.P. (2009). Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. *Landscape Ecology*, 24(9), pp. 1167-1181. ISSN: 0921-2973. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-009-9355-7>
- Vidal-Macua, J. J. (2017). *Análisis de factores determinantes de las transiciones forestales y el abandono de cultivos en el ámbito mediterráneo. Un modelo de dinámica de cubiertas del suelo basado en Teledetección, SIG y Boosted Regression Trees* (Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona).
- Vidal-Macua, J. J., Ninyerola, M., Zabala, A., Domingo-Marimon, C., Gonzalez-Guerrero, O., & Pons, X. (2018). Environmental and socioeconomic factors of abandonment of rainfed and irrigated crops in northeast Spain. *Applied Geography*, (90), pp. 155-174.

Wang, Y., van Vliet, J., Debonne, N., Pu, L., & Verburg, P. H. (2021). Settlement changes after peak population: Land system projections for China until 2050. *Landscape and Urban Planning*, (209), 104045.

Ynouye-Francés, M., Ramos-Rodríguez, M. P., Martínez-Becerra, L. W., Cabrera-Reina, J. M., González-Rodríguez, R., & Duany-Dangel, A. (2021). Causalidad de los incendios forestales en Pinar del Río, Cuba (1975-2018). *Colombia forestal*, 24(2), pp. 24-38.

Otras fuentes

Ayuntamiento de Valladolid (2012). Revisión del Plan General de Ordenación Urbana de Valladolid. Los barrios de Valladolid.

Consejo de Europa (2000). Convenio Europeo del Paisaje. En Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible en https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/planes-y-estrategias/desarrollo-territorial/090471228005d489_tcm30-421583.pdf

Copernicus Climate Data Store (2022). ERA5 monthly averaged data on single levels from 1959 to present (1990-2018). Disponible en <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home> [Consulta de junio de 2022].

European Union, Copernicus Land Monitoring Service 2022, European Environment Agency (EEA) (2022). Corine Land Cover 1990 y 2018. En Instituto Geográfico Nacional, Centro Nacional de Información Geográfica. Disponible en <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> [Consulta de junio de 2022].

Instituto Geográfico Nacional (2010). Modelo Digital del Terreno – MDT25. En Centro Nacional de Información Geográfica. Disponible en <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> [Consulta de junio de 2022].

Instituto Geográfico Nacional (2021). Base Topográfica Nacional – BTN. En Centro Nacional de Información Geográfica. Disponible en <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> [Consulta de junio de 2022].

Instituto Nacional de Estadística (2021). Cifras oficiales de población. En Padrón, Población por municipios. Disponible en <https://www.ine.es/>

Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (2022). Sistema de Información Geográfica de parcelas agrícolas. Disponible en <https://www.itacyl.es/agro-y-geo-tecnologia/descarga-datos-geograficos/sigpac> [Consulta de junio de 2022].

Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid (1998). Directrices de Ordenación de ámbito subregional de Valladolid y Entorno.

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico (2021). Cuarto inventario Forestal Nacional. Valladolid. En MITECO, Gobierno de España. ISBN: 978-84-18508-65-3. Disponible en https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/ifn4_valladolid_tcm30-536205.pdf.

Naciones Unidas (2014). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Disponible en <https://www.un.org/es/>

Vrije Universiteit Amsterdam (2022). CLUE model. En Institute for Environmental Studies. Environmental Geography. Disponible en <https://www.environmentalgeography.nl/site/data-models/data/clue-model/>

ANEXO I: CARTOGRAFÍA DE LOS FACTORES DE LOCALIZACIÓN

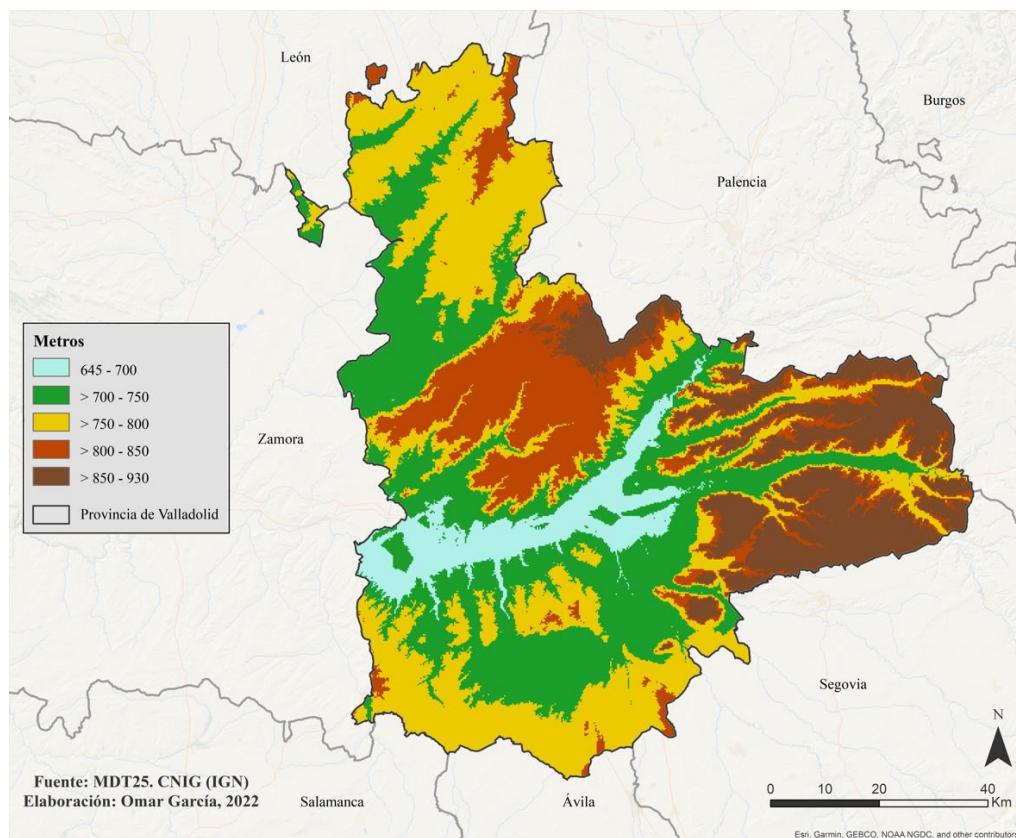


Figura 15. Modelo Digital de Elevaciones -altitud- de la provincia de Valladolid. Elaboración propia

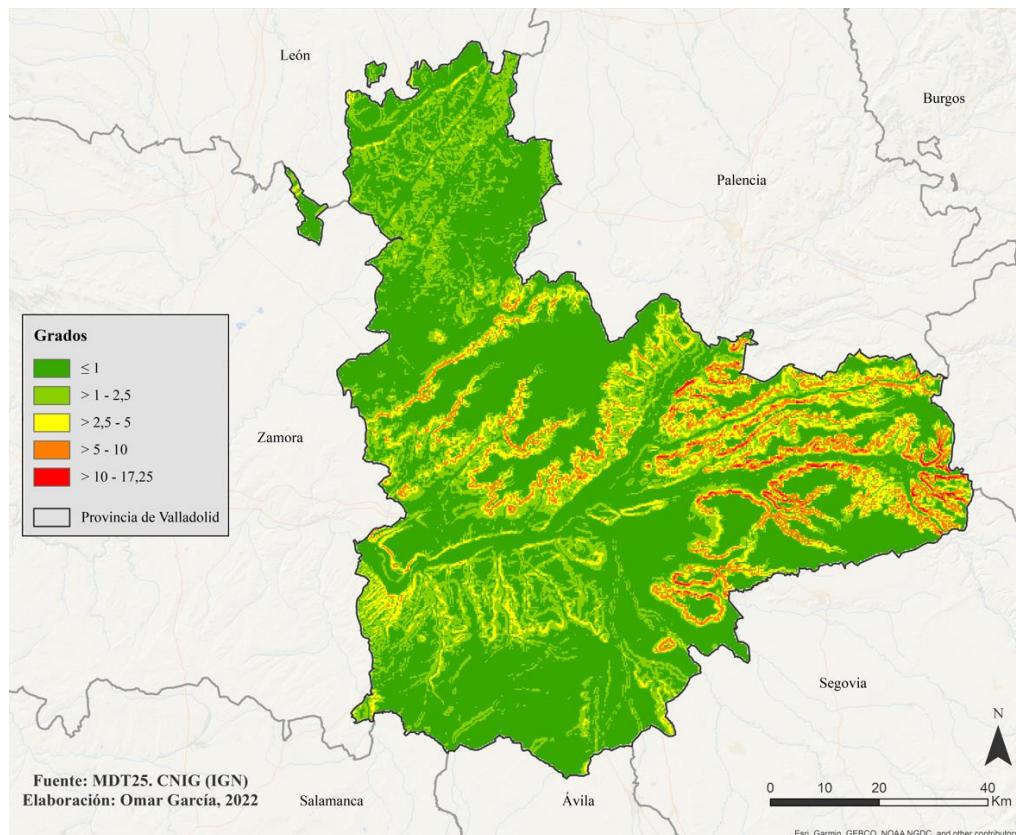


Figura 16. Mapa de pendientes del terreno de la provincia de Valladolid. Elaboración propia

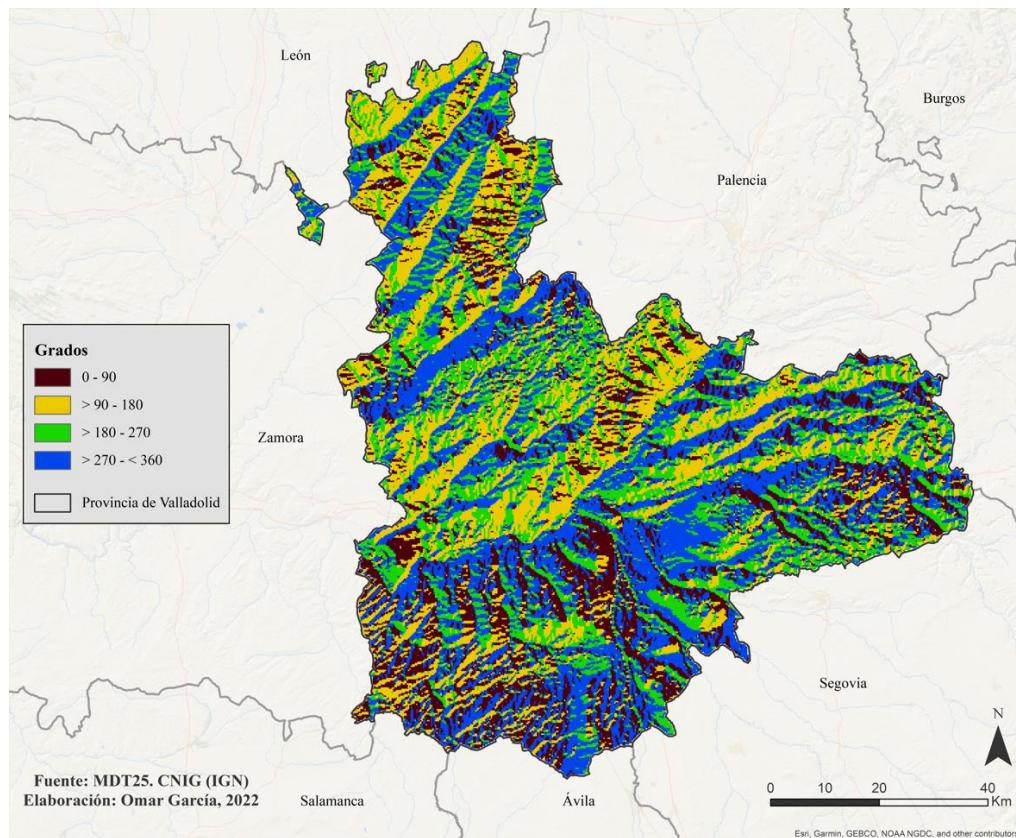


Figura 17. Mapa de orientación del terreno de la provincia de Valladolid. Elaboración propia

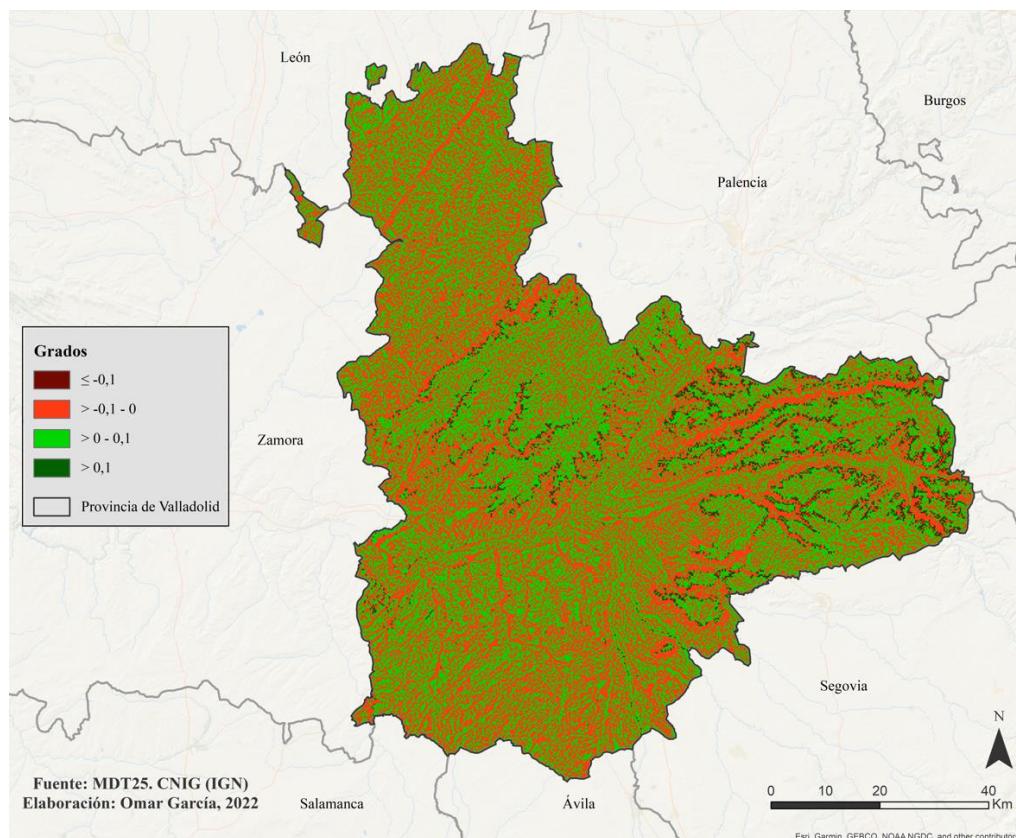


Figura 18. Mapa de curvatura del terreno de la provincia de Valladolid. Elaboración propia

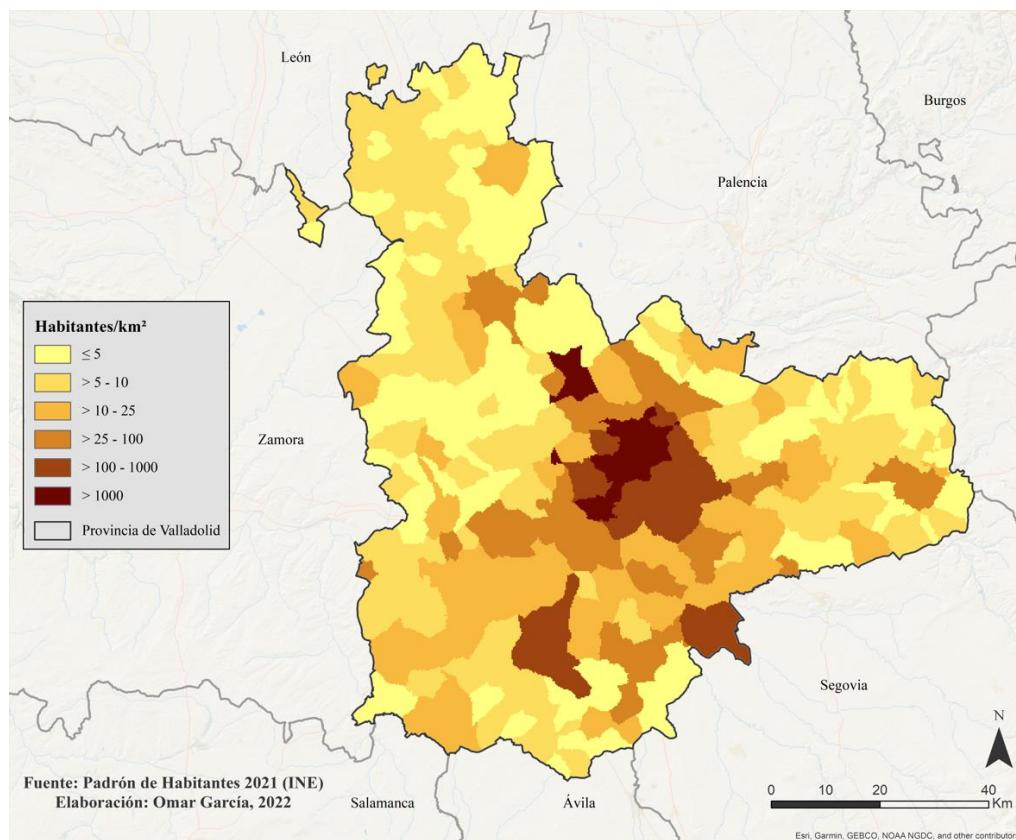


Figura 19. Densidad de población por municipios de la provincia de Valladolid (2021). Elaboración propia

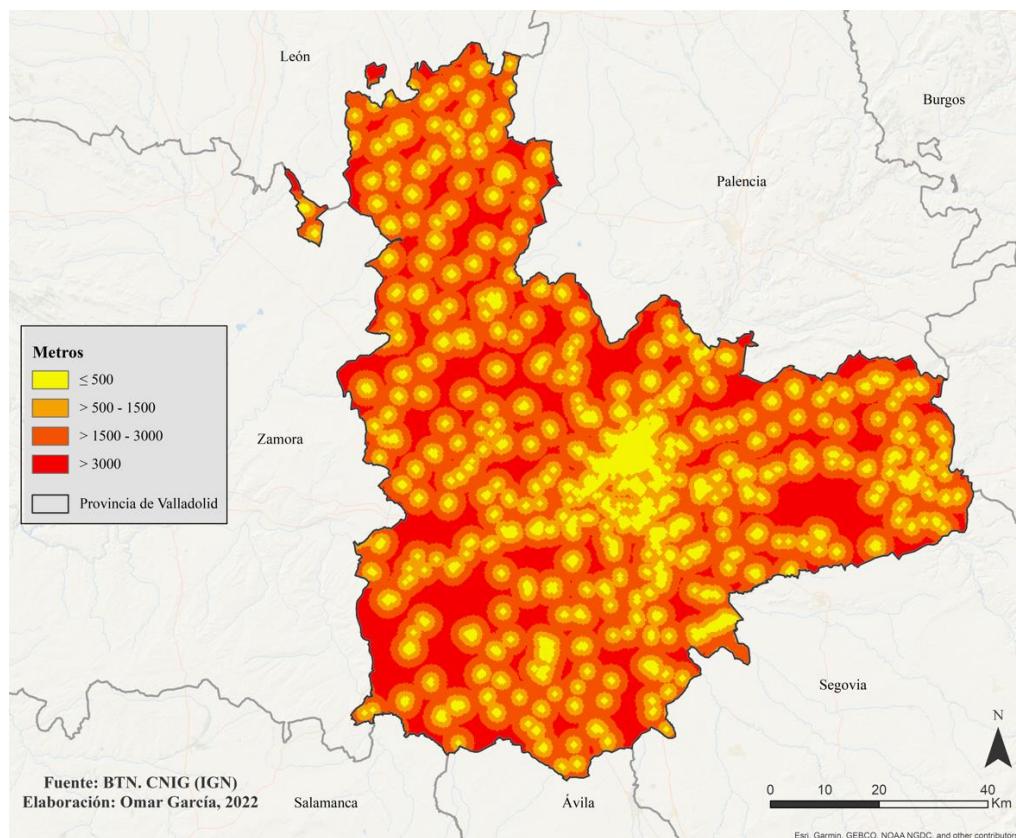


Figura 20. Distancia a los núcleos de población de la provincia de Valladolid. Elaboración propia

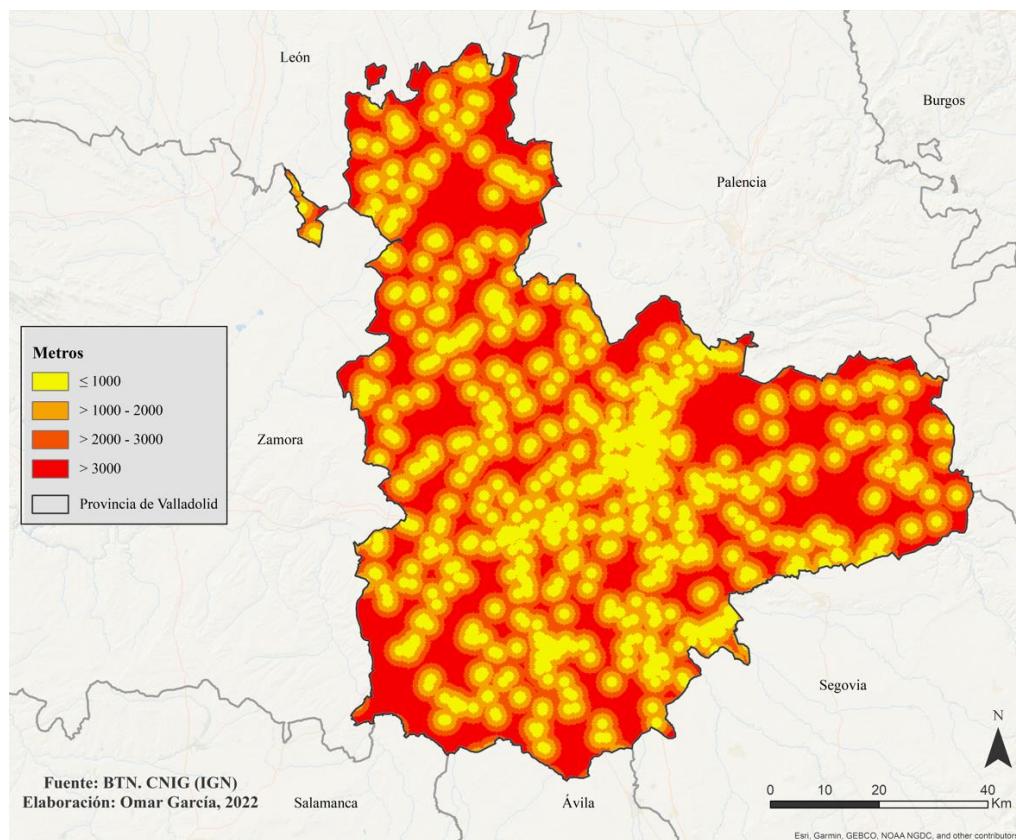


Figura 21. Distancia a las instalaciones industriales de la provincia de Valladolid. Elaboración propia

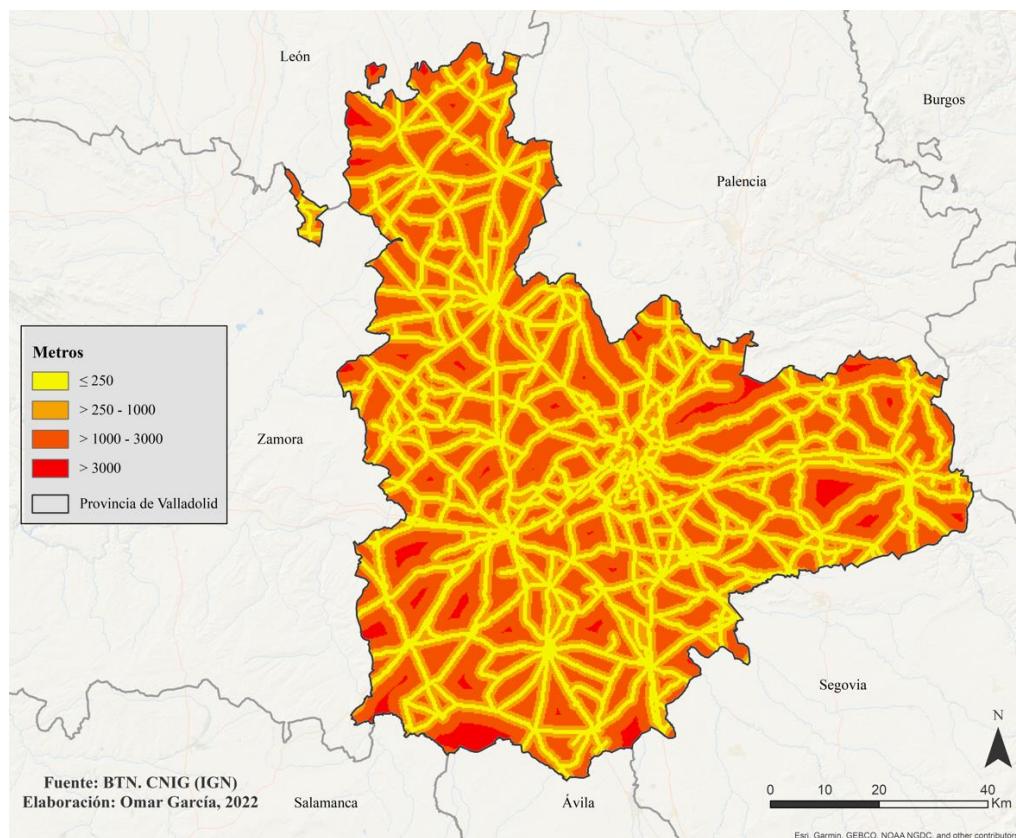


Figura 22. Distancia a las principales infraestructuras de transporte -carreteras- de la provincia de Valladolid. Elaboración propia

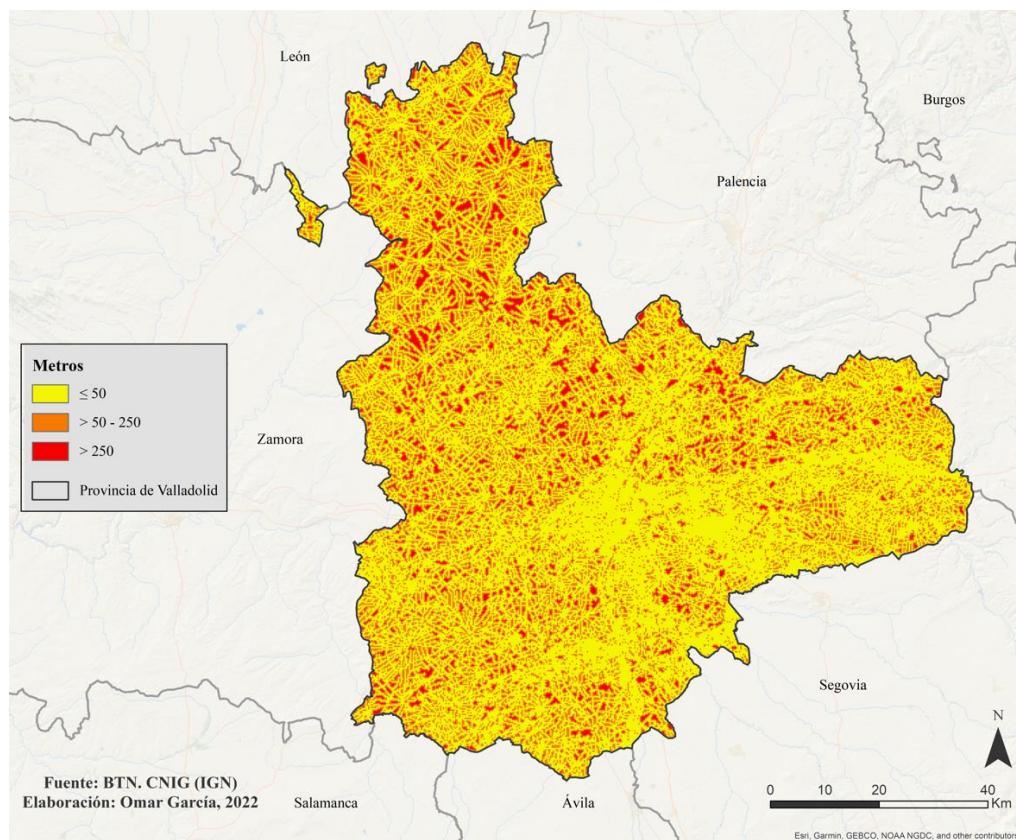


Figura 23. Distancia a otras vías de comunicación y transporte -caminos y sendas- de la provincia de Valladolid. Elaboración propia

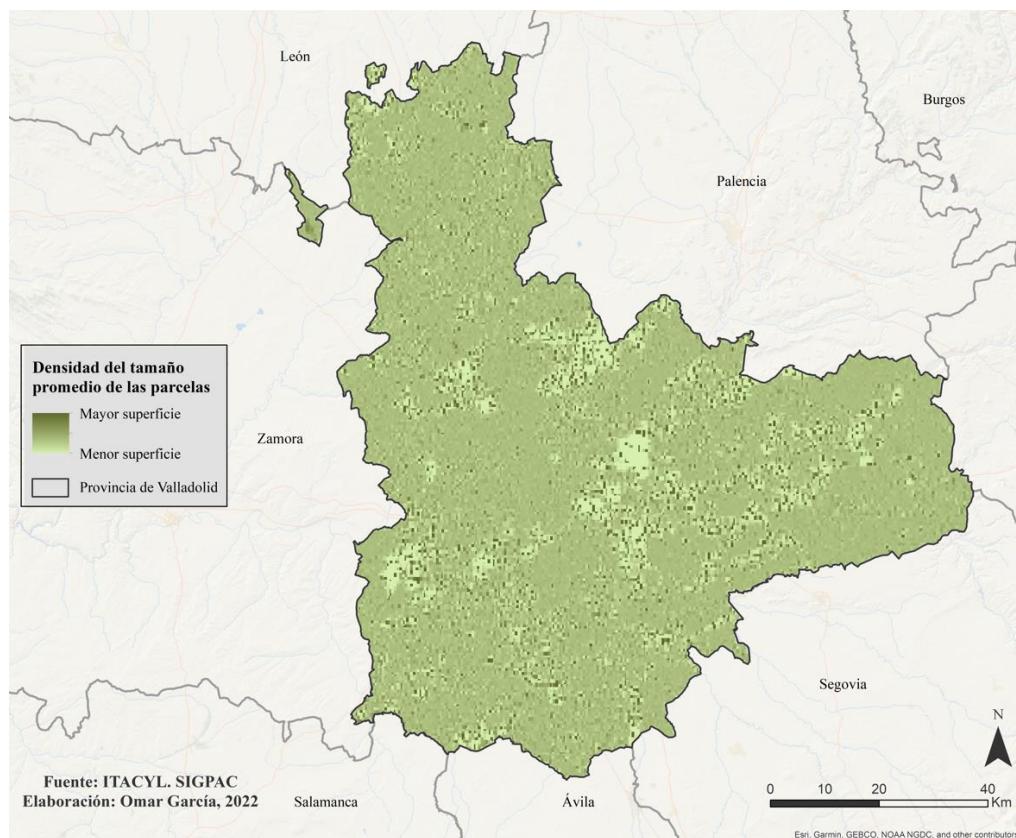


Figura 24. Tamaño promedio de las parcelas agrícolas de la provincia de Valladolid. Elaboración propia

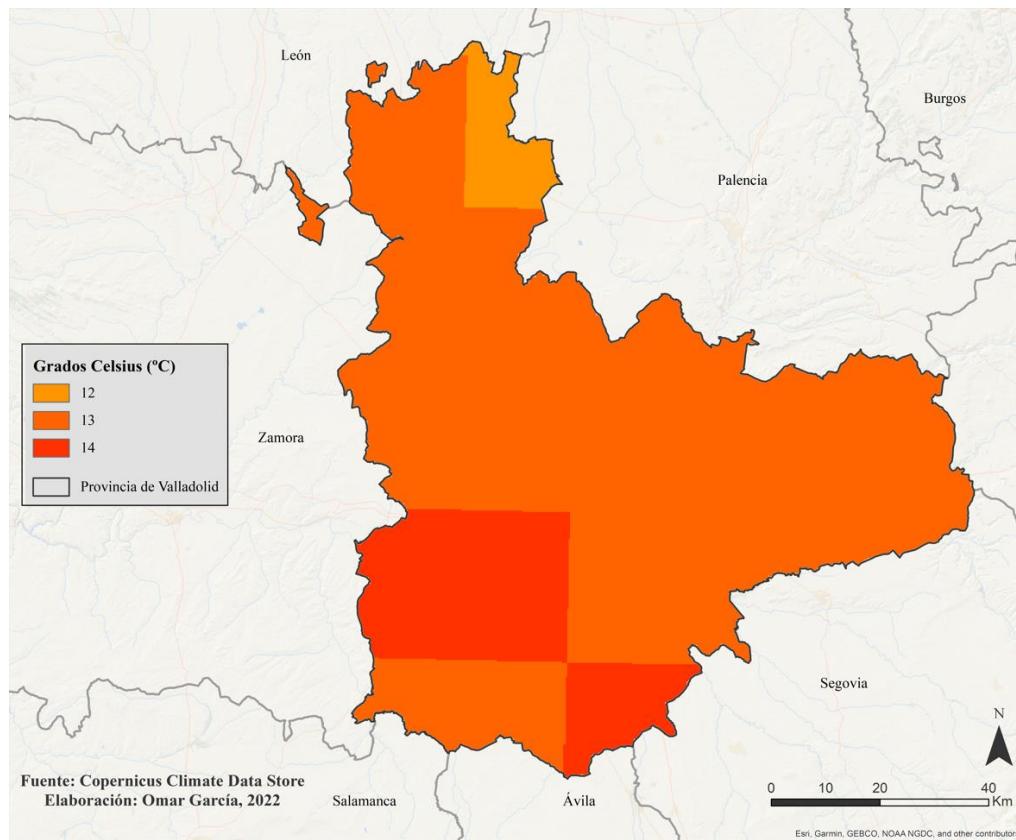


Figura 25. Temperatura media anual de la provincia de Valladolid (1990-2018). Elaboración propia

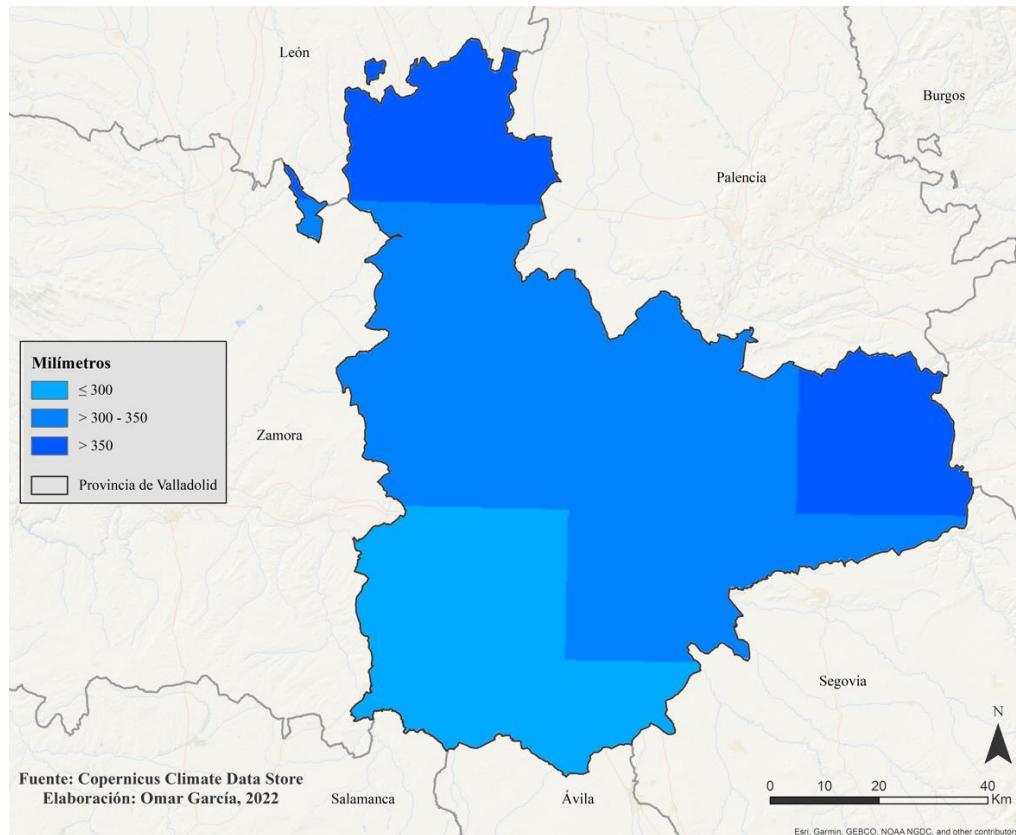


Figura 26. Precipitación total anual de la provincia de Valladolid (1990-2018). Elaboración propia

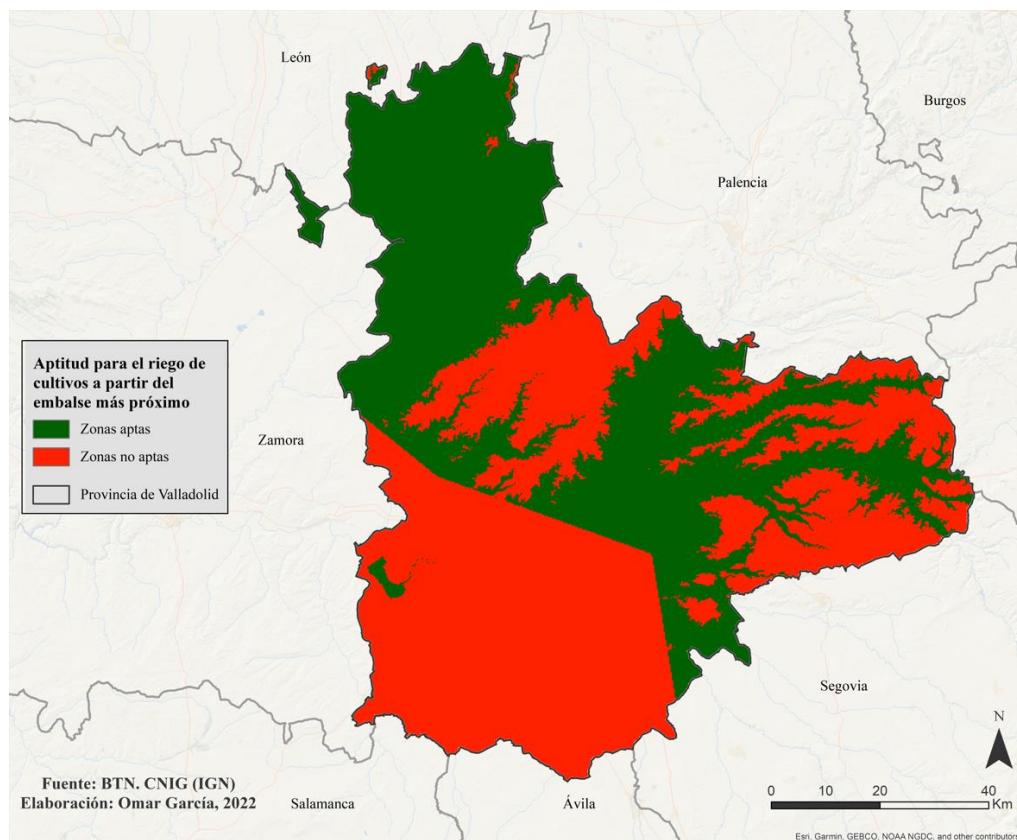


Figura 27. Capacidad de riego agrícola por el embalse más próximo en función de la cota en la provincia de Valladolid. Elaboración propia

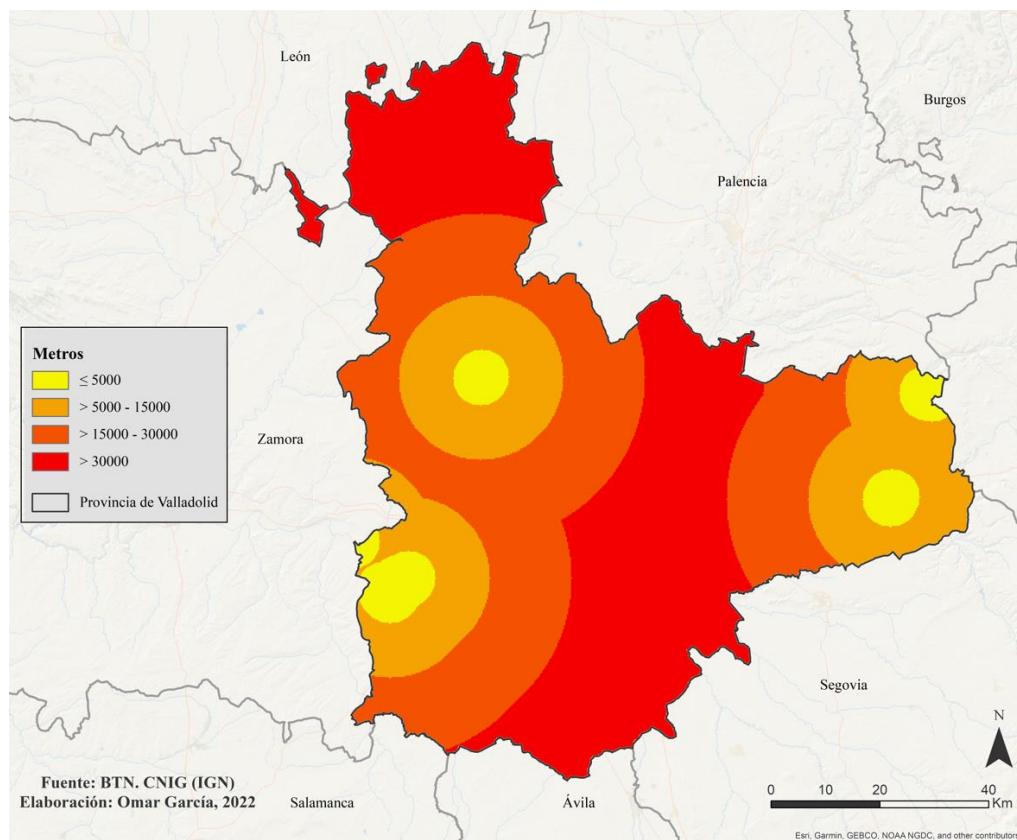


Figura 28. Distancia a los embalses de la provincia de Valladolid. Elaboración propia