

Dinámica del paisaje en las Arribes del Duero (Salamanca, España): aplicación de SIG y métricas fisiográficas

*Landscape Dynamics in Arribes del Duero (Salamanca, Spain): Application of
GIS and Physiographic Metrics*

José Delgado Álvarez*
UNED

Cátedra de Población, Vinculación y Desarrollo
Grupo de Investigación «Sociedad, Paisaje y Patrimonio- GeoSpace»
<https://orcid.org/0000-0002-4729-3678>
jdelgado@zamora.uned.es

Carlos Javier Pardo Abad
UNED

Grupo de Investigación «Sociedad, Paisaje y Patrimonio- GeoSpace»
<https://orcid.org/0000-0003-2173-1438>
cjpardo@geo.uned.es

Recibido: 02-05-2024; Revisado: 10-05-2024; Aceptado: 09-07-2024

Resumen

El presente artículo es una aproximación metodológica de análisis del paisaje, cambios de usos del suelo y cuantificación de las variaciones registradas en la comarca de las Arribes del Duero (Salamanca, España), a través de la implementación de técnicas de métrica fisiográfica y el uso de los Sistemas de Información Geográfica. La evolución de los usos y coberturas del suelo acaecida en el mundo rural español, paralela en gran medida a su dinámica demográfica de despoblación y envejecimiento, ha suscitado el interés de su estudio. Este hecho se ha intensificado, más si cabe, en aquellas regiones cuyas singularidades geográficas han servido como impulsor de medidas de conservación, convirtiéndose estas al mismo tiempo en factores limitantes de la mecanización e intensificación, avocando por tanto su futuro hacia la reducción de la actividad agraria y el abandono. El desarrollo cartográfico debe ser considerado el elemento clave en la investigación de las transformaciones territoriales. Su análisis, a través de la aplicación de los índices o métricas de paisaje, dará un modelo evolutivo concreto.

Palabras clave: paisaje, métricas de diversidad, matriz de tabulación, usos del suelo, sistemas de información geográfica.

*Autor de correspondencia / *Corresponding author.*

Abstract

This article is a methodological approach to landscape analysis, changes in land use and quantification of the variations registered in the Arribes del Duero (Salamanca, Spain), region through the implementation of physiographic metric techniques and the use of Geographic Information Systems. The evolution of the uses and covers of the land that occurred in the Spanish rural world, largely parallel to its demographic dynamics of depopulation and aging, has aroused the interest of its study. This fact has intensified, even more so, in those regions whose geographical singularities have served as a driver of conservation measures, becoming at the same time limiting factors of mechanization and intensification, thus turning their future towards the reduction of agricultural activity and abandonment. Cartographic development must be considered the key element in the investigation of territorial transformations. Its analysis, through the application of landscape indices or metrics, will give a specific evolutionary model.

Keywords: Landscape, Diversity Metrics, Tabulation Matrix, Land Uses, Geographical Information Systems.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de la estructuración territorial, de la composición paisajística y de sus dinámicas de cambio son objetos principales de la ciencia de la Ecología del Paisaje (EP) (FARINA, 2006; VILA *et al.*, 2006), cuya propuesta metodológica se focaliza principalmente en la morfología y la funcionalidad de los diferentes elementos que integran el carácter fisiográfico de una determinada región (FORMAN y GODRON, 1986; FORMAN, 1997; VÁSQUEZ, 2002; VILA *et al.*, 2006). Esta técnica de análisis territorial alcanza su mayor relevancia a partir de la década de 1980¹ (FARINA, 2006). La publicación del primer manual sobre la EP, desarrollado por RICHARD T. T. FORMAN y MICHEL GODRON en el año 1986, titulado «Landscape Ecology» fijó las bases metodológicas, hecho que propulsó su utilización como herramienta de estudio paisajístico, reflejado en el incipiente número de investigaciones publicadas a partir de entonces. TURNER y GARDNER (1991) señalan que cuantificar y jerarquizar paisajes a través de valores numéricos obtenidos de la aplicación de índices fisiográficos propios de la EP representa un progreso para la investigación territorial. Este tipo de estudios permiten abordar análisis paisajísticos de una forma más completa (DE LA RIVA *et al.*, 2015), generando una valiosa y útil información que facilita la identificación y caracterización de los diferentes componentes que integran el paisaje (VILA *et al.*, 2006). Al mismo tiempo, esta técnica ayudará a simplificar el laborioso procedimiento propio de la interpretación paisajística. Por su parte, MATEUCCI y SILVA (2005) analizaron, a través de la conjugación de los índices de la EP y las imágenes de satélite, la dinámica paisajística de la región de la Pampa (Argentina). Sus resultados ayudaron a definir áreas en función del grado de alteración, identificando al mismo tiempo los espacios de mayor vulnerabilidad. AGUILERA (2010) mostró

¹ Esta técnica de análisis fisiográfico tiene su origen en la propuesta del geógrafo alemán Carl TROLL (1939), quien define la Ecología del Paisaje como «el estudio del complejo de elementos interactuantes entre la asociación de seres vivos (biocenosis) y sus condicionantes ambientales, los cuales actúan en una parte específica del paisaje».

la importancia de las métricas propias de la EP como herramientas de análisis urbanístico en el Área Metropolitana de Granada (España). A través de ellos puso en valor el crecimiento urbano experimentado y realizó simulaciones futuras, justificando de este modo su aplicabilidad como mecanismo de gestión y ordenación territorial. LEÓN y GUTIÉRREZ (2014), de forma similar, señalaron que las métricas del paisaje, así como los programas a través de los cuales se implementan, deben ser considerados elementos que proporcionan una valiosa información, siendo esta clave en la política territorial.

La EP continúa siendo a día de hoy una realidad metodológica de análisis territorial, cuya creciente aplicación motiva su continua actualización y evolución, sirviendo de ejemplo la renovación realizada por FORMAN (1995), cuya base metodológica toma como ejemplo el análisis de la tesela, el corredor y la matriz. A ello puede incluirse el desarrollo de softwares especializados en la implementación de las métricas de paisaje de la EP, entre los que destaca el programa FRAGSTATS, desarrollado por MCGARIGAL y MARKS (1995) y renovado por MCGARIGAL (2015). Según WU (2013), la combinación de las métricas del paisaje con las actuales bases cartográficas, propias de la teledetección, y con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), puede constituir una herramienta muy útil para el análisis y la gestión espacial. ARROYO-RODRÍGUEZ *et al.*, (2017) concluyen su investigación identificando numerosas utilidades futuras de esta técnica. La identificación precisa de los cambios espaciales cuantificados en un determinado territorio, así como las causas y efectos de los mismos, fin último de su desarrollo, se complementan con el fomento de la conservación de especies, la mejora en el bienestar humano, la sostenibilidad ambiental, la conservación de la diversidad, las repercusiones del cambio climático y la simulación y predicción (BERLING-WOLF y WU, 2004; FRANCO *et al.*, 2005; KEINER y ARLEY, 2007; AGUILERA, 2008; LI *et al.*, 2008).

Debido a lo señalado, la posible conjugación de esta técnica con otros procedimientos estadísticos puede permitir análisis más pormenorizado. A partir de aquí damos protagonismo a la «matriz de tabulación cruzada», cuyo procedimiento metodológico, desarrollado por PONTIUS *et al.*, (2004), toma como referencia una matriz de doble entrada que recoge la información superficial que conforman cada una de las categorías que integran un paisaje en cuestión en dos periodos de tiempo concretos. Es considerada una herramienta imprescindible en el análisis de los cambios entre coberturas del suelo, como así la definen CATALÁ *et al.*, (2008), cuya implementación les sirvió para poder cuantificar los cambios entre las diferentes coberturas en la Comunidad de Madrid entre los años de 1987 y 2000. PINEDA *et al.* (2009), de un modo similar, a través esta técnica identificaron la dinámica de transición registrada entre categorías, permitiendo explicar las transiciones acaecidas entre diferentes áreas boscosas en el Estado de México. SILVA y RUBIO (2014), por su parte, utilizaron este procedimiento metodológico para cuantificar el cambio de los usos del suelo en la Delegación Municipal de Ingeniero White, Ciudad de Bahía Blanca, Argentina, en un periodo de 45 años. Al mismo tiempo, este mecanismo de análisis espacial sirve para describir las probabilidades de cambio, la transición futura desde una categoría a otra, respondiendo a la susceptibilidad que presenta un uso del suelo concreto

para ser transformado o sustituido por otro diferente (SANDOVAL y OYARZUN, 2004), condicionado en todo momento por la estabilidad de la línea de tendencia analizada previamente (LÓPEZ *et al.*, 2001). En consecuencia, su empleabilidad y versatilidad motivan que esta técnica pueda ser un complemento idóneo para la EP.

En función de lo señalado se plantea el objetivo principal de esta investigación, que consiste en aplicar las métricas de análisis propias de la EP, en conjunción con la metodología de la «matriz de tabulación cruzada», ante el fin de identificar y analizar la fisonomía territorial, hacer visibles los cambios de los usos y coberturas del suelo, definir las líneas de tendencia, y conocer la probabilidad futura, justificando de este modo los mecanismos de análisis tomados en consideración y la relevancia de su combinación. Al mismo tiempo, se pretende con este estudio mostrar el proceso de reestructuración paisajística registrado en un espacio de gran valor medioambiental y cultural, como es el Parque Natural Arribes del Duero, durante el periodo comprendido entre los años de 1980 y 2018. Las singularidades que caracterizaban los espacios rurales, con base en los sistemas agrarios tradicionales adaptados a las condiciones físicas del medio y condicionados en gran medida por el aislamiento, han sido, y continúan siendo, notablemente alteradas (GARCÍA-RUIZ y LASANTA-MARTÍNEZ, 1990; LASANTA y VICENTE-SERRANO, 2006), hecho que responde al incremento de la industrialización y urbanización, al cambio climático y al boom de las tecnologías y las comunicaciones, entre otros factores (FORMAN, 1995; ANTROP, 2000; EEA, 2006; GARCÍA-RUIZ, 2010; SÁNCHEZ y FRANCO, 2022). La subsistencia y la mayor densidad de población de otros tiempos han dado paso al consumo globalizado y a la movilización poblacional (ARMESTO *et al.*, 2018). Como consecuencia, estos espacios han registrado intensos procesos de desarticulación y reestructuración, entre los que destaca la reducción de la actividad y el abandono, considerada como una de las alteraciones humanas que mayor efecto ha tenido en los mismos (DUGUY, 2003), hecho que ha incrementado su vulnerabilidad (PUIGDEFÁBREGAS y MENDIZÁBAL, 1998; JARAÍZ, 2011). A modo de objetivo secundario, se desarrollará una base cartográfica detallada de los usos y coberturas del suelo que componen el área de estudio seleccionada, utilizando para ello los SIG. De este modo, se intentará también justificar la versatilidad de esta herramienta y sus posibilidades como mecanismo imprescindible en el análisis y la ordenación territorial.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se corresponde con el sector sur del Parque Natural Arribes del Duero, en concreto el espacio configurado por los municipios que, formando parte del Parque Natural citado, están integrados en la subcomarca tradicional de El Abadengo. Este territorio (Fig. 1), a partir de aquí denominado «las Arribes del Duero», suma un total de 37.333,2 ha. Su singularidad, conformada por el fuerte encajamiento ejercido por la red hidrográfica sobre materiales paleozoicos, génesis de la geofoma del «arribe» (Fig. 2), así como la presencia de individuos

vegetales y animales adaptados al mismo, y al microclima que a esta se le vincula, y un rico legado cultural, se erigieron como base del establecimiento de las medidas de conservación.

Las rocas ígneas graníticas integran mayoritariamente el conjunto de la penillanura Zamorano-Salmantina. Su relieve ha sido intensamente suavizado como consecuencia de su prolongada exposición frente a los procesos de meteorización (MARINO *et al.*, 2017). Los numerosos cursos fluviales que circunscriben la comarca alteran su monotonía, incidiendo en el basamento a través de la red de fracturas, esculpiendo valles escarpados y generando formaciones geomorfológicas como cañones, cascadas, pozos, etc., de significativa e inusual belleza.

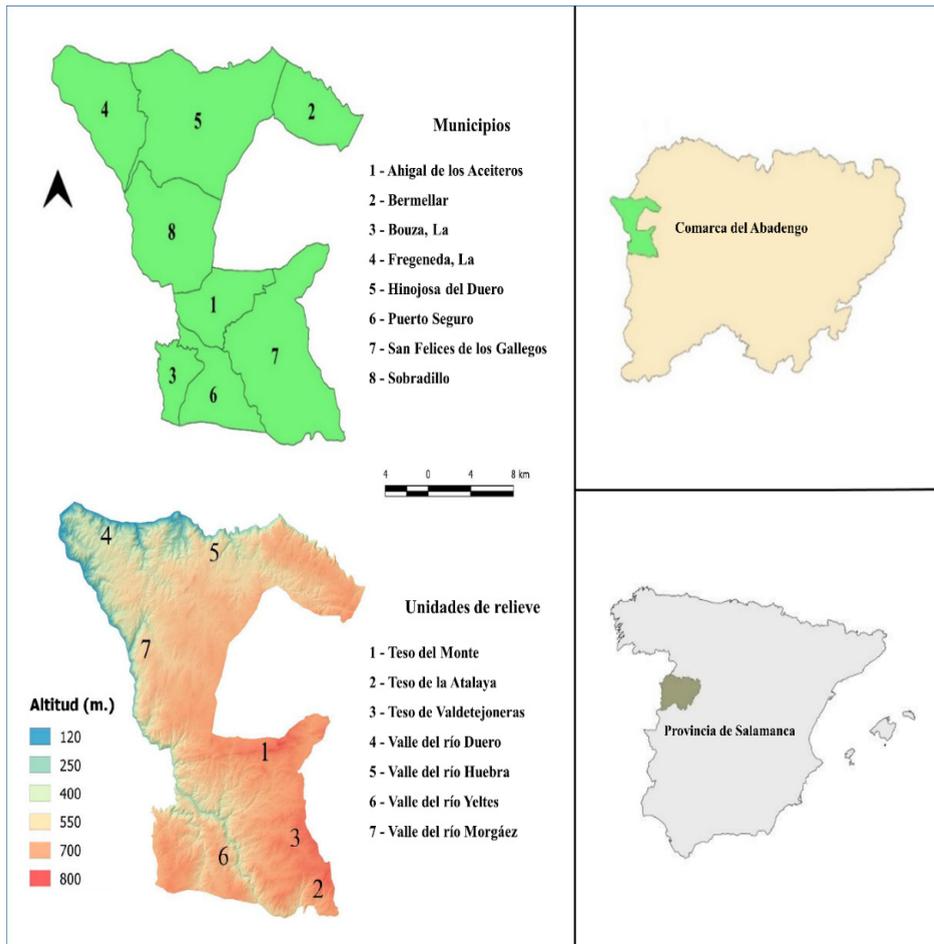


Figura 1. Localización del área de estudio de las Arribes del Duero en la Provincia de Salamanca. Fuente: elaboración propia.

El clima está condicionado por el descenso altitudinal ocasionado por el encajamiento fluvial. En esta área las temperaturas varían notablemente con respecto a las adyacentes. En la penillanura se reduce la temperatura 3°C aproximadamente en relación con las alcanzadas en el espacio de ribera, en cuyo caso se registran promedios anuales entorno a los 11-13°C. En consecuencia, quedan claramente establecidos dos dominios bioclimáticos (MARINO *et al.*, 2020). Por un lado, el piso supramediterráneo, ejemplo del clima mediterráneo continentalizado seco, correspondiente este con la penillanura, al cual se le asocian las series de vegetación *Genisto falcata-Quercetum pyrenaicae* y *Genisto hystricis-Quercetum rotundifoliae*. Por debajo de los 700 m. de altitud se localiza el piso mesomediterráneo, donde las temperaturas se incrementan, se prolongan los veranos y se reduce el periodo de heladas (NAFRÍA *et al.*, 2013). Este hecho fomenta el buen desarrollo de cultivos menos aptos para estas latitudes (almendros, naranjos, olivares, viñedos, etc.), así como la presencia de una inusual y diversa entidad biogeográfica, ejemplo conformado por la serie *Juniperus oxycedri-Querceto rotundifolia* (ALARCOS *et al.*, 2003), especies adaptadas a las singularidades de los granitoides de la Formación del Álamo, granitoides palingenéticos de dos micas y granitoides calcoalcalinos que dominan esta área (CARNICERO, 1980).

El éxodo poblacional es considerado el principal proceso determinante de la crítica situación actual que atraviesan gran parte de los espacios de interior (SÁEZ *et al.*, 2001, TELLO, 2006). Esto puede extrapolarse al área en el cual se enfoca esta investigación. Hasta mediados de la década de 1960 el incremento caracterizó su dinámica demográfica. El inicio de la mecanización del campo y del proceso de industrialización y urbanización cambió la tendencia. A partir de entonces este territorio comienza a sufrir un importante descenso poblacional (-5.577 personas entre los años de 1960 (7.620) y 2018 (2.043) según las fuentes oficiales del Instituto Nacional de Estadística (INE), lo equivalente a un decrecimiento del 73,2%). Esta circunstancia demográfica ha transformado los espacios rurales tradicionales (FERNÁNDEZ, 2019). Aquellas áreas cuyas características físicas propician el buen desarrollo de los cultivos, la intensificación agraria y, por ende, el aumento de la producción, habrán conservado en gran medida su espacio cultivado. Por otro lado, los territorios menos propicios para mecanizar las labores de labranza habrán sufrido unas transformaciones significativas, estando estas dominadas por la reducción de la actividad y el abandono. De este modo, se intentará también justificar la versatilidad de esta herramienta y sus posibilidades como mecanismo imprescindible en el análisis y la ordenación territorial.



Figura 2. Encajamiento o arribe del curso fluvial del río Águeda a su paso por el Puente de los Franceses, entre los términos municipales de Puerto Seguro y San Felices de los Gallegos. Fuente: elaboración propia.

La actividad agrícola ha sido y continúa siendo el motor económico de esta comarca, si bien el descenso demográfico, la reducida productividad y el elevado coste de producción condicionado por las condiciones físicas del terreno han motivado la reducción del peso sector agrario dentro de la actividad económica de este territorio. La multifuncionalidad actual complementa las mermadas rentas agrarias, asociadas a la actividad del turismo vinculado al rico y diverso patrimonio natural y cultural, que cada vez va copando un mayor protagonismo.²

3. MÉTODO Y FUENTES UTILIZADAS

El método de análisis de esta investigación consiste en combinar las métricas propias de la EP y la matriz de tabulación cruzada a fin de cuantificar y analizar la fisonomía territorial y las transiciones o cambios más representativos para el periodo de años comprendido entre 1980 y 2018.³ Se pretende conocer las líneas

2 Entre 2002 y 2008 el programa europeo PRODERCAL subvencionó un total de 94 proyectos para el conjunto de municipios que conforman el Parque Natural Arribes del Duero (provincias de Salamanca y Zamora), 70 de los cuales correspondían con actividad turística, representado el 75,0% de la inversión total, 8.088.340 € (FERNÁNDEZ, 2018). Este dato puede complementarse con el importante incremento cuantificado en el número de establecimientos y plazas turísticas registrada entre 2005 y 2016 en el conjunto del Parque Natural Arribes del Duero (de 20 a 63 establecimientos y de 202 a 871 plazas).

3 Los ortofotogramas son la base principal de esta investigación, hecho que ha condicionado la elección de las fechas de estudio. La primera se corresponde con la ortofoto del Vuelo Interministerial, desarrollada entre los años de 1973-1986, y la segunda ortofoto de máxima actualización en el

de tendencia y las relaciones existentes entre las diferentes categorías que integran el área de estudio, así como establecer perspectivas de futuro. En cualquier caso, tanto el estudio fisiográfico propio de la caracterización de los polígonos, su disposición, forma, extensión, etc., como las fluctuaciones entre las diferentes categorías, dependen de los usos y coberturas del suelo presentes en una determinada región, así como de su distribución (AGUAYO *et al.*, 2009; VAN VLIET *et al.*, 2015), hecho que precisa de una base cartográfica previa. En consecuencia, la confección o selección de la misma se establece como base del estudio.

3.1. El Desarrollo Cartográfico

La elaboración cartográfica parte de las fuentes fotogramétricas y los ortofotogramas, previamente ortorrectificados. Las utilizadas en este caso se corresponden con el Vuelo Interministerial 1973-1986, desarrollado por el Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario (IRyDA), y el Vuelo PNOA del año 2017 del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, cuya actualización se realizará con las capas de usos del suelo de 2018, las cuales se detallan a continuación. Las hojas empleadas, siguiendo la numeración establecida en el MTN50, han sido: 449, 450, 474, 475 y 500.

El proceso de generación cartográfica ha consistido en la fotointerpretación, todo ello a través de la utilización del SIG QGIS, complementado a través de la comparativa con otras bases cartográficas, agrupadas del siguiente modo: cartografía de ocupación del suelo (proyecto SIOSE 2014; proyecto CORINE Land Cover 2018; SIGPAC 2018), cartografía agraria (Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España 1:50.000, años 1980-1990; Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España 1:50.000, años 2000-2010), cartografía forestal (Mapa Forestal de España 1986-1997; Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1996; Tercer Inventario Forestal Nacional 1997-2007) y otras bases cartográficas (Modelo Digital del Terreno 05 y Mapa de Clases Agrológicas de la provincia de Salamanca 1970). El trabajo de campo⁴ ha sido igualmente considerado una pieza fundamental en el desarrollo cartográfico. La interpretación en numerosas ocasiones no ha concordado con los elementos reflejados en las bases cartográficas complementarias, haciendo necesaria la comprobación presencial.

La escala de fotointerpretación base de este trabajo ha sido 1:5.000, siguiendo el

momento de realización de este trabajo, año 2017, la cual ha sido actualizada a través de la cartografía del SIGPAC del año 2018 y las prácticas de campo.

4 Las prácticas de campo de esta investigación se desarrollaron a lo largo de todo el periodo de trabajo (2019/2021), ante el objetivo de obtener una rica base fotográfica. Junto a ello, se fijaron dos momentos temporales prioritarios, previo y posterior a la realización cartográfica, hecho que facilitó el conocimiento in-situ del territorio y la posterior corroboración del proceso de fotointerpretación y del contenido de los mapas realizados. Para esta última acción se estableció un estudio de verificación de los resultados a través del cual se puede asegurar la fiabilidad de la elaboración cartográfica. Para ello, se distribuyeron aleatoriamente, a través del SIG, un total de 100 puntos. Establecidas sus coordenadas se procedió a corroborar presencialmente los resultados alcanzados, asegurando de este modo su correcto y fiel desarrollo.

proceso metodológico del SIGPAC, cuya precisión abalan sus resultados (SÁNCHEZ *et al.*, 2010). Los usos y coberturas del suelo seleccionados para confeccionar la leyenda fueron los utilizados en la elaboración de proyectos cartográficos de referencia (SIOSE y CORINE Land Cover).

3.2. Las métricas fisiográficas propias de la Ecología del Paisaje

El procedimiento de la EP se fundamenta en el análisis fisionómico a través del estudio cuantitativo, implementado mediante el uso de índices estadísticos, cuyos resultados dependen de la forma, el tamaño, el número, la localización y la distribución de los elementos que configuran el territorio en cuestión (TURNER y GARDNER, 1991). Su metodología parte de la composición existente entre los mosaicos y los elementos, componentes que integran todo paisaje (FORMAN y GODRON; 1986). Estos son definidos como la matriz, los corredores y la tesela (Fig. 3), cuya diferencia radica mayoritariamente en su disposición y su área superficial (FORMAN, 1995). Al mismo tiempo, la estructura paisajística responde a la configuración de dichos elementos, dependiente esta de su forma, su tamaño, su conectividad, su proximidad, su aislamiento, etc.

La matriz (*matrix*) representa la base del paisaje, el uso o aprovechamiento predominante dentro del territorio de análisis cuya dominancia superficial define en gran medida su fisionomía. Los fragmentos (*patches o tesela*) equivalen a la unidad mínima, los polígonos que conforman el área de estudio cuya caracterización difiere de las adyacentes, configurando estas otras categorías. Su grado de distribución puede ser totalmente aleatorio o, por el contrario, estar condicionados por fuerzas externas que motiven su agrupamiento. El último de los elementos del paisaje lo representa el corredor (*corridor*). Este se corresponde con los nexos de comunicación que facilitan el contacto entre las teselas, presentándose en algunos casos como elementos que fomentan la fragmentación del territorio al dividir en cierta medida la matriz paisajística (FORMAN, 1997).

La estructuración conjunta definirá la fragmentación u homogeneidad territorial y ayudará a definir y comparar paisajes (ROMERO, 2005; AGUILERA, 2008). La homogeneidad espacial quedaría vinculada a la cuantificación de un número reducido de clases o unidades (GURRUTXAGA y LOZANO, 2008). Por el contrario, la biodiversidad de un territorio se asociaría con la heterogeneidad del paisaje, directamente proporcional a la riqueza de categorías o usos del suelo que integran el área de estudio (WILLIAMS, 1964; FORMAN y GODRON, 1986).

Para su ejecución ha sido preciso utilizar un software especializado. En esta investigación se ha trabajado con el programa FRAGSTATS. Consiste en un software de análisis de patrones espaciales diseñado para el estudio de mapas categóricos. La versión utilizada se corresponde con FRAGSTATS 4.2.1.603_2015, que permite calcular las diversas métricas en función de tres niveles de intervención (McGARIGAL 2015): la tesela, la categoría y el paisaje. Algunos de los índices que se ejecutarán pueden llegar a implementarse en los tres niveles de

intervención señalados con anterioridad (véase a continuación los ejemplos de las métricas de área, densidad, tamaño y variabilidad o métricas de la forma). Por el contrario, existen otros que únicamente pueden utilizarse para uno de los niveles en cuestión. Este es el caso de las métricas de la distancia, vecindad y conectividad y las métricas de la diversidad, reflejando respectivamente la vinculación existente entre todos los fragmentos de una misma categoría y la homogeneidad o heterogeneidad del conjunto territorial (McGARIGAL y MARKS, 1995; BOTEQUILHA *et al.*, 2006; MCGARIGAL, 2015).

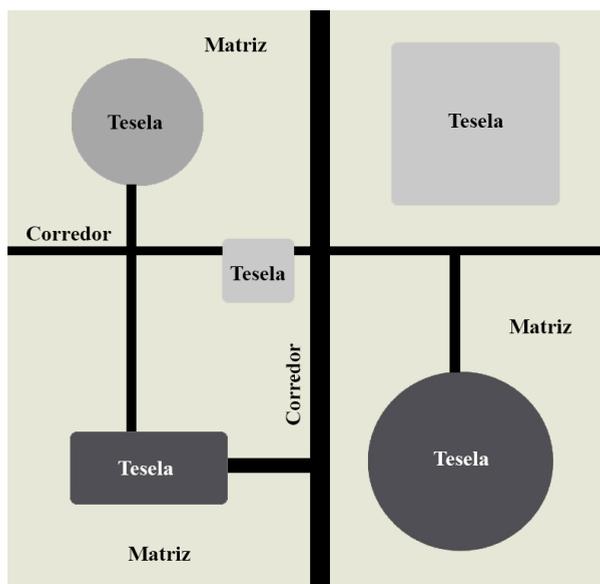


Figura 3. Estructuración paisajística según el procedimiento de la Ecología del Paisaje (*Landscape Ecology*). Fuente: elaboración propia a partir del modelo representado en AGUILERA (2010).

Las métricas de paisaje utilizadas en este trabajo, dependientes de la bibliografía analizada (BOTEQUILHA y AHERN, 2002; BOTEQUILHA *et al.*, 2006; CUSHMAN *et al.*, 2008) y de los objetivos propuestos en la investigación, se englobaron en cuatro grandes conjuntos, siguiendo a MCGARIGAL *et al.*, (2015), dependientes del elemento objeto de análisis:

Métrica de área, densidad, tamaño y variabilidad: Patrón espacial de análisis centrado en el estudio del número y las dimensiones de los fragmentos que configuran el territorio de estudio. Muestra las singularidades superficiales de cada tesela, clase y paisaje.

- Área total (CA o TA): Suma del área de cada fragmento de la misma categoría (CA) o suma del área de cada tesela que compone el paisaje (TA), expresado en ha.

- Número de teselas (NP): Número de fragmentos que contiene una categoría

o un paisaje.

- Tamaño medio de la tesela (AREA_MN): Relación entre la extensión superficial de una categoría (CA) y el número de fragmentos contabilizados de la misma (NP). Relación entre la extensión total del paisaje (TA) y el número de fragmentos que lo conforman (NP). Expresado en ha.

- Densidad de teselas (PD): Número de teselas, de una determinada categoría o del conjunto de estas, condicionada por la escala de análisis de categorías o paisaje respectivamente, por unidad de superficie (1 km²).

Métrica de la forma: Métrica de estudio de la geometría de los fragmentos que componen el área de trabajo en relación con la forma estándar del cuadrado (formato ráster) o el círculo (formato vectorial), cuyos resultados definen la categorización natural o antrópica del origen de los fragmentos que componen el paisaje.

- Índice de la forma media (SHAPE_MN): Suma del perímetro del fragmento (m) dividida por la raíz cuadrada de su área (m²) para cada fragmento de la categoría correspondiente, o para el conjunto de teselas que forman el paisaje, todo ello ajustado a una constante para vincularla al estándar cuadrado (ráster), dividido por el número total de polígonos de la misma clase o del total del paisaje.

Métrica de la distancia, vecindad y conectividad: Métricas de análisis de la conectividad y el aislamiento a través del cálculo de la distancia entre polígonos de una misma categoría.

- Distancia media al fragmento de la misma clase más cercano (ENN_MN): Suma de la distancia de cada fragmento de una determinada categoría con respecto a su vecino más cercano, dividido por el número de teselas que forman la misma. Suma de la distancia de cada tesela con su vecino más cercano, calculado para todas las clases que conforman el paisaje, excluyendo las categorías que únicamente estén conformadas por un único fragmento, dividido por el número de polígonos que se contabilizan en el conjunto del paisaje y cuentan con vecino. Expresado en metros.

Métrica de la diversidad: Índices que muestran la homogeneidad o heterogeneidad del paisaje con base en el número de fragmentos y la extensión de los mismos para cada categoría, definiendo la estructura y la composición fisiónómica del territorio.

- Riqueza de teselas (PR): Número de las diferentes categorías que conforman el paisaje.

- Índice de diversidad de Shannon (SHDI): 1 Menos la suma de todas las categorías presentes en el paisaje y de la abundancia proporcional de cada clase, multiplicada por esa proporción.

- Índice de uniformidad de Shannon (SHEI): 1 menos la suma de todas las categorías presentes en el paisaje y de la abundancia proporcional de cada clase, multiplicada por esa proporción, dividido todo ello por el logaritmo neperiano

del número de categorías.

- Índice de diversidad de Simpson (SIDI): 1 menos la suma de la abundancia proporcional de cada categoría al cuadrado, calculado en todas las clases de fragmentos.

3.3. La matriz de tabulación cruzada

Según el procedimiento metodológico desarrollado por PONTIUS *et al.* (2004), esta consiste en una matriz de doble entrada que reúne la superficie cuantificada para cada una de las categorías de estudio en dos fechas de análisis. Los datos se reflejan en disposición horizontal-filas (primera fecha) y en forma vertical-columnas (segunda fecha). A su vez, esta matriz recoge en diagonal los valores de persistencia frente al cambio, expresando en el resto de las celdas las transiciones registradas entre las diferentes variables que integran el paisaje (Tabla 1).

Esta técnica precisa del análisis cartográfico previo y la aplicación del geoprocesamiento «unión», mediante la utilización del SIG, unificando los valores cartográficos de las dos fechas de estudio (Fig. 4). De este modo se podrán dar a conocer las áreas que se han mantenido estables, cuantificar la variación superficial de cada uno de los usos e identificar las variaciones registradas entre las diferentes coberturas.

La predicción futura, por su parte, se fundamenta en el proceso estocástico discreto, en lo esperado en base al mantenimiento de la línea de tendencia registrada entre las dos fechas de estudio analizadas previamente (LÓPEZ *et al.*, 2001). De este modo se podrá calcular la proyección para un determinado momento. La fecha seleccionada en este caso, teniendo en cuenta la diferencia de años fijada entre las dos fechas principales del estudio, ha sido el año 2056.

Tabla 1
Matriz de tabulación cruzada

	Tiempo 2				Total tiempo 1	Pérdida
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4		
Tiempo 1						
Categoría 1	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₊	P ₁₊ - P ₁₁
Categoría 2	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₂₊	P ₂₊ - P ₂₂
Categoría 3	P ₃₁	P ₃₂	P ₃₃	P ₃₄	P ₃₊	P ₃₊ - P ₃₃
Categoría 4	P ₄₁	P ₄₂	P ₄₃	P ₄₄	P ₄₊	P ₄₊ - P ₄₄
Total tiempo 2	P ₊₁	P ₊₂	P ₊₃	P ₊₄	1	
Ganancia	P ₊₁ - P ₁₁	P ₊₂ - P ₂₂	P ₊₃ - P ₃₃	P ₊₄ - P ₄₄		

Fuente: PONTIUS *et al.* (2004).

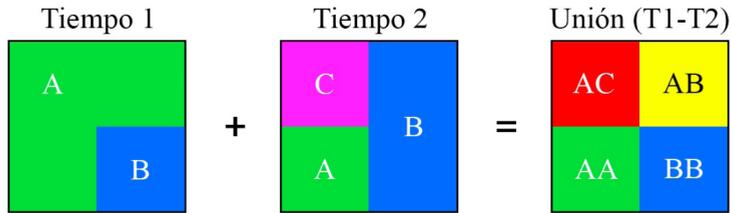


Figura 4. Esquema del geoprocesamiento «unión» desarrollado por un SIG.
Fuente: elaboración propia.

La búsqueda del resultado de probabilidad de transición (P_{ij}) se basa en la ecuación establecida por SCHERER (1972), tomando como base el valor proporcional al área remanente frente al cambio. Por tanto, la ecuación aplicada consiste en la división entre la cifra de transición de la matriz (S_{ij}) y el total correspondiente a la clase j en la primera de las fechas de análisis, como así se muestra en la siguiente fórmula:

$$P_{ij} = \frac{S_{ij}(t_2)}{S_j(t_1)}$$

A través del análisis detallado de todas las variaciones registradas puede establecerse también la caracterización del cambio y el patrón evolutivo. Toda transición ha estado fomentada por una serie de fenómenos o circunstancias. A modo de ejemplo, el cambio desde uso de terreno arable a uso de matorral será consecuencia directa de la reducción de la actividad, del abandono agrario y de la regeneración vegetal natural, respondiendo en todos los casos al fenómeno de la despoblación. De este modo se pretende identificar y categorizar las variaciones registradas, siguiendo para ello las líneas de transición establecidas por FERNÁNDEZ (2021):

- *Artificialización*: variación de cualquier tipo de cobertura como consecuencia de la construcción de infraestructuras agrícolas, industriales, viarias y urbanas.

- *Intensificación agraria*: incremento de la actividad de labranza y/o de la presión ganadera, en cualquier clase de cobertura agraria, ocasionando una reducción de su carga arbustiva y arbórea. También se considera intensificación agraria a la modificación de cualquier tipo de uso del suelo no agrícola, ni natural, como consecuencia del desarrollo de un nuevo espacio cultivado o destinado al uso de pasto intensivo.

- *Variación de la actividad*: cambio entre coberturas o usos agrícolas, así como la posible alternancia con la categoría de pasto.

- *Reducción de la actividad y/o abandono*: disminución de la actividad de laboreo o de la presión ganadera, así como la eliminación total de cualquier tipo de actividad, ocasionando el desarrollo de vegetación leñosa.

- *Naturalización*: abandono de cualquier tipo de actividad y desarrollo de una regeneración natural intensa. También se tendrá en consideración como naturalización el incremento de la densidad vegetal de una cobertura ya natural.

- *Degradación*: deterioro de una cobertura natural, viendo esta disminuida su carga arbustiva o arbórea, ocasionando su transformación en otra categoría natural caracterizada por una vegetal menos densificada.

- *Antropización*: deterioro de una cobertura natural de forma más intensa que en el caso anterior, hasta el punto de ser esta contabilizada como una categoría agraria.

- *Persistencia al cambio*: la categoría de ocupación se mantiene estable, no registra ningún tipo de variación entre ambas fechas de estudio.

4. RESULTADOS

En líneas generales, los usos y coberturas del suelo que conforman la comarca de Arribes del Duero en ambas fechas de estudio reflejan una clara vocación hacia el aprovechamiento ganadero, combinado con una significativa ocupación agrícola (Fig. 5), cuyo proceso evolutivo, definido por un notable cambio, responde mayoritariamente a la reducción de la actividad agraria y la proliferación de la vegetación espontánea.

4.1. Resultado de la aplicación de la matriz de tabulación cruzada

El uso de la matriz de tabulación cruzada y su análisis pormenorizado detalla con precisión la suma alcanzada para cada cobertura del suelo en las dos fechas de estudio, su dinámica evolutiva y las transiciones acaecidas.

El conjunto de los usos del suelo agrarios ha destacado frente al resto en cuanto a superficie cuantificada en ambas fechas de estudio, representando una extensión claramente dominante, equivalente al 91,2% (1980) y 80,1% (2018) del total comarcal. De entre los usos agrarios destacan los pastos⁵ (pasto, pasto matorral, pasto arbolado y pasto arbolado matorral), ocupando tanto en 1980 como en 2018 amplias superficies. 4.638,5 ha, 10.556,6 ha, 469,8 ha y 5.678,8 ha respectivamente en el año 1980, representación del 12,4, 28,3, 0,5 y 12,2% del total de la comarca de estudio. Por su parte, para el año 2018 la extensión se calculó para cada uno de estos usos de pasto en 5.434,8 ha, 6.626,8 ha, 629,5 ha y 9.971,3 ha, representando en este caso el 14,6, 17,8, 1,7 y 26,7% del área total. Junto a estas coberturas agrarias también destaca el uso el Terrero arable, el cual llegó a alcanzar en 1980 un total de 7.744,8 ha, 3.346,0 en 2018, representación en su caso

⁵ Siguiendo la metodología del proyecto SIOSE (IGN, 2018), la diferencia entre los distintos usos de pastos depende de la carga arbustiva y arbórea (pasto: carga arbustiva y arbórea menor de 5 y 20% respectivamente; pasto matorral: carga arbustiva entre el 20 y el 60% y arbórea menor del 5%; pasto arbolado: carga arbustiva menor del 20% y arbórea entre el 5 y el 60%; pasto arbolado matorral: carga arbustiva entre el 20 y el 60% y arbórea entre el 5 y el 60% del total).

del 20,7 y 9,0% del total del área de estudio. En menor medida, pero alcanzando también cifras significativas de extensión superficial, destacan los usos del frutales y olivares, sumando 1.323,9 ha y 1.736,0 ha en el año 1980, 642,6 ha y 333,6 ha en el año 2018.

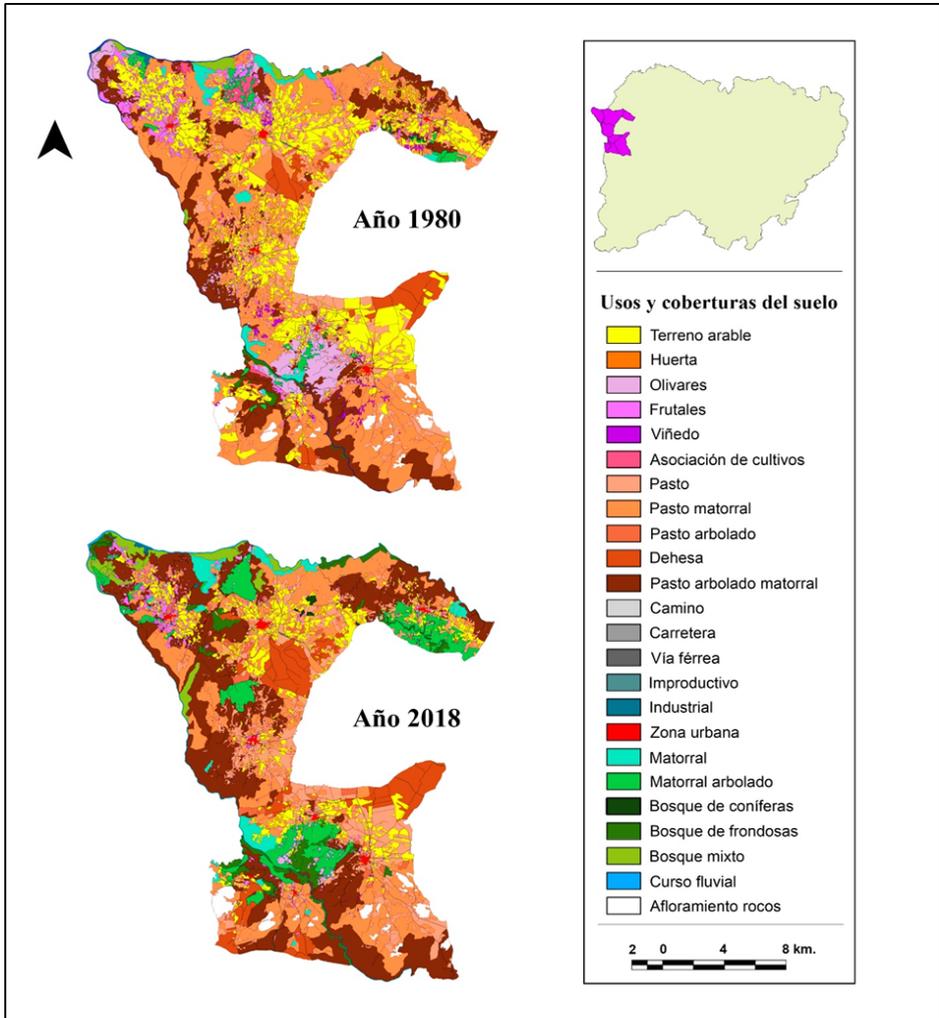


Figura 5. Proceso evolutivo de los usos del suelo en la comarca de las Arribes del Duero entre los años de 1980 y 2018. Fuente: elaboración propia.

Entre las dos fechas de estudio seleccionadas un total de 18.927,8 ha, correspondientes al 50,7% de la extensión total (TA), han visto alterada su categoría de ocupación. La variación registrada para el conjunto del espacio agrario de esta región, calculada en -4.149,4 ha, es considerada como una de las más notables alteraciones registradas en esta comarca, si bien los resultados permiten

profundizar más en los cambios. El espacio agrícola (usos de terreno arable, frutales, olivares, viñedos, huertos familiares y asociaciones de cultivos) registró una notable reducción superficial (-7.104,0 ha para su conjunto), si bien cabe señalar la existencia de importantes contrastes evolutivos condicionados por la localización. Los cultivos que copaban las áreas más favorables topográficamente pasaron a formar parte de las categorías no labradas (5.775,0 ha) (pasto, pasto matorral, pasto arbolado, dehesa y pasto arbolado matorral). El mejor ejemplo lo representa la categoría de terreno arable (conjunto de cultivos herbáceos y barbechos), cuya dinámica evolutiva ha estado basada principalmente en su decrecimiento superficial en favor de las clases no labradas, destacando de entre ellas el pasto (Tabla 2). Debido a esta circunstancia el sector agrario en su conjunto no cuantificó un descenso aún mayor.

Por otro lado, 1.329,0 ha, aquellas situadas en los escarpes, fueron colonizadas en mayor grado por la vegetación espontánea, consecuencia directa de la reducción de la actividad, integrándose en el conjunto de las coberturas naturales. Sirva de ejemplo lo registrado por parte de la categoría de olivares, en cuyo caso cedió a las coberturas naturales un total de 946,6 ha, el 54,5% de su extensión total cuantificada en el año 1980. Este hecho se repite con las categorías de frutales y viñedos.

Las categorías bióticas (matorral, matorral arbolado, bosque de frondosas, bosque de coníferas y bosque mixto) por su parte, siempre han sumado una importante extensión superficial (2.714,0 ha en el año 1980 y 6.718,5 ha en el año 2018, el 7,3% y el 18,0% del total). El crecimiento de su área ha caracterizado el proceso evolutivo de estas clases, sirviendo de ejemplo lo registrado por parte de la cobertura de matorral arbolado, uso que aumentó su superficie con motivo de la reducción de la actividad agraria y la proliferación de vegetación espontánea.



Figura 6. Imagen de cultivos abandonados de olivares en abancalamiento (Puerto Seguro). Fuente: elaboración propia.

A ello puede incluirse la continua regeneración del estrato arbustivo y arbóreo registrado, hecho que ha favorecido la variación entre las propias coberturas bióticas, como así ha sucedido con importantes extensiones de matorral y matorral arbolado catalogadas en el año 1980, identificadas como bosques de frondosas y bosques mixtos en el año 2018 (Tabla 2).

Del análisis de la matriz de tabulación cruzada se han identificado los patrones de cambio que han dominado las transiciones registradas en la comarca de las Arribes del Duero, señaladas anteriormente, entre las que destaca la variación de su aprovechamiento, la reducción de la actividad y el abandono y la naturalización (Fig. 7).

Tabla 2. Matriz de tabulación cruzada en la comarca de las Arribes del Duero entre los años 1980 y 2018

Distribución superficial de los usos y coberturas del suelo en el año 2018																												
Distribución superficial de los usos y coberturas del suelo en el año 1980		Ar	As	Bc	Bf	Bm	Ca	Cf	Cr	Dhs	Fr	Im	Ind	M	Ma	Ol	Pa	Pa-m	Pm	Ps	Ta	H	Vf	Vi	Zu	Total		
	Ar	643,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	643,7	
	As	0,0	52,6	3,6	0,2	5,6	3,2	0,0	0,4	0,0	18,7	0,2	0,0	2,1	158,6	11,9	1,8	113,4	13,0	11,9	13,0	0,0	0,0	0,3	0,9	0,0	411,4	
	Bc	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Bf	0,0	0,0	0,0	239,3	0,0	0,0	2,9	0,7	0,9	0,0	0,0	0,0	0,5	3,9	0,0	3,4	1,9	0,8	1,7	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	259,7	
	Bm	0,0	0,0	0,0	2,0	258,0	0,0	1,3	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	11,5	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	274,7	
	Ca	0,0	0,1	0,1	1,2	0,1	179,2	4,4	14,9	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	26,3	15,8	14,3	5,7	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	275,0	
	Cf	0,0	0,0	0,0	3,4	2,5	0,1	233,5	0,0	0,0	0,2	0,5	4,7	12,4	0,0	0,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	271,3	
	Cr	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	87,5	1,4	0,2	0,5	0,0	0,0	0,8	0,0	0,1	1,7	1,9	1,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	97,1	
	Dhs	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	1,0	2,1	1.434,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3	2,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.449,5	
	Fr	0,0	12,5	0,0	6,8	47,1	3,9	0,0	0,5	1,5	430,3	1,3	2,3	26,4	155,1	12,7	7,4	358,2	153,4	53,9	45,8	0,9	0,0	0,7	3,2	0,0	1.323,9	
	Im	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	24,8	
	Ind	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,9	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,6	
	M	0,0	0,0	0,0	46,8	5,2	0,8	1,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	454,6	132,0	0,0	0,0	31,6	0,9	4,9	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	683,7	
	Ma	0,0	0,0	0,0	121,8	83,8	0,1	0,8	0,0	0,0	0,1	0,0	2,1	0,0	312,1	0,0	0,0	55,9	1,2	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	580,9	
	Ol	0,0	7,8	0,0	264,4	64,8	7,7	0,4	0,1	5,6	9,4	1,8	0,0	29,6	652,6	286,9	9,9	302,0	37,8	26,5	26,2	0,2	0,0	0,8	1,5	0,0	1.736,0	
	Pa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3	0,0	78,4	0,0	0,2	0,0	0,0	10,0	0,0	53,2	10,0	6,7	9,1	1,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	169,8	
	Pa-m	0,0	0,1	0,0	336,9	267,9	8,6	9,2	0,0	277,7	2,6	0,5	0,0	18,4	341,1	1,4	32,8	4.243,4	91,0	26,0	20,5	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0	5.678,9	
	Pm	0,0	0,4	37,4	240,1	98,8	38,7	5,9	8,5	407,8	19,6	5,5	7,8	311,1	465,4	3,6	241,2	3.304,0	4.552,7	559,1	246,4	0,9	0,3	0,6	0,9	0,0	10.556,6	
	Ps	0,0	1,4	1,8	15,3	1,1	23,1	3,1	8,4	240,8	10,9	8,8	0,0	25,5	136,5	2,1	148,6	624,1	817,1	2.178,4	366,2	6,0	0,0	1,0	18,4	0,0	4.638,6	
	Ta	0,0	6,0	13,7	12,5	49,3	49,0	7,2	9,1	318,2	147,5	13,6	0,0	39,2	215,4	14,3	127,6	790,9	842,9	2.489,9	2.576,5	6,4	0,0	4,8	10,8	0,0	7.744,8	
	H	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	3,2	0,9	14,0	2,6	9,0	0,0	0,2	4,6	0,0	36,3	
	Vf	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	23,3	0,0	0,0	0,0	23,7	
	Vi	0,0	1,1	0,0	0,5	0,0	1,1	0,0	0,2	15,3	1,3	0,0	0,0	4,2	26,0	0,7	2,9	82,4	90,2	40,0	22,6	0,5	0,0	18,2	0,6	0,0	306,9	
Zu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	110,3		
Total	643,7	82,0	56,6	1.291,5	889,9	320,0	273,3	133,0	2.785,7	642,7	42,6	39,1	927,8	2.635,7	333,6	629,5	9.971,4	6.626,8	5.434,8	3.346,0	24,4	23,9	26,6	152,8	0,0	37.333,2		

Ar = Afloramiento rocoso; As = Asociación de cultivos; Bc = Bosque de coníferas; Bf = Bosque de frondosas; Bm = Bosque mixto; Ca = Camino; Cf = Curso fluvial; Cr = Carretera; Dhs = Dehesa; Fr = Frutales; H = Huerta; Im = Improductivo; Ind = Industrial; M = Matorral; Ma = Matorral arbolado; Ol = Olivar; Pa = Pasto arbolado; Pa-m = Pasto arbolado-matorral; Pm = Pasto matorral; Ps = Pastos; Ta = Terreno arable; Vi = Viñedo; Vf = Vía Férrea; Zu = Zona urbana.

Fuente: elaboración propia.

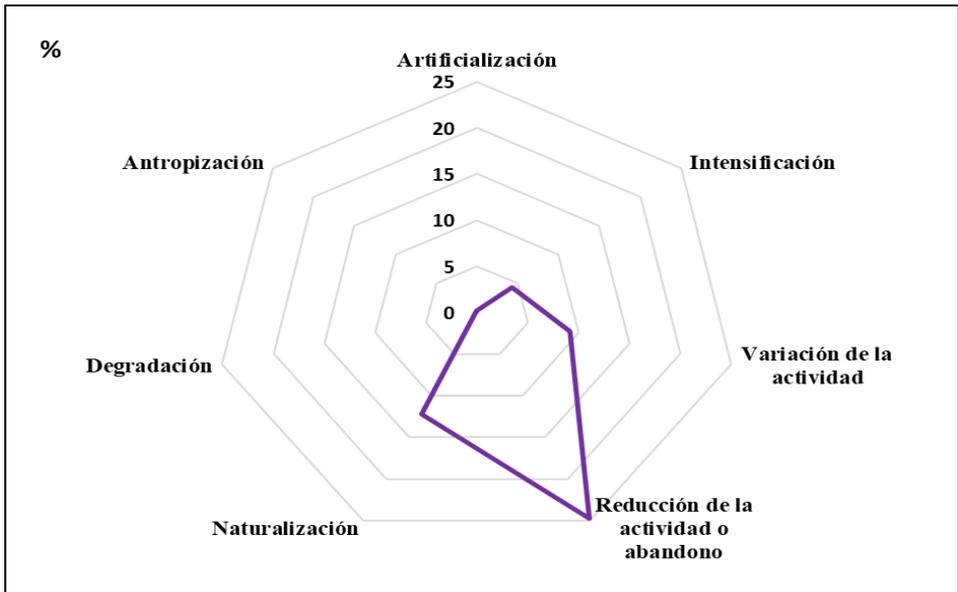


Figura 7. Tendencias de cambio cuantificadas a través de la matriz de transiciones.
Fuente: elaboración propia.

Prácticamente el 50,0% del total del área de estudio ha estado condicionado por lo anteriormente señalado. Destaca el abandono de un amplio sector del espacio cultivado y de pastizales (24,7%), cuya superficie pasó a formar parte de coberturas singularizadas por un mayor densidad arbustiva y arbórea (pasto matorral o pasto arbolado matorral). La continuidad de la línea de tendencia descrita parece avocar hacia su sustitución por coberturas naturales definidas por una mayor densidad arbustiva y arbórea (matorrales o bosques).

Las áreas más inhóspitas, correspondiendo por lo general con las zonas más escarpadas, son los espacios que han cuantificado un mayor grado de abandono, hasta el punto de pasar a formar parte de las coberturas naturales, fenómeno que ha tenido lugar en el 12,2% del territorio de la comarca de las Arribes del Duero. Al mismo tiempo, en las áreas mejor condicionadas para la actividad agraria y la puesta en cultivo, donde dominan suelos de mejor calidad y una topografía suave, ha primado la variación de actividad (9,1% del total superficial), caracterizada por la especialización ganadera, destacando el cambio desde terreno arable a pasto.

Por otro lado, la degradación, la antropización, la artificialización y la intensificación no han tenido relevancia significativa en esta comarca de estudio, como así reflejan los datos, hecho que parece responde al elevado grado de aislamiento de la comarca y sus singularidades físicas.

4.2. Resultado de la aplicación de las métricas de la Ecología del Paisaje

Al analizar el número de teselas que forman el paisaje (NP) se muestra la importante fragmentación territorial que ha caracterizado y caracteriza las Arribes del Duero. En conjunto, 6.012 polígonos configuraban este espacio en el año 1980, 4.574 en el año 2018. El 90,2% y el 84,7% respectivamente en ambas fechas se corresponde con categorías agrarias, entre las que destacan principalmente, entre otros, el terreno arable y el pasto (Tabla 3).

Tabla 3
Fisionomía territorial en función del número de fragmentos y su superficie media en las dos fechas de estudio

Categoría	Año 1980			Año 2018			Variación (1980-2018)
	Fragmentos (NP)	Superf. (ha) (CA)	Superf. media fragmento (ha) (Area_mn)	Fragmentos (NP)	Superf. (ha) (CA)	Superf. media fragmento (ha) (Area_mn)	Superf. (ha)
Terreno arable	1.392	7.744,8	5,6	800	3.346,0	4,2	-4.398,8
Huerta	49	36,3	0,7	84	24,4	0,3	-11,9
Frutales	689	1.323,9	1,9	457	642,6	1,4	-681,3
Olivares	428	1.736,0	4,1	276	333,6	1,2	-1.402,4
Viñedo	306	307,0	1,0	76	26,6	0,3	-280,4
Asociación de cultivos	98	411,5	4,2	52	82,0	1,6	-329,5
Pasto	1.146	4.638,5	4,0	1.154	5.434,8	4,7	796,3
Pasto matorral	969	10.556,6	10,9	565	6.626,8	11,7	-3.929,8
Pasto arbolado	49	169,8	3,5	120	629,5	5,2	459,7
Pasto arbolado matorral	267	5.678,8	21,3	243	9.971,3	41,0	4.292,5

Dehesa	27	1.449,5	53,7	47	2.785,7	59,3	1.336,2
Camino	279	274,9	1,0	131	325,5	2,5	50,6
Carretera	15	97,1	6,5	11	127,5	11,6	30,4
Vía Férrea	25	23,8	1,0	22	23,9	1,1	0,1
Improductivo	57	24,8	0,4	234	42,6	0,2	17,8
Industrial	1	35,6	35,6	4	39,1	9,8	3,5
Zona urbana	49	110,3	2,3	67	152,8	2,3	42,5
Matorral	21	683,8	32,6	20	927,8	46,4	244,0
Matorral arbolado	74	581,0	7,9	114	2.635,6	23,1	2.054,6
Bosque de coníferas	0	0,0	0,0	6	56,6	9,4	56,6
Bosque de frondosas	37	259,7	7,0	51	1.291,5	25,3	1.031,8
Bosque mixto	4	274,7	68,7	13	889,9	68,5	615,2
Curso fluvial	12	271,3	22,6	9	273,3	30,4	2,0
Afloramientos rocosos	18	643,7	35,8	18	643,7	35,8	0,0

Fuente: elaboración propia.

A pesar de la dominancia de los usos agrarios, un cierto grado de equitatividad en cuanto a la extensión superficial copada por numerosos usos del suelo define de nuevo la heterogeneidad paisajística de este territorio, complicando la identificación de la matriz fisionómica.

La elevada subdivisión ha motivado que el tamaño medio de los fragmentos (AREA_MN) sea muy reducido, como así lo han reflejado las categorías agrarias, destacando el terreno arable y el pasto (Tabla 3). Aun copando una significativa superficie sus polígonos se han caracterizado por las pequeñas dimensiones, propio de la sobredivisión asociada al parcelario cerrado de las «cortinas de piedra seca» (DACOSTA y DELGADO, 2022) conocido como «bocage». De forma opuesta, los fragmentos cuya superficie media alcanzaron mayores dimensiones se correspondieron con las coberturas dominadas por una mayor carga vegetal o grado de naturalidad (dehesa, pasto arbolado matorral, matorral, matorral

arbolado, bosque de frondosas y bosque mixto), hecho que se ha incrementado con el paso de los años.

Tabla 4

Fisionomía territorial en función de la forma media de los fragmentos (SHAPE_MN) de cada una de las categorías en las dos fechas de estudio

Categoría	Año 1980	Año 2018	Variación
Terreno arable	1,67	1,68	0,01
Huerta	1,56	1,39	-0,17
Frutales	1,50	1,52	0,02
Olivares	1,55	1,49	-0,06
Viñedo	1,48	1,36	-0,12
Asociación de cultivos	1,58	1,46	-0,12
Pasto	1,72	1,73	0,01
Pasto matorral	1,72	1,75	0,03
Pasto arbolado	1,50	1,65	0,15
Pasto arbolado matorral	1,87	2,00	0,13
Dehesa	1,69	1,99	0,30
Camino	8,23	12,93	4,70
Carretera	13,16	17,75	4,59
Vía Férrea	6,20	6,99	0,79
Improductivo	1,97	1,33	-0,64
Industrial	1,99	1,50	-0,49
Zona urbana	1,60	1,60	0,00
Matorral	1,81	1,93	0,12
Matorral arbolado	1,91	1,93	0,02
Bosque de coníferas	-	1,60	-
Bosque de frondosas	1,89	2,00	0,11
Bosque de mixto	2,14	2,43	0,29
Curso fluvial	8,48	11,80	3,32
Afloramientos rocosos	1,62	1,62	0,00

Fuente: elaboración propia.

La fragmentación agrícola queda nuevamente establecida al analizar la densidad de teselas por superficie (PD). Las categorías que conforman este conjunto han alcanzado los valores más elevados. Destacan el terreno arable y el pasto, cuantificando 3,1 y 3,7 polígonos por km² respectivamente en el año 1980, 3,1 y 2,1 en el año 2018. Por otro lado, las coberturas naturales obtuvieron los valores más reducidos (entre 0,01 y 0,7 teselas por km²), asociados al menor número de fragmentos y al mayor tamaño de estos.

Los contrastes entre las categorías naturales y agrarias vuelven a ponerse de manifiesto al analizar el índice de la Forma Media (SHAPE_MN) (Tabla 4). Los polígonos correspondientes con usos del suelo naturales han registrado una mayor irregularidad en su forma, obviando las categorías correspondientes a la red viaria y los cursos fluviales, cuya estructura queda determinada por su mayor sinuosidad. Por el contrario, la regularidad de la forma de las teselas ha primado entre los usos agrícolas, hecho que se agudiza tras el paso de los años (Tabla 4). La localización de estas coberturas en áreas más llanas, donde los límites de las parcelas pueden establecerse de forma geométrica, motiva esta circunstancia (SOMOZA, 2015).

Tabla 5

Fisionomía territorial en función de la distancia al vecino más cercano (ENN_MN) para cada una de las categorías en las dos fechas de estudio

Categoría	Año 1980 (m.)	Año 2018 (m.)	Variación (m.)
Terreno arable	30,0	47,3	17,3
Huerta	161,5	216,4	55,0
Frutales	90,6	114,2	23,6
Olivares	102,6	171,4	68,8
Viñedo	141,0	424,6	283,6
Asociación de cultivos	383,9	611,5	227,6
Pasto	48,8	40,8	-5,0
Pasto matorral	40,3	63,2	22,8
Pasto arbolado	788,9	315,7	-473,3
Pasto arbolado matorral	107,0	35,5	-71,5
Dehesa	179,1	78,5	-100,6
Camino	28,6	118,5	89,9
Carretera	908,2	900,1	8,1
Vía Férrea	77,5	75,2	-2,3
Improductivo	285,5	320,5	35,1
Industrial	-	1.908,8	-

Zona urbana	340,0	306,6	33,4
Matorral	596,0	823,4	227,4
Matorral arbolado	133,1	45,6	-87,5
Bosque de coníferas	-	2.036,6	2.036,6
Bosque de frondosas	471,6	305,4	-166,2
Bosque de mixto	4.398,5	669,4	-3.729,2
Curso fluvial	6,3	7,9	1,6
Afloramientos rocosos	408,6	408,6	0,0

Fuente: elaboración propia.

El índice de la Distancia al Vecino más Cercano (ENN_MN), que establece el grado de aislamiento o agrupación de los fragmentos de una determinada categoría, refleja importantes contrastes de localización y evolución por parte de las coberturas que conforman el paisaje de esta comarca. Los usos agrarios, destacando de entre estos el terreno arable, el pasto y el pasto matorral, cuantificaron por lo general los valores más bajos (Tabla 5), justificando su importante agrupación. Esta estaría condicionada principalmente por su vinculación con las áreas que favorecen la actividad agraria y por la homogeneidad en su distribución. El aislamiento se intensificó en las categorías agrícolas localizadas en las zonas abancaladas, como así lo muestran los resultados (véase en la Tabla 5 los ejemplos de los olivares, viñedos, frutales y las asociaciones de cultivos). El distanciamiento entre sus teselas se ha incrementado de forma notable, hecho que puede vincularse directamente a la reducción superficial y a la cuantificación de un menor número de fragmentos. En contraposición, las coberturas dominadas por un mayor grado de naturalidad, cuya dinámica evolutiva estuvo protagonizada por el incremento de su área de ocupación y el crecimiento del número de sus fragmentos, registraron una importante reducción en cuanto a la distancia entre teselas.

A nivel general, la fisionomía de este territorio ha estado caracterizada por el importante número de clases que la han compuesto (23 categorías en el año 1980 y 24 en el año 2018). A través de la comparativa con otras bases cartográficas, referenciadas en su momento, se calculó el potencial máximo a nivel provincial (27 categorías). Gracias a ello, y al número de clases que han configurado el paisaje de las Arribes, se estableció el valor de riqueza relativa (RPR), estimado en un 85,2% y un 89,9% para los dos años de estudio, valores que definen una importante heterogeneidad espacial, hecho que nuevamente se corrobora al analizar el número de fragmentos (6.012 en el año 1980 y 4.574 en el año 2018) y su tamaño medio (6,2 ha y 8,2 ha respectivamente). La reducción del número de fragmentos y el incremento de su tamaño, motivado por la uniformidad asociada al proceso de abandono de la actividad agraria, define su proceso evolutivo.

Las cifras alcanzadas en el cálculo de los índices de Diversidad de Shannon y Simpson corroboran la diversidad de los usos y coberturas del suelo registrados en la comarca de los Arribes del Duero, hecho que responde a la importante

división superficial entre numerosos usos del suelo. El Índice de Diversidad de Shannon (SHDI) se calculó en 2,17 (1980) y 2,20 (2018), datos representación de una alta diversidad.

De nuevo lo señalado queda ratificado al analizar los resultados de la aplicación del índice de Diversidad de Simpson (SIDI), 0,89 en el año 1980 y 0,88 en el año 2018. Según la metodología descrita, los valores obtenidos únicamente pueden oscilar entre 0 y 1, circunstancia que asegura la elevada diversidad.

4.3. Probabilidad futura de cambio

Del cálculo de probabilidad de cambio realizado a través de la matriz de tabulación cruzada, para el periodo 2018-2056, puede extraer que la dinámica de los usos del suelo estará condicionada por la regeneración natural (Tabla 6). Se prevé una reducción del espacio labrado del 67,6%, lo que estará motivado por la continuidad de la despoblación y la imposibilidad de mecanizar (COLOMBO y CAMACHO, 2014). Se estima que prevalecerá el cambio de actividad en favor de los usos no labrados (2.279,9 ha, el equivalente al 51,2%), circunstancia que se traducirá en la cuantificación de una extensión de espacio labrado muy reducida en el futuro próximo, un valor testimonial de la relevancia alcanzada en la primera mitad del siglo XX. El trasvase hacia usos bióticos o naturales agudizará aún más esta situación. La colonización vegetal total, o en mayor grado de densidad, favorecerá el incremento superficial de las categorías naturales y, por tanto, el continuo descenso de la superficie ocupada por usos agrarios (Tabla 6). Los aprovechamientos de frutales, olivares y viñedos, que copaban las áreas más aisladas asociadas al microclima que limita los periodos de heladas, propio del encajamiento fluvial, únicamente alcanzarán unos valores de extensión mínimos (313,7 ha, 77,1 ha y 5,9 ha respectivamente).

Por otro lado, se prevé que los espacios artificiales aumenten ligeramente su extensión (11,9%) hasta mediados del siglo XXI. A pesar del continuo descenso y envejecimiento demográfico los resultados han mostrado que los pequeños núcleos de población verán aumentada su área de ocupación un total de 35,4 ha, hecho que parece estar motivado principalmente por la planificación turística y los nuevos alojamientos rurales. Resulta más rentable construir una vivienda de nueva planta, a pesar de las restricciones propias de la legislación urbanística vigente, que reformar las deterioradas viviendas tradicionales carentes de las comodidades demandadas actualmente (GARCÍA, 1995) circunstancia que justifica lo anteriormente descrito.

Al mismo tiempo, la intensificación ganadera también promoverá el incremento de los espacios artificiales (DOMÍNGUEZ, 2001), en este caso de los usos catalogados como improductivos, cuyo aumento se ha estimado en un 42,7%. Algo similar se ha previsto para el caso de los usos industriales. La reapertura de algunos yacimientos mineros localizados en este territorio, como así se ha tenido en consideración en el municipio de La Fregeneda, posibilitaría esta circunstancia.

La red viaria, por su parte, parece estará condicionada por dos líneas de tendencia; la rehabilitación y el abandono. La primera de ellas afectará a las carreteras. Las mejoras en sus trazados, el ensanchado de las vías o las mejoras en la accesibilidad podrían asociarse a las previsiones estimadas, cuyo resultado identifica un crecimiento del 23,9%. Por su parte, la red de caminos, cada día menos transitados al verse reducida la actividad agraria (ASENCIO et al., 2022), será colonizada por la vegetación, integrándose en las coberturas bióticas (18,1%).

Tabla 6

Matriz de probabilidad de cambio porcentual entre los diferentes usos y coberturas del suelo en la comarca de las Arribes del Duero entre los años de 2018 y 2056

Distribución porcentual					
2018/2056	Espacio labrado	Espacio no labrado	Espacio artificial	Espacio biótico	Espacio abiótico
Espacio labrado	32,4	51,2	1,0	15,4	0,1
Espacio no labrado	3,1	86,0	0,6	10,3	0,1
Espacio artificial	1,3	12,6	82,8	2,6	0,8
Espacio biótico	0,8	5,8	0,2	92,9	0,3
Espacio abiótico	0,0	1,5	0,1	2,5	95,9

Fuente: elaboración propia.

5. DISCUSIÓN

El objetivo principal de esta investigación, centrado en dar a conocer el proceso de reestructuración paisajística de la comarca de estudio seleccionada, puede considerarse que se ha llevado a cabo de forma exitosa gracias a la aplicación combinada la técnica de la matriz de tabulación cruzada y de las métricas fisiográficas propias de la EP.

Estas técnicas han permitido, en un primer lugar, definir las singularidades de la comarca de los Arribes del Duero en dos momentos temporales, en un espacio cuya dinámica evolutiva ha estado condicionada no solo por el fenómeno del éxodo rural, sino también por las singularidades físicas que lo caracterizan, destacando de entre ellos la pronunciada pendiente, la cual se presenta como elemento limitante de la actividad agraria y su mecanización (MORLON, 1996; BALLESTEROS, 2003; FERNÁNDEZ, 2018).

Es por ello que se ha determinado este territorio como ganadero, como así

lo justifica la elevada extensión cuantificada por los usos de pastos en ambas fechas de estudio, independientemente de la carga arbustiva y arbórea, e incluso el incremento de estos con el paso de los años, circunstancia que se repite en gran parte del oeste peninsular (LASANTA-MARTÍNEZ y ABAD, 2014; LALLANA, 2018). Pero no solo estas coberturas han tenido protagonismo. Los cultivos de olivares y almendros han ocupado grandes extensiones en el pasado, hecho que así se ha extraído del mapa de 1980, localizados en gran medida en las áreas de ladera al asociarse a la técnica del bancal, escalonamiento o «cultivo heroico» (FERNÁNDEZ, 2018; MARINO *et al.*, 2020). Junto a los señalados, el uso de terreno arables también ha tenido gran protagonismo en cuanto a superficie en el año 1980, hecho que puede responder en gran medida a la necesidad de autoabastecimiento del momento y la mayor presión demográfica, que motivó la puesta en cultivo de una mayor extensión de territorio (GARCÍA y LASANTA, 2018; LASANTA *et al.*, 2021).

La dinámica evolutiva en los Arribes del Duero a nivel general está protagonizada por la gran extensión de superficie que ha registrado variación. Entre los años de 1980 y 2018 un total de 18.927,8 ha, o el 50,7% del territorio comarcal, ha presentado cambios de uso, hecho que contrasta con lo registrado en otras comarcas de la provincia de Salamanca. FERNÁNDEZ (2021) lo justifica señalando que, en aquellas áreas donde los materiales geológicos y la topografía lo permite, siendo un ejemplo de ello la comarca de la Guareña, al noreste de la provincia de Salamanca, prima la intensificación y mecanización del campo con el paso de los años, sin registrar gran variedad en cuanto a los usos del suelo, al tiempo que en las comarcas donde afloran materiales paleozoicos y destacan las pronunciadas pendientes la transición entre coberturas habrá sido mayor, como así ha ocurrido en el área de estudio objeto de análisis en esta investigación.

El protagonismo del cambio en la comarca de los Arribes del Duero le ha correspondido, por un lado, a los usos agrarios y, por otro, a las coberturas naturales. Los diferentes usos que componen el espacio cultivado y/o labrado vieron reducida su extensión superficial. Por el contrario, y beneficiándose de lo anteriormente señalado, como así se ha extraído de la matriz de tabulación cruzada, las coberturas de pastos y los usos de matorral y bosque cuantificaron un importante incremento superficial. De forma resumida, la superficie que ocupaban los usos de terreno arable, olivar, frutal, viñedo y asociaciones de cultivos se han sustituido por las categorías de pasto arbolado matorral, dehesa, matorral, matorral arbolado, bosque de frondosas y bosque mixto.

Debido a lo señalado, y por la gran extensión superficial que ha estado afectada por este hecho, la transición o dirección de cambio está protagonizada por la reducción de la actividad y/o el abandono, representando el 24,7% de área comarcal. A esto habría que añadirle la naturalización, proceso donde el abandono ocasiona un más intenso desarrollo del estrato vegetal natural y, por consiguiente, su categorización como cobertura natural, en cuyo caso la representatividad alcanza el 12,2%. Una parte más reducida, correspondiente con el 9,1%, está protagonizada por el cambio de actividad, destacando las transiciones desde terreno arable a pasto (2.489,9 ha). Algo muy similar alcanzaron LASANTA y VICENTE (2007) en su investigación. Sus resultados en cuanto al estudio de los cambios de

usos del suelo, implementado en los valles de Ansó, Hecho, Aragüés, Aísa, Borau y Canfranc, en el sector noroccidental del Pirineo oscense, estuvo determinado por el proceso de revegetación a través de los avances de los matorrales y los bosques, hecho que atribuyeron a la pronunciada pendiente.

A través de las métricas del paisaje, propias de la metodología de la Ecología del Paisaje, y a la vista de los resultados, se ha detectado las singularidades paisajísticas que explican la variabilidad registrada en la comarca de los Arribes del Duero. La estructuración paisajística es caracterizada por su heterogeneidad, hecho que ha respondido al elevado número de categorías cuantificadas y al reducido tamaño de los fragmentos que las integran, que a su vez condiciona la elevada densidad cuantificada (16,1 y 12,2 parches por km² en 1980 y 2018 respectivamente). El abandono de la actividad agraria, ya señalado, ha favorecido que, con el paso de los años se haya reducido la cifra del número de fragmentos y la densidad de estos por superficie, al tiempo que se incrementa el tamaño medio de los mismos.

El índice de la Forma Media (SHAPE_MN), cuyo valor asocia el grado de naturalidad a la irregularidad de la forma, define en esta comarca una variación protagonizada por el abandono de la actividad y la revegetación. En las dos fechas de estudio ha sido las coberturas naturales, y junto a ellas aquellas agrarias caracterizadas por la presencia una mayor densidad matorral y arbórea, a excepción de los cursos fluviales y la red viaria, aquellas que cuantificaron los valores más elevados, justificando su forma más irregular. Por el contrario, las coberturas agrícolas cuantifican la forma más regular, hecho que responde a su carácter antrópico. La variación temporal agudiza aún más estas desigualdades entre usos naturales y antrópicos en cuanto a la forma. La reducción superficial cuantificada por los usos agrícolas entre 1980 y 2018, siendo mayoritaria allí donde la topografía no ha permitido la mecanización, ha condicionado que en la última de las fechas las coberturas de terreno arable, olivares y almendros registren una forma más regular, manteniendo su ocupación en las áreas más llanas. De forma opuesta, los usos del suelo naturales (matorral o bosque) registraron al mismo tiempo un incremento de la irregularidad de su forma promedio, hecho que responde a la colonización de los antiguos espacios agrarios en localizados en las zonas escarpadas. MENDOZA *et al.* (2017) evidencian tras los resultados de su investigación el paralelismo existente entre la deforestación y el incremento de la regularidad de la forma media, hecho que ayudan a corroborar los resultados alcanzados en la comarca de Los Arribes del Duero.

A través de los resultados alcanzados tras el cálculo de la métrica de la Distancia al Vecino más Cercano (ENN_MN) se ha definido el grado de aislamiento y la dinámica de cambio registrada entre los usos del suelo en la comarca de Arribes del Duero en las dos fechas de estudio. En 1980 prima cierta conectividad entre las coberturas agrícolas, cuantificando algunos de los valores más reducidos en cuanto a la distancia media entre los parches que conforman estas coberturas. En 2018 la distancia entre los parches que integran los usos agrícolas se han aumentado significativamente, consecuencia directa de la reducción de su extensión superficial. Al tiempo, la distancia entre las coberturas naturales ha ido

reduciéndose de forma paralela al incremento de su área de ocupación.

La diversidad paisajística de los Arribes del Duero se ha definido como elevada, como así lo han reflejado los resultados del índice de diversidad de Shannon y Simpson para ambas fechas de estudio, hecho que responde al importante grado de fragmentación y heterogeneidad que singulariza esta comarca a pesar del paso del tiempo.

A través del cálculo de probabilidad de cambio se han estimado, en términos relativos (%), la probabilidad de la transición desde una categoría de uso del suelo hacia otra. De este modo se ha podido asegurar que, de mantenerse la tendencia actual, definida a lo largo de esta investigación, a mediados del presente siglo el espacio agrícola tan solo representará una mínima porción de la extensión alcanzada en el año 1980, prácticamente un valor testimonial. La proliferación de la vegetación natural, motivada por la reducción de la actividad agraria, irá colonizando cada vez más superficie, asegurando que esta comarca vive un proceso evolutivo condicionado por la revegetación descontrolada, hecho que puede traducirse en el incremento de riesgos ambientales tales como los incendios.

6. CONCLUSIONES

La técnica metodológica utilizada queda establecida como herramienta de análisis paisajístico y territorial, cuya relevancia motiva su utilización a la hora de abordar una correcta y completa gestión del espacio. Su adaptabilidad y su puesta en práctica no solo facilita la identificación de transiciones o cambios y la delimitación de unidades paisajísticas, sino que motivan el reconocimiento y la determinación de riesgos en cuanto al deterioro y/o la pérdida ambiental y patrimonial, hecho que fomenta su utilidad como elemento en apoyo a la conservación y, por tanto, como mecanismo de ordenación territorial. Igualmente, conocer la línea de tendencia de los procesos de proliferación vegetal descontrolada resulta necesario a la hora de hacer frente a sucesos naturales tales como incendios, inundaciones, corrimientos de tierra, desprendimientos, etc., así como para ejercer una correcta política rural.

La combinación de los procesos metodológicos de la Ecología del Paisaje y la Matriz de tabulación cruzada han permitido abordar el estudio paisajístico desde una perspectiva cuantitativa, objetiva e integradora. A través del minucioso análisis realizado a partir de los resultados obtenidos de las métricas fisiográficas implementadas, así como de aquellos alcanzados de la propia interpretación de la matriz de transiciones se puede conocer al detalle la estructuración fisiográfica de un territorio, su dinámica evolutiva y sus perspectivas de futuro. De este modo se puede reafirmar su utilización como técnica de análisis territorial, su empleabilidad y versatilidad, cuya implementación ayuda a promover estudios más detallados y precisos, favoreciendo la identificación de los hechos acaecidos, así como las causas y las consecuencias que sobre el territorio tienen diferentes fenómenos. De este modo se corroboran los resultados de otros investigadores

quienes han manifestado la relevancia de la utilización de estos mecanismos de interpretación paisajística (AGUILERA, 2008; CATALÁ *et al.*, 2008; IACONO *et al.*, 2012; WU, 2013; SILVA y RUBIO, 2014; PINOS, 2016; ARROYO-RODRÍGUEZ *et al.*, 2017).

El método empleado en esta investigación ha permitido alcanzar todos los objetivos fijados. Los SIG, herramientas a través de las cuales se ha elaborado la cartografía de los usos del suelo, implementando la técnica de fotointerpretación, deben ser considerados mecanismos imprescindibles para la ejecución de las diferentes técnicas y métricas de análisis territorial (LLOBERA, 2006; WU *et al.*, 2007; LIU y YANG, 2015). Así se ha constatado en este trabajo. A través de la superposición de los mapas de las fechas de estudio, y varios geoprocesamientos, ha sido posible dar a conocer la variación superficial de cada una de las coberturas, su localización en el espacio y el tipo de categoría por la cual han variado. Por esta razón, los SIG pueden considerarse un verdadero instrumento de análisis y gestión territorial con múltiples posibilidades, que permiten de forma sencilla interpretar y dar a conocer los diferentes procesos registrados en un determinado espacio.

Por su parte, la utilización del programa estadístico Fragstats ha permitido aplicar los diferentes índices o métricas del paisaje, circunstancia por la cual debe de reconocerse su utilidad como softwares de análisis fisiográfico, cuyos resultados ayudan a caracterizar territorios, como así ha ocurrido en el área de estudio de los Arribes del Duero.

7. REFERENCIAS

- AGUAYO, M.; PAUCHARD, A.; AZÓCAR, G.; PARRA, O. (2009): «Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo xx. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje», *Revista chilena de historia natural*, 82: 361-374. <http://doi.org/10.4067/S0716-078X2009000300004>
- AGUILERA, F. (2008): *Análisis espacial para la ordenación eco-paisajística de la Aglomeración Urbana de Granada*, tesis doctoral, Universidad de Granada, 303 p.p. <http://hdl.handle.net/10481/2038>
- AGUILERA, F. (2010): «Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada», *Anales de Geografía*, 30 (2): 9-29. <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/AGUC1010220009A>
- ALARCOS IZQUIERDO, G.; ORTIZ SANTALIESTRA, M.; LIZANA AVIA, M.; ARAGÓN, A.; FERNÁNDEZ BENÉITEZ, M. J. (2003): «La colonización de medios acuáticos por anfibios como herramienta para su conservación: el ejemplo de Arribes del Duero», *Munibe S*, 16: 114-123. <http://www.aranzadi.eus/fileadmin/docs/Munibe/2003114127.pdf>
- ANTROP, M. (2000): «Changing patterns in the urbanized countryside of Western Europe», *Landscape Ecology*, 15: 257-270. <https://doi.org/10.1023/A:1008151109252>
- ARMESTO LÓPEZ, X. A.; GÓMEZ MARTÍN, M. B.; CORS IGLESIAS, M. (2018): «La

- transformación del mundo agrario en un territorio turístico de montaña. Las comarcas de alta Ribagorça, Aran y Pallars Sobirà», *Cuadernos Geográficos*, 57(3): 267-290. <http://doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i3.6274>
- ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; MORENO, C. E.; GALÁN-ACEDO, C. (2017): «La ecología del paisaje en México: logros, desafíos y oportunidades en las ciencias biológicas», *Revista mexicana de biodiversidad*, 88 (Supl. dic): 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.004>
- ASENCIO-JUNCAL, J.; NEBOT-GÓMEZ DE SALAZAR, N.; MARÍN-MALAVÉ, J. A.; CHAMIZO-NIETO, F. J. (2022): «Turismo responsable y paisaje como alternativa al desarrollo de entornos rurales despoblados: Reflexiones y propuestas docentes para el territorio Valle del Genal desde la Escuela de Arquitectura de Málaga», *HUMAN REVIEW: International Humanities Review*, 11 (3): 1-14. <https://doi.org/10.37467/revhuman.v11.3821>
- BALLESTEROS ARIAS, P. (2003): *La arqueología en la gasificación de Galicia 17: El paisaje agrario*, CAPA (Cadernos de Arqueoloxía e Patrimonio), 18. Laboratorio de Patrimonio, Paleoambiente e Paixase (IIT-USC), Santiago de Compostela. <http://hdl.handle.net/10261/5519>
- BERLING-WOLF, S.; WU, J. (2004): «Modelling urban landscape dynamics: A case study in Phoenix, USA», *Urban Ecosystems*, 7: 215-240. <http://dx.doi.org/10.1023/B:UECO.0000044037.23965.45>
- BOTEQUILHA LEITÃO, A.; AHERN, J. (2002): «Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning», *Landscape and Urban Planning*, 59 (2): 65-93. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00005-1)
- BOTEQUILHA LEITAO, A.; MOLLER, J.; AHERN, J.; MCGARIGAL, K. (2006): *Measuring Landscapes. A Planner's Handbook*, Island Press, Washington.
- CARNICERO, A. (1980): *Estudio petrológico del metamorfismo y de los granitoides entre Cipérez y Aldea del Obispo (W de la provincia de Salamanca)*, tesis doctoral, Universidad de Salamanca, inédita.
- CATALÁ MATEO, R.; BOSQUE SENDRA, J.; PLATA ROCHA, W. (2008): «Análisis de posibles errores en la base de datos CORINE Land Cover (1990-2000) en la Comunidad de Madrid», *Estudios Geográficos*, 69 (264): 81-104. <https://doi.org/10.3989/egeogr.2008.i264.80>
- COLOMBO, S.; CAMACHO-CASTILLO, J. (2014): «Caracterización del olivar de montaña andaluz para la implementación de los Contratos Territoriales de Zona Rural», *Información Técnica Económica Agraria*, 110 (3): 282-299. DOI:10.12706/itea.2014.018
- CUSHMAN, S. A.; MCGARIGAL, K.; NEEL, M. C. (2008): «Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency», *Ecological Indicators*, 8 (5): 691-703. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.12.002>
- DACOSTA, A. F.; DELGADO ÁLVAREZ, J. (2022): «Paisajes vaciados: Desafíos de la arquitectura vernácula desde la comarca de Aliste», en: M. FERNÁNDEZ MAROTO; M. PARÍS (coords), *Paisajes activos: Imágenes del medio rural de la Europa Meridional*, Instituto Universitario de Urbanística, Universidad de Valladolid, Valladolid: 107-117. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/57704/IUU-Dossier-08-Paisajes-Activos.pdf>

- DE LA RIVA, J.; IBARRA, P.; MONTORIO, R.; RODRIGUES, M. (eds.) (2015): *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación: 1251-1260*, Universidad de Zaragoza-AGE.
- DOMÍNGUEZ MARTÍN, R. (2001): «Las transformaciones del sector ganadero en España (1940-1985)», *Ager*, 1: 47-84. <http://hdl.handle.net/10902/3803>
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA) (2006): *Urban Sprawl in Europe*, EEA Report N°10/2006. Copenhagen.
- FARINA, A. (2006): *Principles and Methods in Landscape Ecology: Towards a Science of the Landscape*, 2ª edición, Springer, Londres.
- FERNÁNDEZ ÁLVAREZ, J. (2018): «La comarca natural de los Arribes del Duero. Desafíos demográficos y potencialidades turísticas», *Studia Zamorensia*, 17: 195-207. <http://revistas.uned.es/index.php/studiazamo/article/view/23488>
- FERNÁNDEZ ÁLVAREZ, J. (2019): «La estructura agraria en Castilla y León. La concentración parcelaria como instrumento de adaptabilidad y modernización territorial», *Espacio Tiempo y Forma. Serie VI, Geografía*, 12: 63-94. <https://doi.org/10.5944/etfvi.12.2019.23110>
- FERNÁNDEZ ÁLVAREZ, J. (2021): *Dinámica evolutiva de los usos y coberturas del suelo en la provincia de Salamanca. Análisis comparado y repercusiones en el paisaje rural de cuatro comarcas de estudio*, tesis doctoral, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>
- FORMAN, R. T. T. (1995): *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions*, Cambridge, EE.UU.
- FORMAN, R. T. T. (1997): *Land mosaics: The ecology of landscapes and regions*, Cambridge, Cambridge University Press.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. (1986): *Landscape Ecology*, John Wiley & Sons, Nueva York, 619. <https://doi.org/10.1017/S0376892900008766>
- FRANCO, D.; BOMBONATO, A.; MANNINO, I.; GHETTI, P. F.; ZANETTO, G. (2005): «The evaluation of a planning tool through the landscape ecology concepts and methods», *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 16 (1): 55-70. <http://dx.doi.org/10.1108/14777830510574344>
- GARCÍA GRINDA, J. L. (1995): «Turismo y rehabilitación del patrimonio natural y sociocultural en zonas del interior: potencialidad y riesgo», en AECIT (eds.), ¿España, un país turísticamente avanzado?, IET, Madrid: 115-143.
- GARCÍA-RUIZ, J. M. (2010): «The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review», *Catena*, 81: 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.001>
- GARCÍA RUIZ, J. M.; LASANTA, T. (2018): «El Pirineo Aragonés como paisaje cultural», *Pirineos*, 173. e038. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2018.173005>
- GARCÍA-RUIZ, J. M.; LASANTA-MARTÍNEZ, T. (1990): «Land-Use Changes in the Spanish Pyrenees», *Mountain Research and Development*, 10 (3): 267-279. <https://doi.org/10.2307/3673606>
- GURRUTXAGA SAN VICENTE, M.; LOZANO VALENCIA, P. J. (2008): «Ecología del Paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre», *Estudios Geográficos*, LXIX (265): 519-543. <https://doi.org/10.2307/3673606>

- org/10.3989/estgeogr.0427
- IACONO, M.; LEVINSON, D.; EL GENEIDY, A.; WASFI, R. (2012): «Markov Chain Model of Land Use Change in the Twin Cities, 1958-2005», *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 8 (3): 263-276. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/2985>
- JARAÍZ CABANILLAS, F. J. (2011): *Nuevas dinámicas territoriales y sus repercusiones sobre los cambios de uso del suelo en la Raya Central Ibérica*, tesis doctoral, Universidad de Extremadura. <http://hdl.handle.net/10662/514>
- KEINER, M.; AELEY, K. (2007): «Transnational city networks for sustainability», *European Planning Studies*, 15 (10): 1368-1395. <https://doi.org/10.1080/09654310701550843>
- LALLANA, V. (2018): «Evolución de las coberturas y usos de suelo en la montaña cantábrica central: cambios en la gestión y uso del territorio. El ejemplo del valle de Polaciones en el periodo 1953-2014», *Ería*, 38 (1): 79-98. <https://doi.org/10.17811/er.1.2018.79-98>
- LASANTA-MARTÍNEZ, T.; ABAD, M. E. (2014): «Cambios recientes en las relaciones entre agricultura y ganadería extensiva: de la complementariedad a la dependencia de la ganadería», *Polígonos. Revista de Geografía*, 7: 42-75. <http://dx.doi.org/10.18002/pol.v0i7.1049>
- LASANTA, T.; ARNÁEZ, J.; RUIZ, P.; LANA-RENAULT, N. (2013): «Los bancales en las montañas españolas: un paisaje abandonado y un recurso potencial», *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 63: 301-322. <http://hdl.handle.net/10261/86889>
- LASANTA, T.; NADAL-ROMERO, E.; KHORCHANI, M.; ROMERO-DÍAZ, A. (2021): «A review of abandoned lands in Spain: from local landscapes to global management strategies», *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 47 (2): 477-521. <https://doi.org/10.18172/cig.4755>
- LASANTA, T.; VICENTE-SERRANO, S. M. (2006): «Factores en la variabilidad espacial de los cambios de cubierta vegetal en el Pirineo», *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 32: 57-80. <http://hdl.handle.net/10261/59626>
- LASANTA MARTÍNEZ, T.; VICENTE SERRANO, S. M. (2007): «Cambios en la cubierta vegetal en el Pirineo aragonés en los últimos 50 años», *Pirineos, Revista de Ecología de Montaña*, 162: 125-154. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2007.v162.16>
- LEÓN GARAY, D.; GUTIÉRREZ FERNÁNDEZ, F. (2014): «Reconocimiento del estado actual del paisaje del municipio de Gutiérrez (Cundinamarca), mediante el uso de indicadores de ecología del paisaje», *Revista de Tecnología*, 13 (1): 63-72. <https://doi.org/10.18270/rt.v13i1.1300>
- LLOBERA, M. (2006): «Arqueología del paisaje en el siglo XXI. Reflexiones sobre el uso de los SIG y modelos matemáticos», en I. GRAU (ed.), *La aplicación de los SIG en la Arqueología del paisaje*, Universidad de Alicante, Alicante:109-124.
- LI, X.; YANG, Q.; LIU, X. (2008): «Discovering and evaluating urban signatures for simulating compact development using cellular automata», *Landscape and Urban Planning*, 86: 177-186. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.02.005>

- LIU, T.; YANG, X. (2015): «Monitoring land changes in an urban area using satellite imagery, GIS and landscape metrics», *Applied Geography*, 56: 42-54. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.10.002>
- LÓPEZ GRANADOS, E. M.; BOCCO, G.; MENDOZA CANTÚ; M. (2001): «Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia», *Investigaciones Geográficas*, 45: 39-55. <https://doi.org/10.14350/ig.59145>
- MARINO ALFONSO, J. L.; POBLETE PIEDRABUENA, M. Á.; BEATO BERGUA, S. (2017): «Valoración del patrimonio geomorfológico de un sector del Parque Natural de Arribes del Duero (Bajo Sayago, Zamora)», *Cuaternario y Geomorfología*, 31 (3-4): 27-50. <https://doi.org/10.17735/cyg.v31i3-4.55303>
- MARINO ALFONSO, J. L.; POBLETE PIEDRABUENA, M. Á.; BEATO BERGUA, S. (2020): «Paisajes de Interés Natural (PIN) en los Arribes del Duero (Zamora, España)», *Investigaciones Geográficas*, 73: 95-119. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.MAPPBB>
- MARTÍNEZ DE PISÓN, E. (2010): «Saber ver el paisaje», *Estudios geográficos*, 71 (269): 395-414. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201013>
- MATEUCCI, S. D.; SILVA, M. (2005): «Selección de métricas de configuración espacial para la regionalización de un territorio antropizado», *GeoFocus*, 5: 180-202. <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/65>
- MCGARIGAL, K., (2015): *FRAGSTATS help*, University of Massachusetts, Amherst, MA, USA, 182.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. (1995): *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*, Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351, Portland, Pacific Northwest research Station, 122. <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>
- MENDOZA MORA, M. Á.; RUÍZ, J.; CHAPARRO TORRES, F. A. (2017): «Dinámica de las métricas del paisaje, deforestación y sucesión en el bosque seco tropical en la Isla de Providencia, Colombia, entre 2005 y 2009», *Journal of Chemical Information and Modeling*, 110 (9): 1689-1699.
- MORLON, P. (ed.) (1996): *Comprender la Agricultura Campesina en Los Andes Centrales: Perú-Bolivia*, Instituto Francés de Estudios Andinos, Lima.
- NAFRÍA, D. A.; GARRIDO, N.; ÁLVAREZ, M. V.; CUBERO, D.; FERNÁNDEZ, M.; VILLARINO, I.; GUTIÉRREZ, A.; ABIA, I. (2013): *Atlas Agroclimático de Castilla y León*, Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León y Agencia Estatal de Meteorología, Madrid. <http://www.atlas.itacyl.es/>
- PINEDA, N. B.; BOSQUE, J.; GÓMEZ, M.; PLATA, W. (2009): «Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación», *Investigaciones geográficas*, (69): 33-52. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000200004&lng=es&lng=es
- PINOS, N. (2016): «Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el Ordenamiento Territorial - Caso cantón Cuenca», *Estoa, Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 5 (9): 7-19. <https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.02>

- PONTIUS, R. Jr.; SHUSAS, E.; MCEACHERN, M. (2004): «Detecting important categorical land changes while accounting for persistence», *Agriculture, Ecosystemes and Environment*, 101: 251-268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- PUIGDEFÁBREGAS, J.; MENDIZÁBAL, T. (1998): «Perspectivas sobre la desertificación: Mediterráneo occidental», *Journal of Arid Environments*, 39: 209-224. <http://doi.org/10.1006/jare.1998.0401>.
- ROMERO VARGAS, M. (2005): *Cambios en la estructura del paisaje del Alt Empordà en el periodo 1957-2001*, tesis doctoral, Universidad de Girona, Girona. <http://hdl.handle.net/10803/78989>
- SÁEZ PÉREZ, L. A.; PINILLA NAVARRO, V.; AYUDA BOSQUE, M. I. (2001): «Políticas ante la despoblación del medio rural: un enfoque desde la demanda», *Ager, revista de estudios sobre despoblación y desarrollo rural*, 1: 211-232. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29600106>
- SÁNCHEZ-GARCÍA, C.; FRANCO, M. (2022): «Human-environmental interaction with extreme hydrological events and climate change scenarios as background», *Geography and Sustainability*, 3. 232-236. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2022.08.002>
- SÁNCHEZ MARTÍN, N., RODRÍGUEZ RUIZ, M., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J.; CALERA BELMONTE, A. (2010): «SIGPAC y series multitemporales LANDSAT 5 TM como estrategia híbrida de clasificación de usos de suelo para aplicaciones hidrológicas», en J. OJEDA; M.F. PITA; I.VALLEJO, (eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Sevilla: 1.109-1.118.
- SANDOVAL, V.; OYARZUN, V. (2004): «Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo», *Quebracho - Revista de Ciencias Forestales*, 11: 9-21. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48101101>
- SCHERER, W. (1972): «Aplicación de cadenas de Markov a la sedimentación cíclica de la formación oficina», *Boletín de Geología, Ministerio de Minas e Hidrocarbones, Special Publication*, 3: 1.785-1.822.
- SILVA, A. M.; RUBIO, M. L. (2014): «Análisis de cambios de uso del suelo en la Delegación Municipal de Ingeniero White (Buenos Aires, Argentina): aplicación de geotecnologías», *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 23 (1): 133-146. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v23n1.35580>
- SOMOZA MEDINA, M. (2015): «La forma de las estructuras agrarias tradicionales: relaciones con la agricultura ecológica», *Identidades: territorio, cultura, patrimonio*. 5: 115-135. <https://doi.org/10.5821/identidades.8824>
- TELLO, E. (2006): «La transformación del territorio, antes y después de 1950: un lugar de encuentro transdisciplinar para el estudio del paisaje», *AREAS. Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 25: 5-11. <https://revistas.um.es/areas/article/view/127971>
- TROLL, C. (1939): «Luftbildplan und ökologische Bodenforschung», *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde Zu Berlin*, 74: 241-298.
- TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. (1991): «Quantitative Methods in Landscape Ecology: An Introduction», en M.G. TURNER; R.H. GARDNER (eds.), *Quantitative Methods in Landscape Ecology. The analysis and interpretation of landscape heterogeneity*.

Ecological Studies Series, Springer-Verlag, New York: 3-14.

- VAN VLIET, J.; DE GROOTE, H. L. F.; RIETVELD, P.; VERBURG, P. H. (2015): «Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe», *Landscape and Urban Planning*, 133: 24-36. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.001>
- VÁSQUEZ, A. (2002). *Ecología de paisaje: una aplicación al estudio de la vegetación urbana en la ciudad de Quillota*, memoria para optar al título de Geógrafo, Universidad de Chile.
- VILA, J.; VARGA, D.; LLAUSÀS, A.; RIBAS, A. (2006): «Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía», *Documents d'anàlisi geogràfica*, 48: 151-166. <https://raco.cat/index.php/DocumentsAnalisi/article/view/72657>.
- WILLIAMS, C. B. (1964): *Patterns in the balance of nature and related problems in quantitative biology*, New York Academy Press, Nueva York.
- WU, J. (2013): «Key concepts and research topics in landscape ecology revisited: 30 years after the Allerton Park workshop», *Landscape Ecology*, 28: 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9836-y>
- WU, Y.; BISHOP, I. D.; HOSSAIN, H.; SPOSITO, V. (2007): «Using GIS in landscape visual quality assessment», *Applied GIS*, 2 (3):18.1-18.20. <http://dx.doi.org/10.2104/ag060018>