



VNIVERSITAT
ID VALÈNCIA [Logo] Facultat de **G**eografia i **H**istòria

Doctorat en Geografia i Història del Mediterrani des de la Prehistòria a l'Edat Moderna
00026 – Estudi dels paisatges naturals i culturals a la conca mediterrània

Directores de tesis:

Dr. Emilio Iranzo García y Dr. Juan Antonio Pascual Aguilar



Dinámica, modelización y servicios ecosistémicos del paisaje.

Metodología para el análisis de la franja costera del Mediterráneo occidental.

Rafael Belda Carrasco, solicitud depósito 10/2019

ÍNDICE

C1. Sumario / Summary	7
Dinámica del paisaje / Landscape Dynamics	9
Modelización de escenarios / Scenario Modelling	10
Evaluación de los servicios ecosistémicos / Ecosystem services evaluation	12
C2. Justificación y objetivos	13
2.1. Justificación de la tesis	13
2.2. Objetivos	15
2.3. Áreas de estudio, delimitaciones espacio-temporales	17
2.3.1. Área de estudio A1, Castelló de la Plana	17
2.3.2. Área de estudio A2, área metropolitana de Valencia	19
C3. Bases teóricas y metodológicas	21
3.1. Marco conceptual	21
3.1.1. El concepto de paisaje	21
Estudio sincrónico y principalmente diacrónico del paisaje	24
3.1.2. Métodos para la identificación, análisis y clasificación del paisaje	25
Valoración del carácter del paisaje: (LCA, <i>landscape character assessment</i>)	25
LANMAP	26
Clasificación del paisaje ABC	26
Pirámide taxonómica de paisaje (LTP, <i>landscape taxonomic pyramid</i>)	27
3.1.3. Dinámica EGO: software para la modelización de los cambios de paisaje	28
3.1.4. Proceso estocástico y cadena de Markov	30

3.1.5. Automatas celulares (CA, <i>cellular automata</i>)	31
3.1.6. Capital natural y servicios ecosistémicos	33
3.2. Metodología y materiales	34
3.2.1. Materiales y fuentes de información	35
Entorno de trabajo, incorporación de datos y análisis con SIG	35
Identificación y delimitación de paisajes en espacios litorales	35
Modelización de los procesos de cambio en espacios litorales.....	37
Evaluación de los servicios ecosistémicos de los paisajes	39
3.2.2. Procedimiento para la identificación y delimitación de paisajes	40
Producción y manipulación de la información base: patrones y tipos de paisaje	42
Generación de unidades (land unit): unidades de paisaje	45
3.2.3. Metodología de modelización de los procesos de cambio	47
Producción y tratamiento de la información base	49
Procedimiento de la simulación	56
Validación de la simulación.....	59
Escenarios del modelo de cambio de paisajes en espacios litorales	61
3.2.4. Metodología de evaluación de los servicios ecosistémicos de los paisajes.....	62
Producción y tratamiento de la información base	63
Evaluación de la capacidad de uso	63
Evaluación de la capacidad de retención de agua	64
C4. Dinámica del paisaje.....	67
4.1. Bases de la evolución del paisaje litoral.....	67
4.1.1. Información base para la parametrización.....	67
4.1.2. Identificación de los tipos de paisaje	68
4.1.3. Delimitación de las unidades de paisaje	68
4.2. Área de estudio A1, Castelló de la Plana.....	69
4.2.1. Unidades de paisaje y su dinámica	70
4.3. Área de estudio A2, área metropolitana de Valencia	79
4.3.1. Unidades de paisaje y su dinámica	80
C5. Modelización de las transformaciones del paisaje.....	87
5.1. Modelización y tendencias de cambio mediante software	87
5.1.1. Dinámica EGO, cadena de Markov y autómatas celulares (CA).....	87

5.1.2. Variables espaciales estáticas y dinámicas	88
5.1.3. Calibración de la modelización.....	88
5.1.4. Evaluación de la calidad de la calibración.....	89
5.2. Área de estudio A1, Castellón de la Plana	89
5.2.1. Transiciones	89
5.2.2. Variables espaciales significativas	92
5.2.3. Calibración del modelo.....	93
5.2.4. Escenarios del modelo de cambio	99
Continuidad (escenario 1), manteniendo las variables.....	103
Cambio (escenario 2), modificando el planeamiento urbanístico.....	105
5.3. Área de estudio A2, área metropolitana de Valencia.....	107
5.3.1. Transiciones	107
5.3.2. Variables espaciales significantes.....	108
5.3.3. Calibración del modelo.....	110
5.3.4. Escenarios del modelo de cambio	116
Continuidad (escenario 1), manteniendo las variables.....	120
C6. Evaluación de los servicios ecosistémicos de los paisajes	123
6.1. Evaluación de la capacidad de uso	123
6.1.1. Área de estudio A1, Castelló de la Plana.....	123
6.1.2. Área de estudio A2, área metropolitana de Valencia	128
6.2. Evaluación de la capacidad de retención de agua	131
6.2.1. Área de estudio A1, Castelló de la Plana.....	131
6.2.2. Área de estudio A2, área metropolitana de Valencia.....	136
6.3 Métricas espaciales de los servicios ecosistémicos	140
6.3.1. Área de estudio A1, Castelló de la Plana.....	140
6.2.2. Área de estudio A2, área metropolitana de Valencia	143
C7. Discusión.....	147
7.1. Dinámica del paisaje.....	147
7.2. Modelización de escenarios.....	149
7.3. Evaluación de los servicios ecosistémicos	151
C8. Conclusiones / Conclusions.....	153
C9. Consideraciones finales / Final considerations	159

Bibliografía	163
Listas	181
Lista de figuras	181
Lista de tablas	186
Lista de acrónimos	190

C1. SUMARIO / SUMMARY

El análisis y la dinámica de los paisajes a lo largo del tiempo y el espacio es esencial para la caracterización, ordenación y gestión de los paisajes actuales. Los paisajes, entendidos en su amplia escala espacial y temporal, son una expresión del trabajo conjunto de la naturaleza y el ser humano y por tanto un recurso territorial, un patrimonio y una señal de identidad, que necesita atención, protección y gestión. En el Convenio Europeo del Paisaje se institucionaliza el interés y el derecho al paisaje, y se insta a que los estados y regiones firmantes articulen políticas de paisaje en el marco de la ordenación territorial. Políticas que se operativizan mediante la identificación, análisis y caracterización de los paisajes presentes, así como de sus dinámicas y los factores que contribuyen al cambio (Consejo de Europa 2000; Déjeant-Pons 2006).

Este conocimiento es la base sobre la que se fundamenta la toma de decisiones en la intervención en el territorio; en la manera de proteger, de ordenar o de gestionar los paisajes y en el modo de plantear el

Analysis and landscape dynamics over time and space is essential for characterization, development and management of existing landscapes. Landscapes, understood in its wide spatial and temporal scale, are an expression of the joint work of nature and the human being. Therefore, a territorial resource, a heritage and an identity sign, which needs attention, protection and management. In the European Landscape Convention, interest and the right to landscape are institutionalized, and signatory states and regions are urged to articulate landscape policies within the framework of territorial planning. Policies that are operationalized through identification, analysis and characterization of existing landscapes, as well as their dynamics and the contribute factors to change (Consejo de Europa 2000; Déjeant-Pons 2006).

planeamiento (Jones y Stenseke 2011). Para apoyar esa toma de decisiones se necesita disponer de un conocimiento profundo de los componentes, procesos, relaciones e interpretaciones que explican el carácter de cada paisaje. Es necesario identificar cuáles son los tipos de paisaje y las unidades paisajísticas; conocer la dinámica histórica y además, disponer de un modelo geoespacial que nos permita generar los escenarios futuros según las diferentes decisiones previstas (Antrop y Van Eetvelde 2017). Esta dinámica espacio-temporal, junto con los escenarios de futuro previstos influyen decisivamente sobre el capital natural y cultural de un territorio. En este sentido, la dinámica de los paisajes genera cambios en los servicios ecosistémicos y en el sentido de lugar, que es necesario evaluar.

Las áreas periurbanas de la franja litoral del Mediterráneo occidental han experimentado una fuerte transformación, debido a la histórica e intensa ocupación humana del litoral. El resultado ha sido una evolución por distintas configuraciones paisajísticas, que van desde las fundamentadas en sistemas agropecuarios, a las urbanas derivadas del proceso de crecimiento metropolitano. El objetivo de este trabajo es proponer una metodología que explique la transformación del paisaje en espacios litorales, tanto en su dinámica histórica como los posibles escenarios de futuro. Además, se pretende evaluar la influencia del cambio en el paisaje sobre los servicios ecosistémicos, tomando

This knowledge is the basis on which the decision is based on the intervention in the territory; on how to protect, order or manage landscapes and how to raise planning (Jones y Stenseke 2011). To support this decision-making process, it is necessary to have a thorough knowledge of the components, processes, relationships and interpretations that explain the landscape character. It is necessary to identify the landscape types and landscape units; to know the historical dynamics and also have a geospatial model that allows us to generate future scenarios according to the different planned decisions (Antrop y Van Eetvelde 2017). This space-time dynamic, together with the planned future scenarios, have a decisive influence on natural and cultural capital of a territory. In this sense, the landscape dynamics generates changes in ecosystem services and in the sense of place, which is necessary to evaluate.

The peri-urban areas of the western Mediterranean coastline have undergone a strong transformation, due to the historic and intense human occupation of the coastline. The result has been an evolution through different landscape configurations, ranging from those based on agricultural systems to urban ones, derived from the metropolitan growth process. The aim of this work is to propose a methodology that explains the transformation of the landscape in coastal areas, both in its historical dynamics and

como áreas de estudio el municipio de Castelló de la Plana y el área metropolitana de Valencia. La finalidad es identificar y comprender la manera en que la sociedad se ha apropiado y ha ocupado la franja litoral, generando unas nuevas dinámicas territoriales y jerarquías espaciales. La investigación busca desarrollar la metodología y las técnicas de análisis geográfico, que permitan explicitar los elementos motores en la evolución del paisaje, su transformación y las consecuencias sobre los servicios ecosistémicos.

Dinámica del paisaje / Landscape Dynamics

El paisaje es una construcción humana en continuo proceso de cambio (Nogué i Font 2010). Para analizar la dinámica del paisaje, se propone una metodología que se fundamenta en el estudio diacrónico del paisaje, siendo la disponibilidad documental (cartografía, ortofotografía, fotografía aérea, oblicua, etc.), los sistemas información geográfica (SIG) y el modelado geoespacial, los criterios establecidos para marcar las diferentes etapas de análisis dentro de la serie temporal. Para ello se utiliza la información de coberturas del suelo para la identificación los patrones de paisaje para en una fase posterior, incorporando el modelo fisiográfico, el litológico y los biomas obtener los tipos de paisajes para la serie temporal completa. Con los tipos de paisaje definidos, se procede a

possible future scenarios. In addition, it aims to assess the influence of landscape change on ecosystem services, taking as study areas the municipality of Castelló de la Plana and Valencia metropolitan area. The purpose is to identify and to understand how society has appropriated and has occupied the coastal strip, creating a new territorial dynamics and spatial hierarchies. The research seeks to develop the methodology and techniques of geographical analysis, which allow to explain the motor elements in landscape evolution, its transformation and consequences on ecosystem services.

Landscape is a human construction in continuous process of change (Nogué i Font 2010). The methodology proposed to analyse the landscape dynamics is based on landscape diachronic study. Documentary availability (cartography, orthophotography, aerial photography, oblique, etc.), geographic information systems (GIS) and geospatial modelling are the criteria established to mark the different stages of analysis within the time series. For this, land cover information is used to identify landscape patterns for a later stage, incorporating the physiographic, lithological and biometric models to obtain landscape types for the entire time series. With the defined landscape types, landscape units are

cartografiar y delimitar geográficamente las unidades de paisaje con apoyo de la ortofotografía, las fotografías aéreas y las cartografías históricas, así como la documentación histórica.

Este procedimiento metodológico se realiza para las dos áreas de estudio, con dos escalas espaciales (local y supralocal) y dos escalas temporales (30 y 105 años) distintas. Todo ello para obtener los patrones de cambio en la dinámica del paisaje cultural a lo largo del tiempo y del espacio, tanto de variación cuantitativa como espacial y de fragmentación que nos permitan explicar la situación actual del paisaje.

Obtenemos una dinámica de crecimiento constante de los tipos de paisaje urbano, un mantenimiento sostenido de los tipos agrícolas de regadío y un descenso acusado de los tipos agrícolas de secano. Por último, los tipos forestales tienen una tendencia de ligero crecimiento y los tipos de la marjal, humedal y arrozal desaparecen en el área A1, Castelló de la Plana o reducen su importancia en el área A2, área metropolitana de Valencia. Con todo ello, obtenemos un aumento constante de la fragmentación de las unidades de paisaje.

Modelización de escenarios / Scenario Modelling

Junto con la metodología para la obtención de las dinámicas del paisaje histórico, se propone también analizar los escenarios futuros posibles según la toma de decisiones. Para ello, utilizando el software Dinamica

geographically mapped and delimited with the support of orthophotography, aerial photographs and historical cartographies, as well as historical documentation.

This methodological procedure is performed for the two study areas, with two spatial scales (local and supralocal) and two different time scales (30 and 105 years). All this to obtain patterns of change in dynamics of cultural landscape over time and space, both quantitative and spatial variation and fragmentation that allow us to explain the current landscape situation.

We obtain a dynamic of constant growth of urban landscape types, a sustained maintenance of the irrigation agricultural types and a marked decrease of the rain feed agricultural types. Finally, forest types have a tendency of slight growth and marsh types, wetland and rice fields disappear into the area A1, Castelló de la Plana, or reduce its importance in the area A2, metropolitan area of Valencia. With all this, we obtain a steady increase in the fragmentation of landscape units.

Along with the methodology for obtaining the historical landscape dynamics, it is also proposed to analyse the possible future scenarios according to the decision-making process. To do this, a geospatial model is

EGO, mediante los procesos estocásticos, la cadena de Markov y los autómatas celulares (CA), se genera un modelo geoespacial. En este modelo se utilizan como datos de entrada los tipos y unidades de paisaje previamente delimitados y cartografiados, y como elementos de ponderación las variables espaciales que inducen al cambio. Se obtienen las matrices de transición, se categorizan las variables que inducen al cambio en rangos y coeficientes y se calibra el modelo geoespacial. Las distintas iteraciones de la calibración se validan para obtener su calidad, hasta conseguir la calibración más afinada que será la utilizada para la simulación. La generación de escenarios se realizará con este modelo geoespacial calibrado, ajustando las variables según la tendencia que se desee analizar.

En nuestra investigación generamos dos escenarios, de continuidad y de cambio, para el área de estudio A1, Castelló de la Plana, y un escenario de continuidad para la A2, área metropolitana de Valencia. Los escenarios modelizados mantienen las tendencias de la dinámica de los paisajes, excepto los tipos agrícolas de regadío que pasan del mantenimiento a la reducción moderada. En cuanto a la fragmentación, continua el aumento en todos los escenarios, pero en el escenario 2 del área A1, Castelló de la Plana, se logra reducir su aumento significativamente.

generated by using the Dinamica EGO software; along stochastic processes, Markov chain and cellular automata (CA). In this model, previously delimited and mapped landscape types and units are used as input data, and spatial variables that induce change as Weight of Evidence. Transition matrices are obtained, variables that induce the change in ranges and coefficients are categorized and geospatial model is calibrated. The various iterations of the calibration are validated for quality, in order to achieve finer calibration that will be used for simulation. Scenario generation is carried out with the geospatial model calibrated by adjusting variables according to the tendency to be analysed.

In our research we generate two scenarios, of continuity and change, for area A1, Castelló de la Plana, and a scenario of continuity for area A2, metropolitan area of Valencia. The scenarios modelled trends maintain the landscape dynamics, except for irrigation agricultural types passing from peacekeeping to moderate reduction. As for fragmentation it continues to increase in all scenarios, but on scenario 2, area A1 Castelló de la Plana, its increase is significantly reduced.

Evaluación de los servicios ecosistémicos / Ecosystem services evaluation

Por último, proponemos una metodología para analizar la evolución de los servicios ecosistémicos y su relación con las dinámicas del paisaje y sus distintos escenarios. Para ello utilizamos dos atributos del suelo sobre el que se asientan las unidades de paisaje: la capacidad de uso y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Mediante estos atributos estamos evaluando los servicios de abastecimiento, relacionado con la producción de alimentos, y de regulación y apoyo, relacionados con el suministro de agua, producción de alimentos y soporte de los procesos ecosistémicos.

Obtenemos una pérdida generalizada de ambos servicios ecosistémicos a lo largo de la serie temporal y los escenarios. Esta podría verse limitada teniendo los servicios ecosistémicos en consideración a la hora de generar los escenarios, al incorporarlos a la toma de decisiones.

La combinación de las dinámicas del paisaje, de los escenarios y la evaluación de los servicios ecosistémicos, permitirán fundamentar y mejorar la toma de decisiones en la planificación del territorio y el urbanismo en las zonas litorales del Mediterráneo occidental.

Finally, we propose a methodology to analyse the evolution of ecosystem services and their relationship with landscape dynamics and its different scenarios. We use two attributes of the soil on the landscape units: soil use capacity and soil water storage capacity. Through these attributes we are evaluating provisioning services, related to food production, and regulation and supporting services, related to water supply, food production and support of ecosystem processes.

We obtain a generalized loss of both ecosystem services over the time series and scenarios. This may be limited by taking into consideration ecosystem services and incorporating them into decision-making when generating scenarios.

The combination of landscape dynamics, scenarios and ecosystem services evaluation, allow to base and improve decision-making in land use planning and urban planning in coastal areas of the western Mediterranean.

C2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

2.1. Justificación de la tesis

El proyecto de investigación de la tesis pretende obtener una metodología que permita, en primer lugar, una caracterización y estudio de la evolución a lo largo del tiempo de los paisajes en la franja litoral del Mediterráneo occidental. Con los resultados de esta primera parte de la investigación, se pretende generar un modelo geoespacial semiautomático que pronostique la evolución futura de los mismos según las variables espaciales que inciden significativamente en el cambio de estos paisajes de la franja litoral. Con estos datos, además, se pretende evaluar las repercusiones de dicha evolución en los servicios ecosistémicos (Gallardo 2018).

La necesidad de una investigación que caracterice, pero que al mismo tiempo estudie la evolución pasada y los escenarios futuros del paisaje en la franja litoral del Mediterráneo occidental, viene dada por ser un territorio con una dinámica en el cambio del paisaje muy intensa en la que los entornos urbanos y periurbanos están produciendo cambios muy importantes. Al mismo tiempo, estos espacios deben disponer de una planificación territorial a escala regional y urbanística a escala local. Desde la aprobación y sobre todo desde la ratificación del Convenio Europeo del Paisaje (Consejo de Europa 2000), nuestra legislación territorial y urbanística obliga a que los instrumentos de planificación dispongan de estudios de paisaje y estos, además de la caracterización, deben incorporar la dinámica espacial y temporal. Esta planificación necesita modelos geoespaciales que relacionen la evolución histórica con las consecuencias en el cambio de los paisajes debido a los diferentes escenarios que se decidan plantear en ella. Con estos modelos geoespaciales se pueden avanzar los escenarios futuros de los paisajes que se generarán con y sin la planificación.

Algunos de los trabajos realizados en los últimos años relacionados con la caracterización y evolución de los paisajes de la franja litoral, analizan un ámbito regional y suprarregional (Gómez-Zotano y Riesco-Chueca 2010), entre ellos se encuentran los realizados por Plan Bleu (Benoit, Coudert y Moriconi-Ebrard 2001) y por Mediterranean Commission on Sustainable Development (MSCD) (UNEP/MAP 2016). Algunos análisis a menor escala, de ámbito subregional y supralocal se han realizado en otros sectores del Mediterráneo, entre ellos los centrados en áreas rurales de las regiones montañosas de España e Italia (Agnoletti et al. 2015; Gómez-Zotano et al. 2018; Iranzo-García 2009; Serrano Giné 2018; Statuto, Cillis y Picuno 2016; Tortora, Statuto y Picuno 2015). Respecto a los estudios realizados en España, hay trabajos que tratan de sistematizar el análisis y la caracterización de los paisajes en todo el territorio a escala regional y subregional (Iranzo-García 2009; Gómez-Zotano y Riesco-Chueca 2010), mientras que otros trabajos están relacionados con las tendencias del paisaje en las zonas húmedas costeras y los entornos agrícolas, entre ellos las investigaciones centradas en la huerta tradicional de Murcia (García Martín y Ros Sempere 2016; Mata Olmo y Fernández Muñoz 2004; Martí Llambrich 2005).

Sin embargo, estos trabajos, a diferencia del propuesto en el proyecto de investigación de la tesis, no incorporan el estudio holístico de los paisajes como elemento cultural en continua transformación en el espacio y el tiempo. Esta falta de integración e interacción en los estudios de paisajes de tipo urbano, periurbano, agrícola, forestal y de agua, hace que sea más difícil analizar las dinámicas de cambio a lo largo del tiempo y el espacio y la obtención de un modelo que se ajuste adecuadamente a los posibles escenarios futuros.

Por ello, con nuestro trabajo se procede a modelizar esas dinámicas de cambio y se genera un modelo que nos permita obtener no sólo las tendencias en los paisajes sino incluso las unidades de paisaje, los tipos de paisaje y su ubicación en el tiempo y el espacio en escenarios de futuro a corto y medio plazo. El modelo de cambio en los paisajes que se realiza en la tesis emplea hasta 17 tipos de paisajes (área de estudio A1, escala local), algo singular si se compara con los modelos de los trabajos documentados en los últimos años realizados sobre cambios en los usos o las coberturas del suelo, que no paisajes (Basse et al. 2014; Camacho Olmedo et al. 2015; García 2016; Kumar et al. 2018; Mas et al. 2017; Meneses et al. 2017; Mirkatouli, Hosseini y Neshat 2015; Pascual Aguilar 2002; Pindozi et al. 2016; Roy, Fox y Emsellem 2015; Serra, Pons y Saurí 2008) o con un número de tipos mucho más reducido, cuando se trata de dinámicas del paisaje (De Aranzabal et al. 2008; Statuto, Cillis y Picuno 2016; Tortora, Statuto y Picuno 2015; Troupin y Carmel 2016).

Habitualmente los estudios relacionados con los cambios en el paisaje tienen una sola área de estudio, una única escala espacial y entre dos y cuatro momentos temporales

(Gallardo 2018; Plieninger et al. 2016), sin embargo, nuestra investigación utiliza dos áreas de estudio a diferentes escalas, una local (1:5.000) y la otra supralocal (1:50.000) y con hasta 6 momentos en la serie temporal. Con ello se pretende buscar una mejor calidad en el análisis y unos posibles escenarios de futuro mucho más ajustados.

2.2. Objetivos

El objetivo general de la tesis es el diseño de una metodología para la identificación, caracterización y estudio de la evolución histórica y los escenarios de los paisajes de las llanuras litorales del Mediterráneo occidental, así como su incidencia en los servicios ecosistémicos.

Como objetivos específicos:

1. Establecer un marco teórico que sienta las bases de la tesis, mediante la incorporación de literatura que establezca el estado de la cuestión en relación con la identificación y análisis del paisaje, así como su dinámica y los modelos de cambio existentes tanto en paisaje como en usos y coberturas del suelo.
2. Identificar y analizar la dinámica de los paisajes de las áreas de estudio y generar una base de datos espaciales con los elementos necesarios para la identificación y análisis de los paisajes litorales del Mediterráneo occidental en general.
3. Diseño, calibración y validación de un modelo de cambio en los paisajes basado en procesos estocásticos y autómatas celulares (CA, *Cellular Automata*), aplicado a las llanuras litorales del Mediterráneo occidental.
4. Generación de escenarios con el modelo diseñado y consideración de su aplicabilidad en ejercicios de planeamiento territorial regional y urbanístico local.
5. Evaluación de los servicios ecosistémicos de los paisajes sobre el suelo en su dinámica temporal de cambio, aplicada a las llanuras litorales del Mediterráneo occidental.
6. Aplicación de la metodología propuesta y valoración de los resultados a escala local (área de estudio A1, municipio de Castelló de la Plana) y a escala supralocal (área de estudio A2, área metropolitana de Valencia).

Para lograr estos objetivos específicos se propone una metodología que nos permita identificar, analizar y valorar la dinámica de los paisajes de las áreas periurbanas del litoral Mediterráneo occidental. La finalidad es identificar y comprender la manera en que la sociedad

se ha apropiado y ha ocupado estos espacios, generando unas nuevas dinámicas territoriales y jerarquías de los lugares. La investigación busca desarrollar los procedimientos y las técnicas geográficas que hacen posible explicitar los elementos motores en la evolución del paisaje y su incidencia en su potencial transformación futura. En este sentido, se pretende identificar las tipologías paisajísticas y las unidades de paisaje para cada uno de los momentos históricos de la serie temporal y comprender la manera en la que cada comunidad las ha ido configurando, para conocer que tipos de paisaje están sometidos a una mayor variabilidad y cómo se secuencian los patrones de cambio a lo largo del tiempo.

Posteriormente, y con los datos obtenidos, se pretende evaluar un modelo geoespacial de cambio en el paisaje fundamentado en el enfoque cambio de uso o cobertura del suelo (LUCC, *Land-Use and Land-Cover Change*) que explica el vínculo entre la acción antrópica y la evolución del paisaje y, así, obtener las variables espaciales que significativamente inducen al cambio. Se analiza la repercusión que, en la variación de los tipos de paisaje, tienen las variables correspondientes a las formas del terreno, litología, planeamiento, las infraestructuras (verde, hidrológica, comunicaciones y riegos), los riesgos medioambientales y las estructuras antrópicas y características socioeconómicas. Las variables consideradas relevantes se utilizan para la calibración del modelo geoespacial de cambio del paisaje y su posterior análisis mediante las herramientas propiciadas por los sistemas de información geográfica (SIG). Finalmente, con el modelo de cambio calibrado y validado, se procede a generar escenarios, para discutir la influencia de la planificación territorial regional y el planeamiento urbanístico local en el cambio del paisaje a lo largo del tiempo. Con ello se obtienen los posibles escenarios futuros según se apliquen los distintos instrumentos de planificación.

Por último, se relaciona la dinámica de los paisajes y los escenarios futuros con los servicios ecosistémicos. En concreto con dos aspectos de las características del suelo sobre el que se asientan las unidades de paisaje: la capacidad de uso, una forma indirecta de valorar los servicios ecosistémicos de abastecimiento (alimentos y materias primas); y la capacidad de retención de agua del suelo, para evaluar los servicios de regulación (clima, fenómenos extremos, filtración, fertilidad y regulación del flujo) y apoyo (especies y diversidad genética) (Iverson et al. 2014; Millennium Ecosystem Assessment 2005; Pascual Aguilar 2002). Además, para poder utilizar ambas capacidades y relacionarlas con los tipos de paisaje, se utilizan los datos de impermeabilización de los suelos. Los resultados de los servicios ecosistémicos se incorporan a los escenarios futuros para enriquecer y mejorar la toma de decisiones en los instrumentos de planificación.

2.3. Áreas de estudio, delimitaciones espacio-temporales

La investigación se plantea como un método que permita analizar la transformación de los paisajes en las áreas litorales del Mediterráneo occidental. Un área con una interacción muy importante entre los paisajes forestales, agrícolas y urbanos. Es un entorno en el que intervienen factores terrestres, fluviales y marinos, que condicionan claramente la generación de los distintos paisajes. Además, la presión de las actividades humanas (económicas, sociales, recreativas y culturales) se intensifica sobre esta franja del territorio. La interacción entre los paisajes, los factores que intervienen y las actividades humanas tienen características que pueden ser consideradas comunes en las áreas litorales del Mediterráneo occidental. Es un área con unas características generales equiparables tanto en cuanto a sus condicionantes geomorfológicos y biogeográficos como a los culturales y de ocupación del territorio a lo largo del tiempo.

Para la realización de la investigación y proceder a aplicar los modelos, se decide analizar dos entornos territoriales que permitan obtener escalas y series temporales distintas. En primer lugar, desde la escala local, con una serie temporal mayor y con más momentos históricos, correspondiente a un término municipal extendido a unidades de paisaje completas y en segundo lugar, desde la escala supralocal, con una serie temporal más corta, correspondiente a un área metropolitana. Por ello, se definen dos áreas de estudio, a escalas distintas (local y supralocal) y series temporales distintas (100 años con 6 momentos y 22 años con 3 momentos) que nos permitan validar la metodología y obtener resultados concretos.

2.3.1. Área de estudio A1, Castelló de la Plana

Esta área de estudio, de 23.972 ha, corresponde al término municipal de Castelló de la Plana y su entorno inmediato (Figura 2.01). La delimitación del entorno de trabajo se fundamenta en el principio de que el paisaje no se ajusta a límites de tipo administrativo, sino a paisajes completos, de modo que el área de estudio siempre va a superar los límites de término municipal.

El área de estudio A1 limita al norte con las estribaciones del Desert de les Palmes, al este con el mar Mediterráneo, al sur con el cauce de la Rambla de la Viuda y la desembocadura del río Millars y al oeste con el embalse de María Cristina. Tomando como referencia el trabajo anterior de la unidad de investigación del Departament de Geografia de la Universitat de València, ESTEPA (Estudios del Territorio, Paisaje y Patrimonio), Atlas de la Comunitat Valenciana. Geografía del Paisaje (Hermosilla Pla e Iranzo-García 2012), el área,

caracterizada por mostrar un paisaje urbano y periurbano (agrícola-urbano-industrial en llanura y glacies), se ubica entre el límite septentrional de la unidad de paisaje UPCV03.24 Plana de Castelló y el meridional (aunque con escasa superficie), de la unidad de paisaje UPCV03.23 Desert de les Palmes. Se trata de una zona enclavada en el noreste de la unidad de paisaje UPCV03.24, que comprende la restinga litoral, el marjal, la marjalería (marjal cultivado con una estructura parcelaria y paisajística singular), la huerta, los núcleos urbanos e industriales y los antiguos terrenos de secano en el piedemonte del Desert de les Palmes en la parte norte y oeste del área.

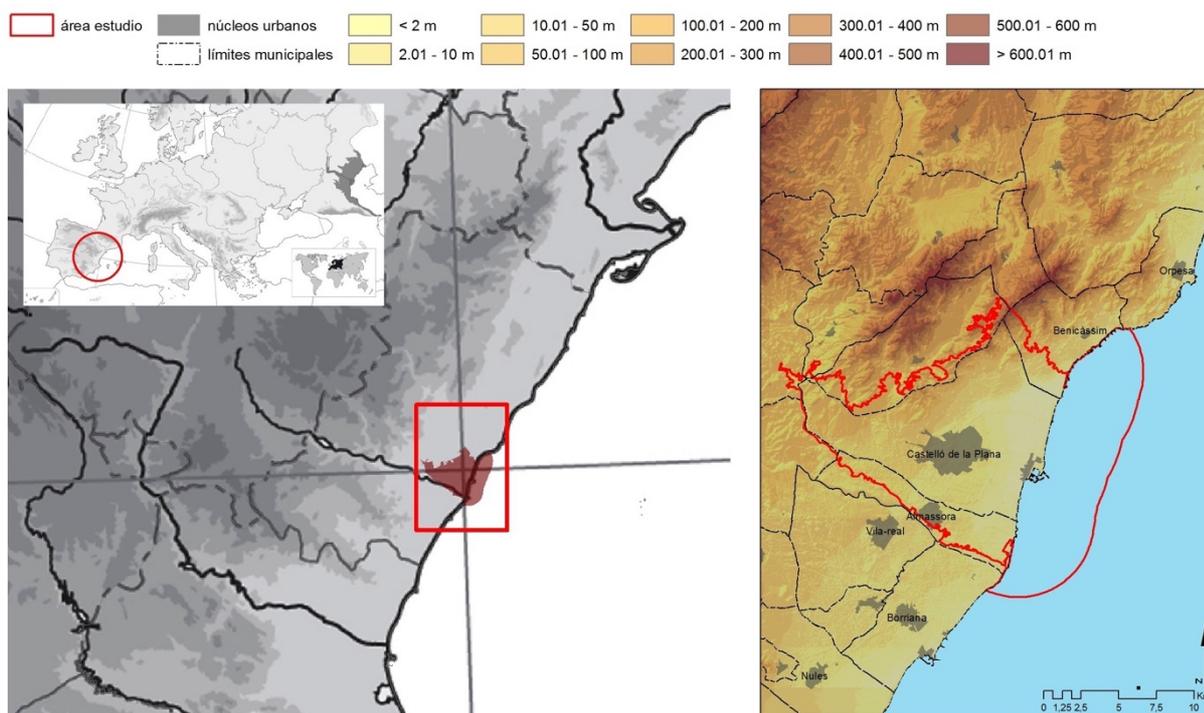


Figura 2.01. Mapa de situación y emplazamiento del área de estudio A1, Castelló de la Plana.

Como elementos y ejes vertebradores del área de estudio A1 se identifican el camino Caminás y el de la Donació, en el este, y las cuadras que estructuran el espacio del antiguo secano en el oeste, todos ellos en dirección norte-sur. Además, dispone de ejes transversales, tanto de tipo viario como infraestructuras hidráulicas (acequias), que se suceden y articulan de oeste a este en todo el espacio de trabajo, partiendo los primeros desde los núcleos de población y el camino Caminás hasta llegar a la misma línea de costa o hasta las zonas pantanosas del marjal; y los segundos desde la Acequia Mayor de Almassora y la de Castelló de la Plana, no estando presentes en el término de Benicassim debido a que el sistema de riego empleado se fundamenta en la extracción de agua del subsuelo.

En cuanto a las afecciones territoriales, principalmente espacios protegidos y elementos catalogados, en el área tenemos de tipo patrimonial y de tipo ambiental. Alcanzan un fuerte

protagonismo las estribaciones del Parque Natural del Desert de les Palmes, en el límite norte y el Paisaje Protegido de la desembocadura del Millars, en el límite sur. Además, aunque sin catalogar, se encuentra el Cuadro de Santiago, el reducto al norte de lo que fue el Cuadro de Castelló, espacio de marjal que a lo largo del tiempo se ha intentado transformar primero en arrozal, posteriormente en cultivos de regadío, y en los últimos tiempos en entorno urbano disperso, con diversa fortuna en cada uno de los casos.

2.3.2. Área de estudio A2, área metropolitana de Valencia

Esta área de estudio, de 183.730 ha, supera al área metropolitana de Valencia (Figura 2.02). La delimitación del entorno de trabajo se fundamenta en el principio de que el paisaje no se ajusta a límites de tipo administrativo, de modo que el área de estudio siempre va a superar los límites del área metropolitana.

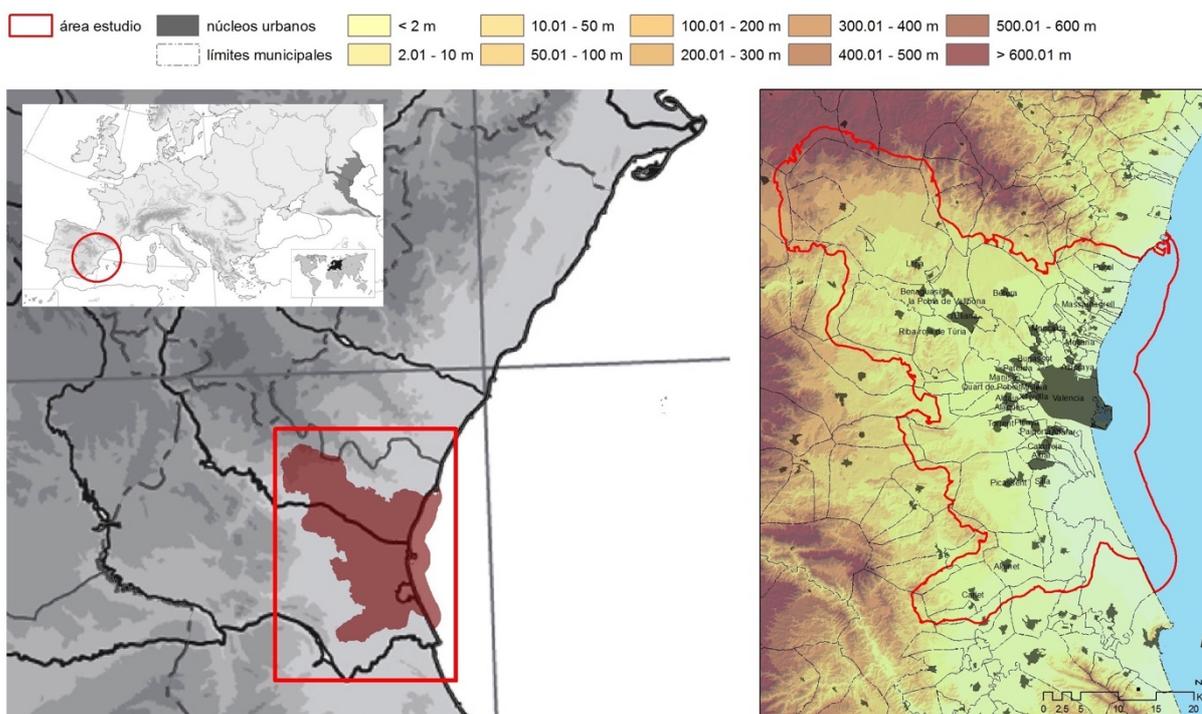


Figura 2.02. Mapa de situación y emplazamiento del área de estudio A2, área metropolitana de Valencia.

El área de estudio A2 limita al norte con las estribaciones de la Sierra Calderona, al este con el mar Mediterráneo, al sur con el resto de la llanura litoral y el piedemonte de la Serra de la Murta y al oeste con las estribaciones y piedemontes de las sierras del Castellet, de la Cabrera, de los Bosques y de Tarragón. Tomando como referencia el trabajo anterior de la unidad de investigación del Departament de Geografia de la Universitat de València, ESTEPA (Estudios del Territorio, Paisaje y Patrimonio), Atlas de la Comunitat Valenciana. Geografía del Paisaje (Hermosilla Pla y Iranzo-García 2012), el área se caracteriza por

mostrar un paisaje urbano y periurbano (agrícola-urbano-industrial en llanura y glacis), aunque también muestra en su sector noroeste, un paisaje agrícola mixto de regadío y seco. Se ubica ocupando gran parte de los ámbitos paisajísticos 6 y 7, incluyendo la mayor parte de las unidades de paisaje UPCV06.35 Pla de Llíria-Villar del Arzobispo, UPCV06.36 Camp de Túria, UPCV06.37 Piedemontes de Cheste-Chiva y Vall dels Alcalans, UPCV07.38 Área Metropolitana y Horta de València, UPCV07.39 La Ribera Alta y UPCV07.40 L'Albufera de Valencia y la Marjal. Se trata de una zona que comprende la llanura litoral, la restinga litoral, el marjal, la albufera, los regadíos de huerta y arbolados, los secanos arbolados en la parte oeste del área y los núcleos urbanos e industriales.

Como elementos y ejes vertebradores del área de estudio A2 se identifican los grandes corredores, principalmente el mediterráneo viario y ferroviario (N-340, N-332, A7) en el este y los transversales viarios y ferroviarios (N-340, A3, CV35). Estos corredores se apoyan en la fisiografía del terreno, conectando los valles con la llanura litoral y los polos de actividad comercial e industrial. Además, el territorio de la llanura dispone de una red de carácter secundario, infraestructuras tanto viarias como hidráulicas (acequias), que lo estructura y articula de oeste a este, partiendo los primeros desde los núcleos de población llegando a la misma línea de costa o hasta las zonas pantanosas del marjal; y los segundos desde las acequias madre.

En cuanto a las afecciones territoriales, principalmente espacios protegidos y elementos catalogados, en el área tenemos de tipo patrimonial y de tipo ambiental. El mayor protagonismo está en el Parque Natural de la Albufera y su entorno agrícola del arrozal, pero también están el Parque Natural del Turia y las estribaciones del Parque Natural de Serra Calderona, en el límite norte.

C3. BASES TEÓRICAS Y METODOLÓGICAS

3.1. Marco conceptual

3.1.1. El concepto de paisaje

Tomando en consideración la definición que propone el Convenio Europeo del Paisaje (Consejo de Europa 2000), debemos entender que el paisaje es mucho más que una realidad material y objetiva, para considerarlo un concepto que además implica una construcción mental y subjetiva. El paisaje es algo que se construye a partir de lo percibido con los sentidos, al situarnos frente a un territorio. Es, por tanto, la interpretación de una realidad, determinada por la morfología de sus elementos físicos, ambientales y culturales, pero en la que intervienen factores estéticos (categorías como la belleza, lo sublime y lo pintoresco), simbólicos y emocionales, que tienen que ver con los estados de ánimo de quienes lo contemplan (Berque 1997; Nogué i Font 2007; Bailly 2013).

El concepto de paisaje no ha existido siempre ni todas las civilizaciones han sido paisajísticas; apareció por primera vez en la historia de la humanidad en China, en el siglo IV de nuestra era, y después en la Europa del Renacimiento. La gran mayoría de los seres humanos lo han ignorado antes de ser influidos por la cultura china o los planteamientos de la Europa de la Edad Moderna. Por supuesto, todas las sociedades tienen un territorio de referencia con una configuración espacial percibida a través de los sentidos, principalmente de la vista. Sin embargo, no todas las comunidades han construido el concepto de paisaje, ya que para esto último es necesario haber desarrollado una conciencia del lugar, un vocablo, unas manifestaciones artísticas y literarias y jardines cultivados por placer (Berque 1997). Por tanto, es poco probable que en una situación en la que no se dispone de conciencia de paisaje se produzca una reflexión sobre éste.

El pensamiento de la modernidad europea tradicionalmente ha categorizado la naturaleza en su conjunto, convirtiéndola así en objeto de estudio desde dos concepciones encontradas entre sí (Alonso-González, Fernández-Mier y Fernández-Fernández 2018). De un lado, lo que de él nos revelan nuestros sentidos junto con los conceptos estéticos, emocionales y culturales (el paisaje); de otro lado, lo que de la naturaleza nos enseña y explica la ciencia. Esta dualidad en la clasificación del pensamiento moderno, entre la realizada por las ciencias de la naturaleza y la realizada por el arte y las humanidades, se refleja aún hoy en la ambivalencia contradictoria del concepto paisaje según su entorno de discusión (Berque 1997; Antrop y Van Eetvelde 2017)

El arte paisajista, basado en valores estéticos, emocionales y culturales, alcanzó su punto álgido en el Romanticismo y entró en crisis con las vanguardias (Maderuelo 1997). Pero ahora la noción paisaje se ha ensanchado, se ha redescubierto por vías muy diferentes y con variadas acepciones. El concepto se ha extendido, pero como consecuencia, el término que lo designa ha diluido su capacidad de referirse a algo concreto y preciso; su contenido se ha dilatado de tal manera que corremos el riesgo de no saber a qué nos referimos con la palabra paisaje. Esto nos obliga a reflexionar sobre el concepto tratando de acercarnos a las relaciones que se puedan establecer entre el paisaje, el territorio y el arte.

La primera ordenación paisajística realizada a gran escala, enmarcada en el pensamiento europeo de la Ilustración, como intervención consciente y decidida sobre el territorio y el paisaje preexistente, se realiza en el castillo de Vaux (Francia) entre 1656 y 1660, por encargo de Fouquet, superintendente de las finanzas del Cardenal Mazarino. El cambio sustancial de carácter de la intervención es que “Vaux no es un objeto arquitectónico superpuesto al paisaje, sino una parte del paisaje proyectada en su unidad, dentro de un horizonte que aísla el castillo por todas sus partes, sólo más allá del cual vuelve a aparecer, sin solución de continuidad, el paisaje natural” (Benevolo 1994). A partir de esta intervención, en las realizaciones posteriores y hasta la actualidad se pretende no representar el paisaje, sino trabajar en y sobre él; la obra pertenece al lugar, del que cobra su sentido y donde adquiere toda su potencia.

Utopía y tabula rasa eran los mecanismos proyectuales durante gran parte del siglo pasado, una manera de actuar que no ha podido mantenerse como paradigma de la intervención en el territorio. A las actuales demandas de indeterminación y flexibilidad programática (adecuación a las necesidades cambiantes a lo largo del tiempo), adaptación a diferentes escenarios y necesidades presentes y futuras para cualquier intervención sobre el territorio y sus elementos constituyentes, se ha sumado la exigencia de una anhelada simbiosis ecológica entre la naturaleza y el ser humano (Fernández-Alonso 1997). Sin embargo, como contraposición a los mecanismos de proyecto contemporáneos, encontramos

en la intervención histórica sobre los marjales mediterráneos unos mecanismos de inserción en el territorio más concretos en sus planteamientos, pero sobre todo mucho más acordes con las actuales exigencias de simbiosis entre la actividad humana y la naturaleza (Mateu Bellés 2003; Giménez Font 2008).

El paisaje, entendido aquí como resultado físico y formal de la acción humana sobre la naturaleza a lo largo del tiempo, es concebido hoy como el fruto inmaduro de una colonización parcial, diseminada y fragmentaria de un territorio (Fernández-Alonso 1997). Pero no sólo la acción humana interviene modificando los paisajes. Los factores ambientales son también responsables de la variedad de los paisajes, siendo los principales la morfología, el clima, el suelo y la acción biológica (Costa Talens 2009). Todos estos factores, tanto la acción antrópica como el medio ambiente, actúan conjuntamente, aunque alguno de ellos es más potente en su intervención e incide en mayor medida sobre un paisaje concreto.

El Convenio Europeo del Paisaje (ELC, *European Landscape Convention*) asume el sentido territorial del paisaje. Incorpora una idea innovadora desde el punto de vista jurídico y político al definirlo como “cualquier parte del territorio, tal y como es percibida por las poblaciones, cuyo carácter resulta de la acción de los factores naturales y humanos y de sus relaciones” (Consejo de Europa 2000; Jones y Stenseke 2011) y, por tanto, todo territorio es paisaje. Por ello la política del paisaje ya no debe reducirse a la protección y tutela de los paisajes relevantes, sino de todos los paisajes, independientemente de su valor o el aprecio que nos merezca. En este sentido, se apuesta por la incorporación de criterios paisajísticos en los procesos de ordenación del territorio (Mata Olmo 2008). El paisaje es territorio percibido, a partir de las condiciones visuales, de las culturales o de la experiencia estética y reflexiva, por tanto, se incluye la relación de la población con el territorio y su participación en la definición futura del mismo.

Asumir las nuevas condiciones de producción del territorio significa aceptar la transformación del paisaje como proceso inherente en la definición de los espacios cotidianos. La integración del medio natural y el patrimonio cultural existente, la flexibilidad programática a lo largo del tiempo, así como la movilidad y accesibilidad sostenible deben ser objeto de la reflexión y la práctica de la intervención en el territorio. La gran potencialidad del paisaje es que sus preexistencias territoriales, presentes con anterioridad a la nueva acción humana, deben ser entendidas y utilizadas como elementos de composición mediante la afirmación de sí mismas. No como una visión genérica del medio natural, sino otorgando al lugar la posibilidad de establecer significación y ser un elemento activo también en sentido cultural y poético para la sociedad que lo habita (Bailly 2013). Se debe reivindicar el lugar como germen de las decisiones proyectuales para la intervención en el paisaje. En cada nueva

transformación del paisaje hay que considerar que todas las acciones realizadas no son sino trazas temporales sobre un paisaje antiguo, pero con una actitud que se encuentre dentro de la lógica del propio paisaje existente.

Estudio sincrónico y principalmente diacrónico del paisaje

El paisaje, como construcción mental del territorio a partir de lo percibido con los sentidos es una interpretación de una realidad, determinada por sus elementos componentes, pero también por el sustrato cultural y emocional de los observadores. Por ello, el paisaje es una construcción mental cambiante a lo largo del tiempo. El paisaje evoluciona tanto por los cambios en sus elementos constituyentes como por la cultura y las emociones de los habitantes u observadores de ese territorio. Dado que el paisaje se construye a lo largo del tiempo, se puede entender mejor analizando su evolución, desde su constitución, y siguiendo una serie de momentos temporales.

En la distinción entre los estudios sociales sincrónicos y diacrónicos, propuestos por los estructuralistas como uno de los más importantes pares de conceptos a partir de las definiciones de Saussure (Saussure 1959; Borradori 2000), la sincronía es en el sentido de disposición el principio de regularidad, mientras que la diacronía supone una fuerza dinámica a través de la cual un efecto se produce o ejecuta. Estos conceptos provenientes tanto de la lingüística como de la filosofía fueron incorporados a la Historia y la Geografía por Braudel a través del concepto de geohistoria (Orella Unzué 2010). En el concepto de geohistoria se incorpora el tiempo y el espacio a los estudios sociales, ya que la sociedad genera unos paisajes en los que incorpora las decisiones tomadas a lo largo de la historia. Estos paisajes son la acumulación de intervenciones a lo largo del tiempo en sucesión, y por ello es una variable en la transformación de las propias sociedades que los generan.

Para realizar el estudio del paisaje es necesario utilizar los métodos geográficos e históricos, estudiando la realidad espacial como un producto de las sociedades que lo habitan en cada momento temporal. Buscamos, a través del concepto de paisaje, conocer la evolución del territorio a lo largo del tiempo y por ello, en la presente investigación se incorpora el concepto de sincronía para el estudio del paisaje en cada momento de la serie histórica y el concepto de diacronía para el análisis de los paisajes y sus transformaciones a lo largo del tiempo, por tanto, es un estudio sincrónico y principalmente diacrónico del paisaje.

3.1.2. Métodos para la identificación, análisis y clasificación del paisaje

La identificación y clasificación del paisaje es fundamental para su investigación y gestión ya que genera un marco de referencia para su comunicación. Esta clasificación, que implica la combinación de aspectos de la realidad física y la percepción humana, necesita la identificación de elementos superpuestos de significados, estructuras y funciones relacionadas con la construcción del paisaje (Gómez-Zotano et al. 2018; Simensen, Halvorsen y Erikstad 2018). Debido a la variedad de objetivos e intereses, hay también una variedad de aproximaciones al estudio del paisaje. El Convenio (ELC) promueve el estudio, la protección, la gestión y la ordenación de los paisajes europeos, para lo cual es necesario identificar y caracterizar los paisajes.

Seguidamente se presentan algunos de los enfoques y métodos más extendidos para el análisis del paisaje.

Valoración del carácter del paisaje: (LCA, landscape character assessment)

La valoración del carácter del paisaje LCA es un método de identificación y caracterización de los paisajes el cual delimita unidades de paisaje homogéneas de un lugar, determinadas tanto por elementos físicos, ambientales y culturales, como por elementos percibidos, que analiza y diagnostica para la totalidad de un área de estudio. La metodología utilizada se basa en el concepto de carácter como un conjunto de elementos presentes en un paisaje que forman un patrón diferenciable y reconocible respecto a los de su entorno. Mediante el análisis sistemático de los atributos naturales y antrópicos, se obtienen áreas y tipos de carácter que permiten la tipificación del territorio (Gómez-Zotano y Riesco-Chueca 2010), las cuales son potencialmente delimitables en un mapa basándose en los criterios de su definición. Con la caracterización de tipos y áreas de paisaje y centrándose en las cuestiones de la percepción y la identidad local, el método pretende establecer objetivos para la ordenación y planificación del paisaje.

El método del LCA posee la limitación de que los criterios seleccionados para la definición de los tipos de paisaje han de tener una integración espacial con la clasificación y la delimitación de las unidades en el mapa (Wascher et al. 2005). Es un método de tipo holístico ya que todos los aspectos están relacionados entre sí y, además, el todo es mayor que la suma de sus partes. Implica una organización jerárquica de los paisajes y con la caracterización se incluye la identificación, delimitación, clasificación y descripción de un tipo de paisaje generado por la combinación de la geología, la morfología, el suelo la vegetación, el uso del suelo y la ocupación humana (Iranzo-García 2009; Vallés, Galiana y Bru 2013).

LANMAP

LANMAP es un método que considera un conjunto de criterios relacionados con el clima (C), la topografía (A), el suelo o regolita (P) y las coberturas del suelo (LC) para delinear unidades de paisaje, usando una visión eco-física (Serrano Giné 2018). A diferencia del LCA no incorpora elementos culturales, históricos o socioeconómicos, ni tampoco los valores percibidos.

Surge como un método para la caracterización del paisaje europeo que supera las debilidades e inconsistencias propias de la estructura de los elementos constituyentes y los altos niveles de generalización, derivados de la escala de trabajo y los datos de entrada (Wascher et al. 2005). LANMAP realiza una identificación y clasificación de los tipos de paisaje en varios niveles jerárquicos, buscando similitudes y consistencia en la clasificación de las unidades de paisaje. Está producido en base a conjuntos digitales de datos con una alta precisión espacial y un gran grado de flexibilidad para permitir adaptaciones y extensiones. La clasificación jerárquica se realiza en 4 niveles y 465 clases (Mücher et al. 2010).

Clasificación del paisaje ABC

ABC es un método de clasificación del paisaje a partir de sus componentes principales, asumiendo que cada tipología es resultado de una combinación de elementos abióticos, bióticos y culturales (ABC). Es un procedimiento paramétrico basado en los principales componentes, los más definitorios en la composición del paisaje. Estos se combinan dando lugar a distintos tipos de paisaje. No obstante, este método también es holístico al basarse en la dinámica de los paisajes (Bolós Capdevila 1992). Concibe el paisaje de forma espacial, ya que las unidades de paisaje se delimitan según sus componentes y son dinámicas según los cambios en sus componentes. Cada paisaje se clasifica combinando la letra inicial de su componente principal (A para abiótico, B para biótico y C para cultural) ordenados según la importancia de cada elemento para la unidad de paisaje. La importancia del elemento se refleja mediante mayúsculas (>50%), minúsculas (20-50%) y cursiva (<20%). Si existe una interdependencia entre elementos, estos se grafían en mayúsculas y entre paréntesis. Por último, se utilizan subíndices para referirse a elementos concretos predominantes (Bolós Capdevila y Bofarull Amat 2007).

El método ABC se ha renovado combinando la tipología del paisaje y una aproximación holística y paramétrica, en tres escalas de análisis (Serrano Giné 2018). Se realiza en un modo multi-nivel, en este caso en tres niveles. El nivel I, base de la clasificación que define los tipos de paisaje (1:10.000), son unidades de paisaje muy homogéneas diferenciadas entre

sí por los elementos físicos y culturales del paisaje. El nivel II actualiza los tipos e incluye indicadores visuales (1:20.000). Se generalizan las unidades de paisaje del nivel I aplicando un procedimiento cualitativo y cuantitativo, según el entorno y el significado del paisaje. En el nivel III, se obtiene el carácter del paisaje ampliando la escala (1:25.000). Las unidades quedan generalizadas mediante criterios paramétricos y tipológicos, y mediante una consideración holística para describir el carácter del paisaje (Serrano Giné 2018).

Pirámide taxonómica de paisaje (LTP, landscape taxonomic pyramid)

Basándose en el LCA, el método de la pirámide taxonómica de paisaje (LTP) (Gómez-Zotano et al. 2018), tiene en cuenta las directrices del Convenio (ELC) y al mismo tiempo, incorpora las ventajas de la automatización. Propone una clasificación de los paisajes en una estructura multi-nivel, con cinco niveles de referencia de escala (Figura 3.01).

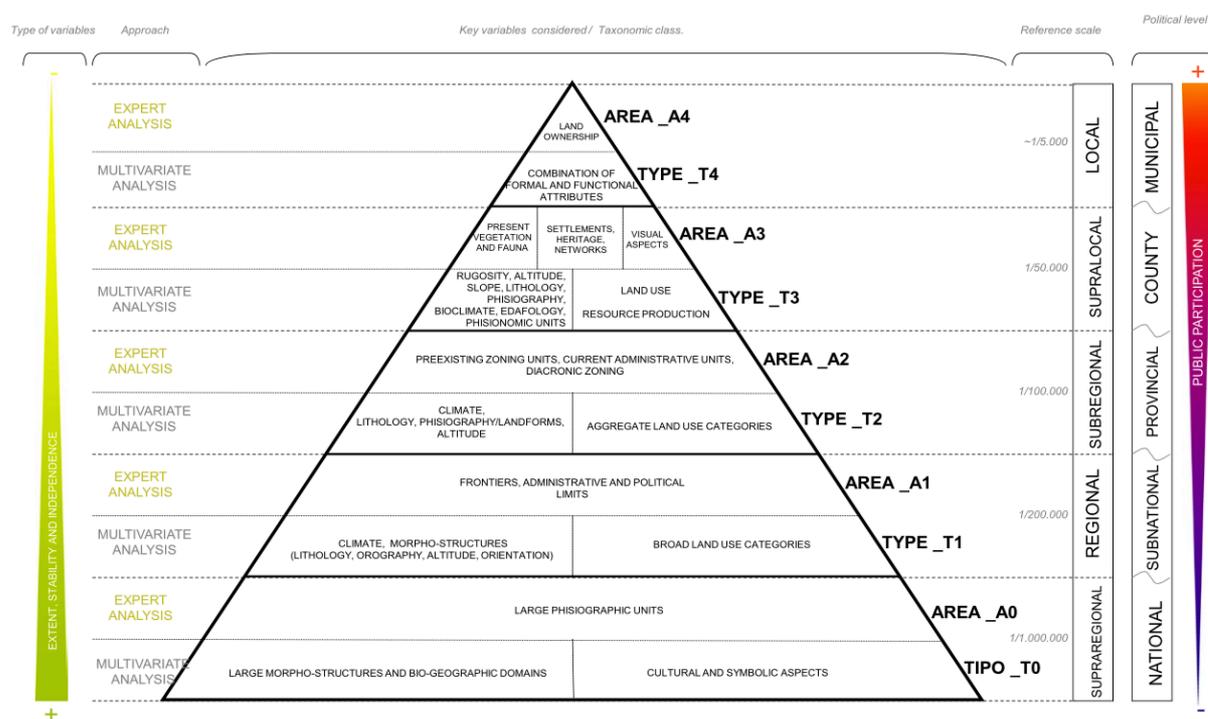


Figura 3.01. Pirámide taxonómica de paisaje. Identificación y caracterización de los tipos y áreas de paisajes según las diferentes escalas y niveles administrativos (Gómez-Zotano et al. 2018).

Mediante este método es posible incorporar diferentes niveles territoriales dentro de un sistema jerarquizado, que incluye 5 niveles: supra-regional, regional, sub-regional, supra-local y local. Estos dos últimos son los utilizados en la presente investigación con escalas de trabajo de 1:50.000 para la escala supra-local (área de estudio A2, tipo T3 y área A3) y de 1:5.000 para la escala local (área de estudio A1, tipo T4 y área A4). Distingue entre tipos y áreas de paisajes al igual que el LCA, esencial para la flexibilidad de escalas. Los tipos son una

categoría abstracta nombrada con los términos que reflejan los elementos dominantes en el paisaje. Las áreas se nombran de acuerdo con los nombres de los lugares (topónimos: orónimos o antropónimos). La identificación de los tipos y las áreas es semiautomático a través de un análisis multi-variable y uno de experto, para ajustarlo según una aproximación holística y discursiva de conocimiento del área de estudio (Gómez-Zotano et al. 2018).

3.1.3. Dinamica EGO: software para la modelización de los cambios de paisaje

Dinamica EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*) es un *software* gratuito, de libre acceso para uso personal, académico y de investigación y comercial, pero no es software libre. Es una plataforma para el desarrollo de modelos geospaciales, incluidos los modelos espaciales complejos y dinámicos. Ha sido utilizado para modelizar deforestación, pérdida de biodiversidad, urbanización, cambio climático, cuantificar emisiones de CO₂, crecimiento urbano, e incluso los procesos de inicios y propagación de los incendios. Respecto a su uso para la modelización de las políticas de usos de suelo, como elemento constitutivo del paisaje, se ha utilizado para analizar la expansión de la agricultura, estrategias de protección, impactos de las infraestructuras y cambios en los usos del suelo (Centro de Sensoriamento Remoto (CSR/UFGM) 2018). Dinamica EGO fue creado como un ensamblaje de componentes desarrollados en el lenguaje de programación C++, un conjunto de algoritmos llamados funciones (*functors*), que representan operaciones espaciales típicas en sistemas de información geográfica (SIG) y algoritmos diseñados para las simulaciones espaciales (Figura 3.02). Cada función tiene un número de elementos de entrada y produce otro número de elementos de salida, de tipo específico según las necesidades y operaciones realizadas en el algoritmo, con conectores que determinan el flujo de datos dentro de la aplicación, generalmente mediante elementos gráficos en la interfaz (Ferreira, Soares-Filho y Pereira 2019).

Diseñado pensando en la facilidad de uso, flexibilidad y rendimiento, optimiza la velocidad y los recursos del ordenador gracias a su arquitectura nativa de 64-bit y soporte multiprocesador para grandes conjuntos de datos. Incluye funciones avanzadas como iteraciones en nido, multi-transiciones, retroalimentación dinámica, enfoque multi-región, procesos de decisión para bifurcación y unión de caminos de ejecución, y una completa serie de algoritmos espaciales para el análisis y la simulación de los fenómenos espacio temporales como los de cambio en el paisaje a lo largo de una serie temporal (Rodrigues y Soares-Filho 2018). Permite el cálculo de mapas combinando datos ráster en cualquier sistema de coordenadas proyectado y en cualquier resolución espacial o extensión, haciendo que sea un

software con múltiple resolución y escala, necesarios para la modelización de los cambios en el paisaje (Ferreira, Soares-Filho y Pereira 2019).

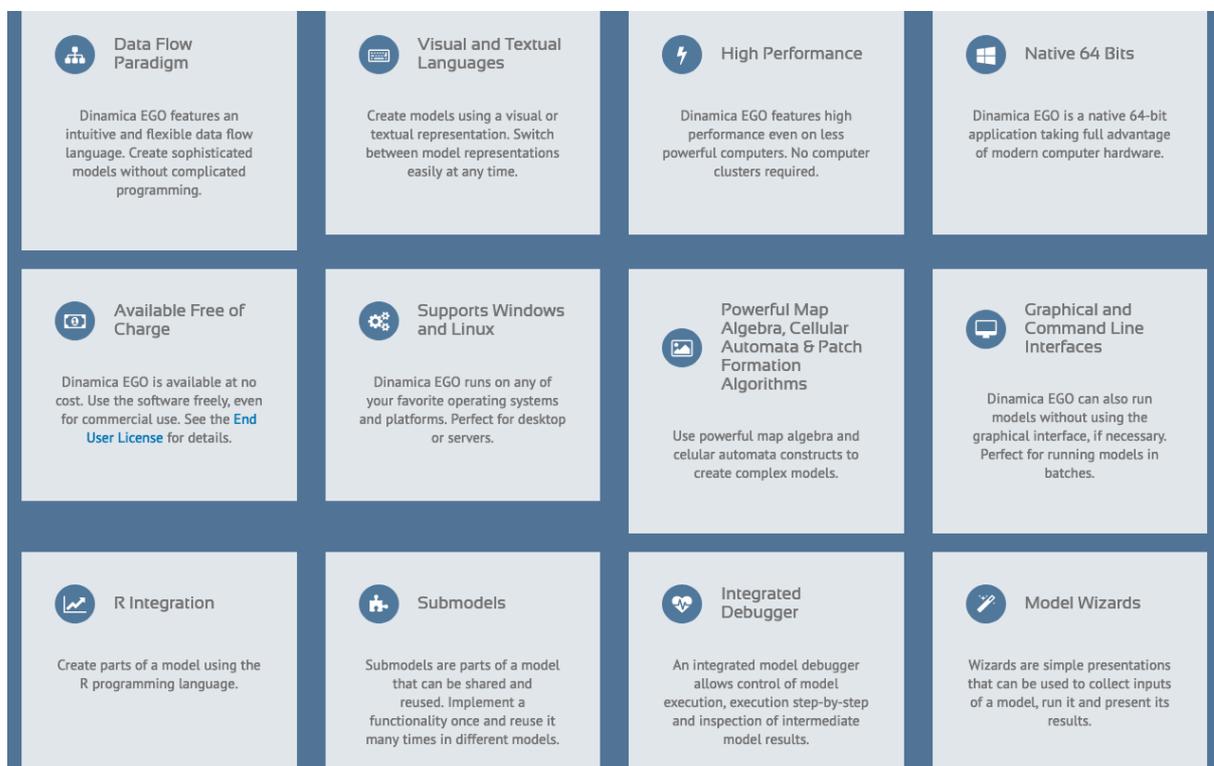


Figura 3.02. Propiedades del software Dinamica EGO (Centro de Sensoriamento Remoto (CSR/UFGM) 2018).

Los modelos realizados se archivan en EGOML, una forma de lenguaje XML (lenguaje de marcado extensible). Estos modelos emplean una combinación de álgebra de mapas, técnicas de autómatas celulares y manipulación de matrices de datos para representar los sistemas complejos socioeconómicos y ambientales. Para la simulación espacial de cambios en el paisaje dispone de un algoritmo pre-implementado de autómatas celulares de transición (CA, *Cellular Automata*), funciones de transición y métodos de calibración y validación. Con el conjunto de funciones de transición de los autómatas celulares, los motores *expander* y *patcher*, es posible definir la forma y el tamaño de los polígonos de cambio en los tipos de paisaje, según unas ratios de cambio obtenidos a través de un modelo de cadena de Markov, ya que incorporan la simulación para estructuras complejas de paisaje (Rodrigues y Soares-Filho 2018). Las múltiples transiciones se calibran empleando la ponderación de las pruebas (WOE, *Weight of Evidence*) para calcular la influencia de las variables espaciales en la ubicación de los cambios, generando un mapa de probabilidades de transición.

Junto con la calibración del modelo de cambio de los paisajes mediante los algoritmos incorporados en las funciones del *software*, también incorpora funciones para la validación del modelo. La descripción matemática detallada, tanto de los modelos como de los métodos de

calibración y validación incorporados, se encuentran en el manual (Soares-Filho et al. 2009; Soares-Filho 2015). Para finalizar el análisis se pueden utilizar las funciones de métrica de paisajes que vienen incorporadas (Rodrigues y Soares-Filho 2018).

3.1.4. Proceso estocástico y cadena de Markov

Un proceso estocástico desde el punto de vista de la teoría matemática de la probabilidad se define como una colección de variables aleatorias. En la teoría de la probabilidad, una variable aleatoria se define como una función en un espacio de descripción de la muestra (S). Un fenómeno aleatorio es el espacio de descripciones de todos los resultados posibles del fenómeno, siendo un evento un conjunto de descripciones de la muestra. En la teoría de la probabilidad aplicada, que es nuestro caso, los espacios de descripción de la muestra no se utilizan explícitamente, siendo las variables aleatorias las utilizadas (Parzen 1999).

Los procesos de cambio de uso del suelo o de cambio de los tipos de paisaje se consideran un proceso estocástico, al ser un proceso que está regido por variables aleatorias y descrito solamente en términos probabilísticos. Son procesos que se producen en una línea de tiempo continua, pero que a efectos prácticos se simplifican como un proceso de línea de tiempo discreta, los momentos discretos de la serie temporal continua (Bell 1974). Estas premisas permiten considerar que una celda de una unidad de paisaje clasificada con su tipo de paisaje determinado en un tiempo (t) puede ser clasificada en un tiempo ($t+1$) como dependiente de su clasificación en el tiempo t .

Dado que el paisaje depende de factores ambientales, socioeconómicos y culturales que varían a lo largo del tiempo, se considera que es dinámico y por tanto cambiante con el paso del tiempo. Pero, al mismo tiempo, también se espera que sea razonablemente estacionario en un periodo de tiempo corto (Bell 1974). Por estas características del proceso estocástico del cambio en los paisajes se puede utilizar la potencia analítica de las cadenas de Markov.

Las cadenas de Markov son un proceso estocástico de primer orden y discreto, con un número finito de estados, en los que la probabilidad que el sistema alcance un estado $t+1$ depende únicamente del estado t . Por ello, es posible predecir una variable conociendo únicamente su estado actual (t) y describir su próxima evolución en el tiempo ($t+1$) (Bell 1974; Paegelow y Camacho Olmedo 2008). En el procedimiento se calculan las matrices de transición, tanto la de superficies como la de probabilidades de cambio de tipo de paisaje. En la fase de inicial, de calibración del modelo, por tabulación cruzada entre los tipos de paisaje de dos mapas en los tiempos t_0 y t_1 , se obtienen las matrices de transición para proyectar los cambios estimados en la fase de simulación entre los tiempos t_1 y t_2 . Sólo así es posible

estimar convenientemente los procesos lineales basándose en la hipótesis de cambios estacionarios entre calibración y validación (Mas et al. 2013). Las matrices de transición de calibración (t_0-t_1) se obtienen por la superposición de los mapas de tipos de paisaje correspondientes a ambos tiempos. La matriz de superficies calculada se transforma en una de probabilidades de cadena de Markov, mediante la normalización de los valores para cada celda por el área total de cada tipo de paisaje en el tiempo t_0 . Además, para permitir que se puedan simular saltos de tiempo diferentes, se transforma en una matriz de probabilidad de cambio por unidad de tiempo. Este paso a cambio por unidad de tiempo se realiza mediante el uso de los vectores y los valores propios de la matriz original de probabilidad de cambio operados por las unidades de tiempo de la transición de calibración (generalmente años).

En el *software* Dinamica EGO el espacio de la cadena de Markov se reajusta para que simule de forma más realista los cambios en los tipos de paisaje. De esta forma, las matrices de transición se ajustan para adecuarse a las variables que afectan al cambio, trabajando con varias fases dinámicas para variar los ratios de transición, a partir de los originales, a través del parámetro valor de saturación (*saturation value*). Este parámetro detiene la transición de un tipo a otro de paisaje cuando las celdas de la unidad de paisaje, en el estadio inicial, llegan a un número mínimo. De esta forma tiene en cuenta la forma asintótica de la curva de difusión (Soares-Filho, Coutinho-Cerqueira y Lopes-Pennachinc 2002).

3.1.5. Autómatas celulares (CA, *cellular automata*)

Un autómata celular (CA) hace referencia a un conjunto espacial de celdas, discreto, de cualquier dimensión y con reglas sencillas de transformación. Cada una de las celdas que componen el conjunto tiene un valor dado de entre unos valores posibles finitos. Estos valores cambian a cualquier otro posible según unas reglas que lo determinan dependiendo de las celdas vecinas (Mas y Rodrigues 2018). Se utilizan para simular sistemas complejos con unidades simples (celdas) en procesos paralelos como los cambios en los usos del suelo.

El *software* Dinamica EGO, como plataforma de modelos ambientales en general y como modelo de cambio de uso del suelo en particular (LUCC, *land-use and land-cover change*) (Centro de Sensoriamento Remoto (CSR/UFGM) 2018; Soares-Filho et al. 2009), usa los CA como un sistema de filtrado por vecindad, para simular los efectos de proximidad que provocan el cambio en la forma de los polígonos, imitando la estructura de los paisajes y evitando el efecto nube de puntos (Mas y Rodrigues 2018). Dispone de dos CA, siendo el primero *expander*, el cual genera la expansión o contracción de las unidades previamente existentes teniendo en cuenta únicamente las celdas contiguas.

El segundo CA es *patcher*, el cual genera nuevas unidades de tipos de paisaje a través de un mecanismo de semillas. Para ello selecciona una unidad como semilla a partir de la cual escoge celdas del entorno entre las que disponen de la mayor probabilidad de transición. No es necesario que sean contiguas ni próximas a la unidad semilla, a diferencia que con *expandir*. Para el funcionamiento de ambos CA, es necesario que en el modelo se incorpore la estructura espacial, la distribución y la forma de los polígonos. En este sentido, hay que definir la media, varianza e isometría (ratio entre la superficie y el perímetro) de los polígonos de cambio de paisaje para cada una de las posibles transiciones obtenidas mediante la matriz de cambio por unidad de tiempo (*multi-step transition matrix*).

En el motor *patcher*, una vez seleccionada la unidad semilla y la primera formación de nuevas unidades, se seleccionan semillas vecinas a la original mediante una ventana, para realizar una nueva iteración y seleccionar las nuevas celdas que disponen de probabilidad de transición (Figura 3.03). En las distintas iteraciones, si las celdas con probabilidad de transición al nuevo tipo de paisaje se encuentran dentro de la ventana de selección, en ese caso se aumenta su probabilidad. Este proceso de iteraciones continúa hasta que se alcanza el número de celdas esperado, según una distribución normal basada en los parámetros de la transición de media, varianza e isometría de la unidad; todos ellos definidos previamente por el operador (Soares-Filho, Coutinho-Cerqueirab y Lopes-Pennachinc 2002).

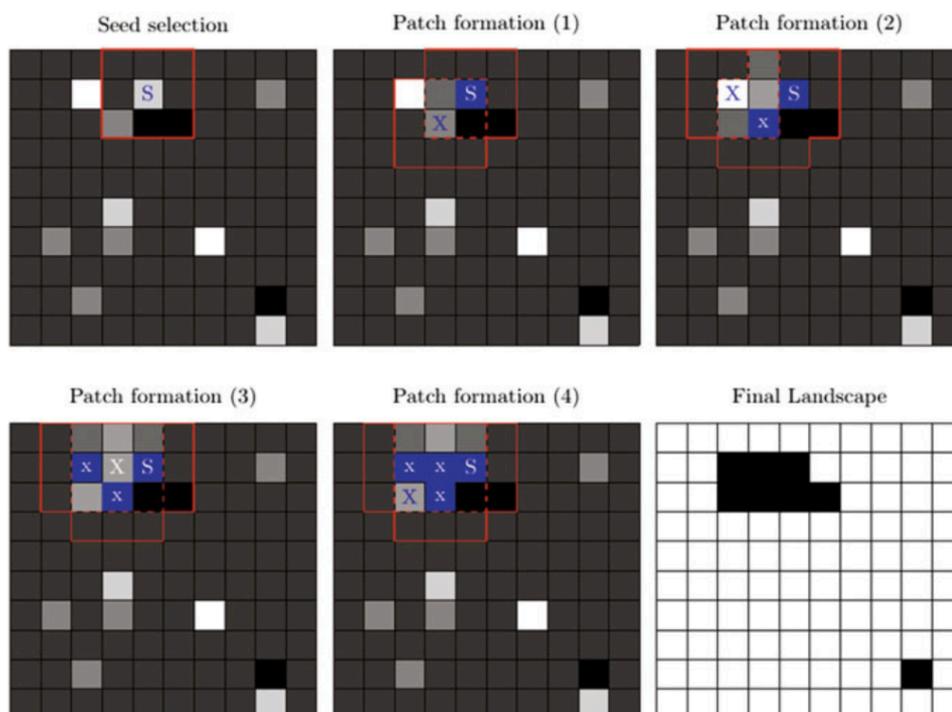


Figura 3.03. Funcionamiento de un modelo simplificado del autómata celular *patcher* en el *software* Dinamica EGO (Mas y Rodrigues 2018).

3.1.6. Capital natural y servicios ecosistémicos

El concepto de capital natural se considera que tiene su origen en la segunda mitad del siglo XX, para extenderse ampliamente durante los siguientes años. Sin embargo, es un concepto que hunde sus raíces en los primeros años del siglo XX dentro de la teoría económica. En estos primeros tiempos se define como los recursos y los servicios naturales, desde un punto de vista del economista, centrándose en los activos ambientales (Åkerman 2005). Pero a partir de finales del siglo cambia su definición hacia la economía ecológica, como el conjunto de los elementos naturales (suelo, atmósfera, biota, etc.), tanto los renovables como los no renovables, que utilizan los elementos primarios (clima, ciclos hidrológicos, etc.) para producir los servicios ecosistémicos, y los recursos naturales. Pero esta concepción generó discrepancias al considerar la posibilidad de reducir el entorno natural a un mero activo económico (Åkerman 2005; Missemmer 2018)

En el momento actual, el concepto de capital natural se puede ver desde dos perspectivas. La primera, como el conjunto inmutable de los elementos naturales que satisfacen las necesidades básicas, por tanto, es imprescindible y no se puede valorar con los métodos económicos habituales. La segunda, como el conjunto de los recursos naturales o servicios que tienen que gestionarse de forma consciente y, por tanto, se puede valorar con los métodos económicos (Missemmer 2018). Esta segunda perspectiva es la utilizada para evaluar los servicios ecosistémicos y por ello la que utilizamos en el presente trabajo.

Los servicios ecosistémicos se definen en la segunda mitad del siglo XX, con intención de evaluar los servicios y funciones, así como el valor económico de los ecosistemas (Bürgi et al. 2015). Sin embargo, el gran impulso lo logra Millennium Ecosystem Assessment de las Naciones Unidas (Millennium Ecosystem Assessment 2005) al generar una conexión real y efectiva entre los estudios científicos y la toma de decisiones. Esta conexión entre ciencia y política provoca que se tengan en consideración los servicios ecosistémicos para la calidad de vida del ser humano y por tanto de los ambientes en los cuales se asienta. De esta manera relaciona el territorio con la biodiversidad y el bien estar humano como un todo inseparable (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

Los servicios ecosistémicos, considerando tanto los bienes como los servicios, “representan los beneficios que los seres humanos obtienen, directa o indirectamente, de las funciones del ecosistema” (Costanza et al. 1997), es decir, del capital natural. Por ello, es importante la consideración de cómo afecta el cambio en la cantidad o calidad del capital natural y de los servicios ecosistémicos en el bienestar de la humanidad. En todo caso,

nuestra actitud hacia el capital natural y los servicios ecosistémicos está generalmente determinada por la manera en la que lo valoramos e incluso le ponemos precio (Gollier 2019).

Los servicios ecosistémicos como “los beneficios que obtienen las personas de los ecosistemas” (Costanza 2008; Millennium Ecosystem Assessment 2005), tanto los que se perciben directamente como los que no, se clasifican en servicios de abastecimiento (alimentos, fibras, recursos genéticos, bioquímicos y aguas), servicios de regulación (aire, clima, agua, erosión, enfermedades y plagas, polinización y peligros naturales), servicios de apoyo (ciclo de nutrientes, formación de suelos, fotosíntesis, etc.) y por último, servicios culturales (valores espirituales, estéticos y recreacionales) (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

3.2. Metodología y materiales

El procedimiento metodológico seguido en nuestro trabajo se fundamenta en el estudio diacrónico del paisaje cultural, generado por la conjunción de procesos ecológicos y antrópicos en distintos momentos históricos del siglo XX. El factor limitante de este método diacrónico es la disponibilidad para cada momento de la serie temporal de documentación en forma de cartografía, fotografía aérea y oblicua, ortoimágenes e imágenes satelitales, entre otras, y a la falta de homogeneidad de la misma a lo largo del tiempo (Ode, Tveit y Fry 2010). Los materiales disponibles recopilados se procesan mediante sistemas de información geográfica (SIG) y un modelado geoespacial de cambio de paisaje del tipo LUCC. Sin embargo, a diferencia de lo que ha venido realizándose en estudios sobre la evolución de los usos del suelo (Basse et al. 2014; Camacho Olmedo et al. 2015; Kumar et al. 2018; Mas et al. 2017; Meneses et al. 2017; Mirkatouli, Hosseini y Neshat 2015; Pindozi et al. 2016; Roy, Fox y Emsellem 2015; Serra, Pons y Saurí 2008), en este trabajo el modelado geoespacial desarrollado utiliza como información de base los tipos de paisaje identificados y su delimitación cartografiada en unidades de paisaje, en lugar de los usos o coberturas del suelo.

Los tipos de paisajes caracterizados en distintas fechas son la base para marcar y seleccionar los diferentes estadios de análisis dentro de la serie temporal. Con estos criterios y los estadios de análisis seleccionados se pretende obtener la dinámica de las diferentes tipologías paisajísticas a lo largo del tiempo y del espacio. Así pues, nuestra investigación permite explicar la situación en el momento actual de los paisajes presentes en el área de estudio y su relación con las dinámicas de transición temporal establecidas entre ellos. Además, el estudio de la evolución de los paisajes nos permitirá mejorar la toma de decisiones

en los ejercicios de planificación territorial y urbanística (Palang, Spek y Stenseke 2011; Plieninger et al. 2015).

3.2.1. Materiales y fuentes de información

Entorno de trabajo, incorporación de datos y análisis con SIG

Se ha efectuado una búsqueda de documentación general que abarca textos y artículos científicos que definen el estado de la cuestión; y de información específica constituida por libros y capítulos de libro, artículos científicos, cartografía, fotografía aérea y oblicua, así como estadísticas de población y edificación. También se ha llevado a cabo la revisión de documentación, según disponibilidad, de las áreas de estudio en distintas etapas históricas. Se ha tratado de identificar información, datos estadísticos y fuentes gráficas de distintos momentos temporales, con la que poder construir (cuantitativa y cualitativamente) la evolución y el cambio del paisaje a lo largo del tiempo. En una fase posterior, con la documentación clasificada y analizada, se han efectuado correlaciones entre los datos obtenidos de la documentación recopilada y la situación territorial en el momento actual, que se han verificado mediante recorridos in situ planificados y apoyados con los datos y apuntes obtenidos de la documentación.

Se parte de un enfoque de paisaje holístico para abordar un estudio integrado de los elementos que estructuran el paisaje, tratando de evitar visiones parciales disciplinares. Se han obtenido y organizado los datos necesarios del modo más oportuno para poder abordar el procedimiento interpretativo, que nos conduce desde los datos biofísicos (morfología, litología, formaciones vegetales y coberturas del suelo) ordenados y categorizados según se explicita en el punto siguiente, a patrones de paisaje primero, como elementos configuradores del paisaje y, después, mediante la incorporación de la cartografía y fotografía histórica y ortofotografía, a tipos de paisaje. Se prepara la información para poder realizar fotointerpretación de los diferentes estadios y obtener una serie temporal uniforme que permita analizar la geohistoria del paisaje (Antrop 2005; Orella Unzué 2010). Estos tipos de paisaje son cartografiados y delimitados en unidades de paisaje para cada uno de los momentos temporales seleccionados, caracterizadas por su tipo de paisaje.

Identificación y delimitación de paisajes en espacios litorales

La unidad territorial mínima de trabajo utilizada para la identificación y delimitación paisajística de las áreas de estudio y en la que se fundamenta todo el procedimiento metodológico seguido en nuestra investigación, se basa en el concepto de unidad territorial

(*land unit*). Se trata de un sector de territorio continuo y homogéneo (Zonneveld 1989; Velázquez y Bocco 2001) que se corresponde con un patrón paisajístico. A partir de ella hemos analizado la evolución del paisaje en los espacios litorales (1910-2015) de dos áreas de estudio. Las fuentes de información y datos utilizados para organizar el modelo han sido:

- Coberturas del suelo: cartografía e información de clases de cobertura de suelos. Datos digitales en formato vectorial, resolución de polígono de 25 ha, escala de referencia 1:100.000 y una nomenclatura de 44 clases en 3 niveles. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30. Obtenida de Copernicus, Land Monitoring Services (Copernicus 2017).
- Unidades morfológicas del terreno: obtenidas del tratamiento de modelos digitales de elevaciones, que nos ofrece una cartografía de alturas, pendientes, orientaciones. Datos digitales en formato ráster, tamaño de píxel de 25 m y de 5 m. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30. Información adquirida del Centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) del Instituto Geográfico Nacional (IGN) (Instituto Geográfico Nacional 2018) y de Infraestructura de Dades Espacials (IDE) del Institut Cartogràfic Valencià (ICV) (Institut Cartogràfic Valencià 2018).
- Litología: cartografía e información geológica y litológica. Datos digitales y analógicos digitalizados en formato vectorial, escala de referencia 1:1.000.000 para los analógicos y 1:50.000 para los digitales. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30. Obtenida del Catálogo de Información Geocientífica (Instituto Geológico y Minero de España 2017) y de la IDE del ICV (Institut Cartogràfic Valencià 2018).
- Formaciones vegetales: (1) cobertura vegetación (natural y agrícola). Datos digitales en formato vectorial, resolución de polígono de 25 ha, escala de referencia 1:100.000 y una nomenclatura de 44 clases en 3 niveles. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30. Obtenidas del Land Monitoring Service (Copernicus 2017); (2) pisos bioclimáticos del área valenciana (Costa Talens 1982; 2009); y biogeografía (Rivas-Martínez et al. 2014). Datos analógicos digitalizados en formato ráster, escala de referencia 1:100.000. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30.
- Cartografía histórica: minutas planimétricas del área de estudio, realizadas en torno al año 1910 y de su posterior revisión sobre 1940. Dichas minutas planimétricas fueron realizadas con el propósito de ser la base sobre la que después se confeccionaría el

mapa topográfico nacional (MTN). Datos analógicos digitalizados en formato ráster, escala de referencia 1:25.000. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30. Obtenidas del Centro de descargas del CNIG del IGN (Instituto Geográfico Nacional 2018).

- Fotografía aérea: fotogramas de los vuelos de 1945, 1956 y 1977. Datos analógicos digitalizados en formato ráster, escala de referencia 1:45.000 para 1945, 1:33.000 para 1956 y 1:18.000 para 1977. Profundidad de color: 8 bits. (256 niveles de gris). Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30. Obtenidas del CNIG del IGN (Instituto Geográfico Nacional 2018) y de la IDE del ICV (Institut Cartogràfic Valencià 2018).
- Ortofotografía: los fotogramas ortorectificados del vuelo de 1997 y las ortofotografías del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) de los años 2012 y 2015. Datos digitales en formato ráster, con tamaño de píxel 0,50 m para 1997 y 0,22 m para 2012 y 2015. Profundidad de color: 8 bits. (256 niveles de gris) para 1997 y 24 bits (16M colores) para 2012 y 2015. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30. Obtenidas del CNIG del IGN (Instituto Geográfico Nacional 2018).
- Archivo José Prades García (AJP), Castellón de la Plana: fotografía aérea y oblicua histórica, así como textos históricos que aportan datos sobre la evolución del territorio y la forma de ocuparlo de la población. Datos analógicos de los que se digitalizaron las fotografías aéreas y oblicuas en formato ráster, diversas resoluciones y profundidad de color según la fuente original.

Tras la recopilación de la información, se realiza la parametrización y sistematización a los patrones de paisaje (componentes básicos del paisaje), compilados en todos los estadios temporales. Una vez analizados y parametrizados los patrones obtenemos los tipos de paisaje (componentes completos del paisaje) y con la incorporación de los datos de partida se obtienen las unidades de territorio, unidades de paisaje caracterizadas por su tipo de paisaje para cada momento de la serie temporal.

Modelización de los procesos de cambio en espacios litorales

Los datos que se utilizan para la calibración del modelo de transformación del paisaje en espacios litorales (1910-2050) proceden de las principales variables espaciales que influyen en el cambio. Son todas ellas variables con una componente esencialmente espacial en su

distribución, ya que es requisito esencial que abarquen la totalidad de las áreas de estudio y tengan valores diferentes en su distribución para poderlas utilizar en el modelo. Estas son:

- Formas del terreno: cartografía e información de altitudes, pendientes, orientaciones (Instituto Geográfico Nacional 2018; Institut Cartogràfic Valencià 2018).
- Litología: cartografía e información geológica y litológica. (Instituto Geológico y Minero de España 2017; Institut Cartogràfic Valencià 2018).
- Planeamiento: cartografía e información de la clasificación y calificación urbanística municipal. Datos digitales en formato vectorial, escala de referencia 1:5.000 y una nomenclatura de 80 clases en 2 niveles. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30 Obtenidas de la IDE del ICV (Institut Cartogràfic Valencià 2018).
- Infraestructura verde de la Comunidad Valenciana: porción del territorio valenciano sometido a figuras legales de protección ambiental, forestal agrícola, de riesgos, etc., que forma una red de espacios libres de edificación de alta densidad, protegidos a escala regional. Datos digitales en formato vectorial, escala de referencia 1:5.000 y una nomenclatura de 50 clases en 20 niveles. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30 Obtenidas de la IDE del ICV (Institut Cartogràfic Valencià 2018).
- Redes de hidrología: red de cauces tanto principales como secundarios. Datos digitales en formato vectorial, escala de referencia 1:10.000. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30 Obtenidas de la IDE del ICV (Institut Cartogràfic Valencià 2018).
- Infraestructuras de comunicaciones: redes de comunicaciones viarias y ferroviarias principales, secundarias y locales. Datos digitales en formato vectorial, escala de referencia 1:10.000. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30 Obtenidas la IDE del ICV (Institut Cartogràfic Valencià 2018) y del análisis de la evolución histórica (1900-2013) (Cámara Boluda y Bau Izquierdo 2014).
- Infraestructura de riego: redes de riego agrícola, tanto históricas como actuales. Datos digitales en formato vectorial, escala de referencia 1:10.000. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30 Obtenidas del Grupo de investigación ESTEPA (Estudios del Territorio, Paisaje y Patrimonio) de la Universitat de València (ESTEPA 2017) y de la IDE ICV (Institut Cartogràfic Valencià 2018)

- Riesgos medioambientales: cartografía e información de riesgos de erosión y de inundación. Datos digitales en formato vectorial, escala de referencia 1:10.000 y una nomenclatura de 16 clases en 3 niveles. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30. Obtenidas de la IDE del ICV (Institut Cartogràfic Valencià 2018)
- Estructuras antrópicas y datos socioeconómicos: cartografía según la secciones censales y datos estadísticos con propiedades geográficas de población, asentamientos, construcciones y tipología. Datos digitales en formato vectorial, escala de referencia 1:10.000 y una nomenclatura variable según la característica de cada uno de los datos relativos a población o construcciones. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30. Obtenidas del Instituto Nacional de Estadística (INE) del sistema de información digital INE base (Instituto Nacional de Estadística 2018).

Evaluación de los servicios ecosistémicos de los paisajes

Los datos que se utilizan para la evaluación de los servicios ecosistémicos de los paisajes respecto al suelo en el que se asientan (Bürgi et al. 2015), en concreto la capacidad de uso y de retención de agua embebida del suelo según las unidades de paisaje y su atributo de tipo en espacios litorales (1910-2050), son:

- Capacidad de uso del suelo: cartografía e información y clasificación de la capacidad de uso agronómico del suelo (Antolín Tomás 1998). Datos digitales en formato vectorial, escala de referencia 1:100.000 y una nomenclatura de 5 clases en 1 nivel. Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30 Obtenidas de la IDE del ICV (Institut Cartogràfic Valencià 2018)
- Capacidad de retención de agua: cartografía e información de los suelos, clasificación según la Base de Referencia Mundial de suelos (WRB-*World Reference Base*) (IUSS Working Group WRB 2015). Datos de las unidades taxonómica de suelos, característica macromorfológicas, físicas y químicas; entre ellas la capacidad de retención de agua (%). Datos analógicos digitalizados en formato ráster, escala de referencia 1:100.000. Obtenida la información analógica del Plan nacional coordinado sobre investigaciones sobre agrios (C.E.B.A.S 1975; Hernando Fernández et al. 1971). Datos digitales en formato vectorial, escala de referencia 1:100.000 y una nomenclatura variable según los suelos dominantes. Sistema de referencia geodésico ED50 y sistema de proyección UTM H30. la información analógica del Proyecto

LUCDEME (Rubio Delgado, Sánchez Díaz y Forteza Bonnín 1996) y la digitalización de Pascual Aguilar (Pascual Aguilar 2002).

- Sellado del suelo: cartografía e información sobre el sellado del suelo. Datos digitales en formato ráster, tamaño de píxel de 25 m y una nomenclatura con el grado de impermeabilización de cada píxel de 0 a 100 % (Langanke 2016). Sistema de referencia geodésico ETRS89 y sistema de proyección UTM H30. Obtenidas del Land Monitoring Service, capas de alta resolución (HRL-*High Resolution Layer*) (Copernicus 2017).

3.2.2. Procedimiento para la identificación y delimitación de paisajes

La aproximación al paisaje realizada considera la cobertura del suelo, la topografía, la litología y las formaciones vegetales como la información base para determinar las unidades de territorio, siguiendo los planteamientos ya establecidos (Gómez-Zotano et al. 2018; Lundberg 2018), en nuestro caso aplicados a la escala local (1:5.000, tipo T4 y área A4) y la supralocal (1:50.000, tipo T3 y área A3), de acuerdo con los criterios del método de la LTP (Gómez-Zotano et al. 2018). De esta forma, partiendo de la nomenclatura de las coberturas del suelo y a través del concepto de patrón de paisaje (Tsendbazar, de Bruin y Herold 2017), entendido como la reclasificación de los usos según el espacio geográfico considerado, se procede a obtener los tipos de paisajes, entendidos como zonas con una estructura paisajística homogénea y diferente a las adyacentes, con el resto de información base utilizada para la identificación de los paisajes (Antrop y Van Eetvelde 2017; Lang et al. 2008; Simensen, Halvorsen y Erikstad 2018; Wascher et al. 2005).

Con los tipos de paisaje definidos para la escala de trabajo y el ámbito geográfico de los espacios litorales del Mediterráneo Occidental, avanzamos en la identificación y delimitación de los paisajes mediante la incorporación de información cartográfica y fotografías históricas, para obtener las diferentes unidades de paisaje de cada periodo de la serie temporal fijada para la investigación. Esta delimitación de las unidades de paisaje caracterizadas por su tipo de paisaje para cada momento histórico elegido sirve de base para realizar la verificación de los paisajes actuales mediante trabajo de campo.

Mediante el concepto de unidad territorial mínima (*land unit*) se delimitan las distintas unidades homogéneas de paisaje. Estas unidades de paisaje son susceptibles de compararse en cada momento temporal de la serie, obteniendo de esta forma modelos y ratios de cambio, correspondientes a cada uno de los tipos de paisaje (Antrop 2000; Simensen, Halvorsen y Erikstad 2018).

El estudio diacrónico que efectuamos del paisaje cultural del área de estudio utiliza la cartografía de coberturas del suelo Corine Land Cover para el año 2012, como base para la identificación de los patrones de paisaje (Carvalho-Ribeiro et al. 2013). Adjuntando el modelo fisiográfico (unidades morfoestructurales) previamente calculado (Aguilo Alonso et al. 1992; López Martínez, Pérez Morales y Gil Guirado 2016), el litológico y el de formaciones vegetales (Costa Talens 1999; Rivas-Martínez et al. 2014) se obtienen los tipos de paisaje. Con toda esta información debidamente procesada y tabulada, se definen y clasifican los distintos tipos de paisajes por sus atributos, representados en los seis momentos temporales de la serie histórica. Con los tipos de paisaje obtenidos y mediante la fotointerpretación de las ortofotografías (2015 y 1997), las fotografías aéreas (1977 y 1956) y las cartografías históricas (minutas planimétricas para los años 1940 y 1910), procedemos a incorporar la información histórica (textos y fotografía oblicua) para poder delimitar en la cartografía las unidades de paisaje pertenecientes a cada tipo de paisaje (Zonneveld 1989; Velázquez y Bocco 2001). Además, para el momento actual se refuerza y comprueba la delimitación de las unidades de paisaje y la asignación de su atributo de tipo de paisaje mediante trabajo de campo (Figura3.04).

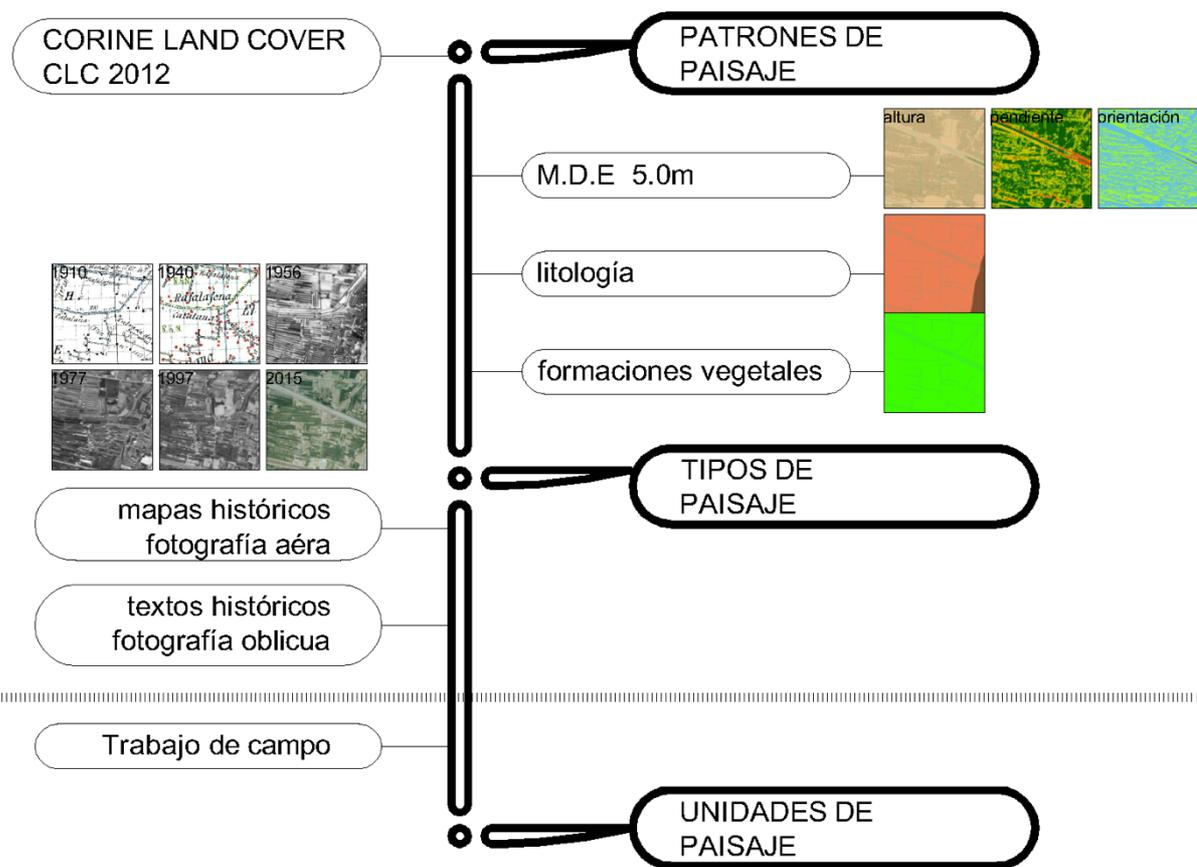


Figura 3.04. Esquema global de la metodología de identificación de paisajes en espacios litorales.

Producción y manipulación de la información base: patrones y tipos de paisaje

Para realizar la identificación de paisajes en espacios litorales se parte de la información del modelo digital del terreno (MDT) con una definición de píxel de 25 m para la escala supralocal (T3) y de 5 m para la escala local (T4) con el que se realiza el cálculo y la parametrización de las alturas, pendientes y orientaciones (López Martínez, Pérez Morales y Gil Guirado 2016) (Tabla 3.01). Todas las parametrizaciones se han ajustado respecto a las referencias habituales de clasificación, debido a la necesidad de adecuación a las externalidades del área litoral valenciana (Sanjaume, 1985), y de esta forma incorporar adecuadamente la morfología de los terrenos de las antiguas albuferas aterradas (marjales).

Tabla 3.01. Parametrización según el modelo digital del terreno.

morfología	parametrización
alturas	<1 m, 2 m, 10 m, 20 m, 50 m, 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, >500 m
pendientes	<1 %, 3 %, 6 %, 10 %, 20 %, >20 %
orientaciones	umbría, solana

Para la modelización de la estructura del paisaje, además de la morfología del terreno, también hemos tenido en cuenta la red hidrográfica (ríos, ramblas y red de riego) (Obiol y Soriano, 2009), así como la red viaria estructurante (grandes infraestructuras, carreteras, viales urbanos y caminos rurales históricos). Esta red de infraestructuras, al mismo tiempo que pautan y organizan el territorio, también lo modifican morfológicamente al introducir cambios sustanciales en el terreno, pues se puede alterar alturas y pendientes. Además, las grandes infraestructuras viarias, carreteras y ferrocarriles, son fundamentales para el estudio de la evolución de los paisajes culturales por su capacidad de fragmentar el territorio y el paisaje.

En cuanto a la litología, se categoriza en función de sus propiedades para el sustento de los tipos de los paisajes. Esta categorización la relaciona con las condiciones adecuadas para mantener una vegetación clímax dentro del piso bioclimático en el que se encuentran las áreas litorales valencianas: región mediterránea, subregión mediterránea occidental, provincia Valenciano-Provenzal-Balear, subprovincia valenciana, sector Valenciano-Tarraconense, distrito Sierra de Espadán y Castellonense y piso termomediterráneo seco (Costa Talens 1982; 1999; Rivas-Martínez et al. 2014).

En lo que respecta a los parámetros de la actividad humana, se categorizan según la densidad de población y la densidad de edificaciones por secciones censales (Instituto Nacional de Estadística 2018). También se tiene en consideración la red de infraestructuras de transporte (grandes infraestructuras, carreteras, vías urbanas y vías rurales e históricas)

que organiza el territorio, especialmente las grandes infraestructuras viarias y ferroviarias pues como decíamos arriba fragmentan el territorio y el paisaje, generando ámbitos desconectados o con muy pocas conexiones.

Una vez recopilada la información base necesaria, se definen los patrones de paisaje en un proceso que combina la cobertura del suelo, las morfoestructuras del relieve, la litología y las formaciones vegetales. Con los patrones definidos, se obtienen los tipos de paisaje apoyándonos en la información de la cartografía histórica, en la fotografía aérea y oblicua, así como en los textos que describen el territorio en cada momento de la serie temporal. Una vez los patrones y los tipos de paisaje se han identificado y definido, se procede a delimitar las unidades de paisaje.

Para realizar la identificación de los tipos y la delimitación las unidades de paisaje es preciso homogeneizar tanto la cartografía histórica como la fotografía aérea. Esta homogenización se inicia procesando la información originaria mediante un ajuste digital tanto para la fotografía aérea (1956 y 1977) como para las cartografías históricas (minutas planimétricas de 1910 y 1940). Mediante el *software* Photoshop CS4 de Adobe, se ajusta la alineación los fotogramas con las herramientas rejilla y rotación arbitraria. Los fotogramas que no disponen de información de color se convierten a 1 banda, *grayscale*.

Todos los fotogramas se han ajustado de tono y contraste (*autotone* y *autocontrast*) para mejorar la calidad visual del escaneado del material analógico, generalmente desde originales positivados. Después hemos procedido a recortar los marcos y la información del vuelo y pasada, para dejar únicamente la imagen aérea o la definición cartográfica y los puntos de referencia, realizado mediante las herramientas *crop* y *canvas size*. Para llevar a cabo la composición se seleccionan sólo los fotogramas alternos de las fotografías áreas (1977 y 1956), en concreto las series impares desde la 03 a la 13 de cada pasada y la totalidad de las planimetrías para la cartografía histórica (1940 y 1910), cubriendo toda el área de estudio 1, en nuestro caso tanto las correspondientes a la Hoja 616 como a la 641 de MTN50 del Instituto Geográfico Nacional.

Previamente a realizar la georreferenciación, se analizan las cartografías históricas (minutas planimétricas de 1940 y 1910) con el *software* MapAnalyst 1.3 para evaluar su proyección y precisión, comparadas con una cartografía actual correctamente procesada (Jenny y Hurni 2011). Para ello se usan de 25 a 30 puntos por fotograma, uniformemente distribuidos, con sus correspondencias en la ortofoto actual, y se rectifican según la función más adecuada (Figura 3.05). En el territorio de la franja litoral resultó ser, en el caso de la fotografía aérea, la función *projectiv transformation*, y en el de las planimetrías de la

cartografía histórica, la función *affine*, polinomio de primer orden. Excepción hecha del vuelo de 1997, que está ortorrectificada en una única imagen continua; y la actual 2012/15 producida completamente en digital como ortofoto.

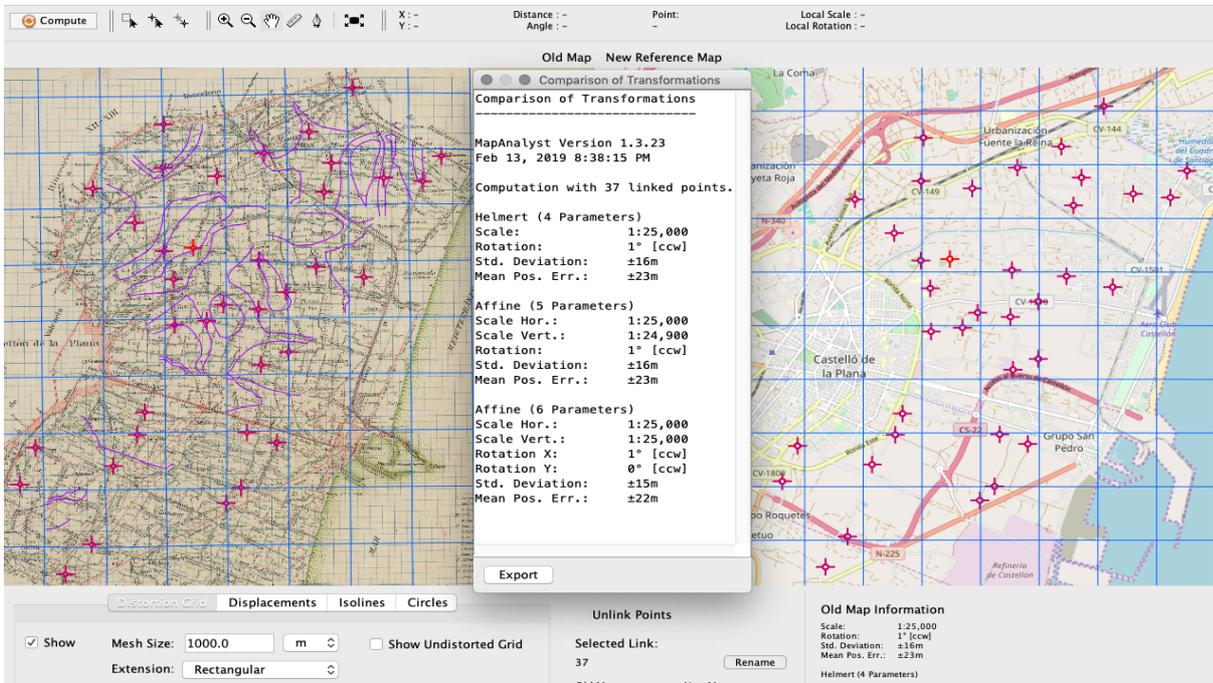


Figura 3.05. Análisis de la proyección y precisión de la cartografía histórica con el *software* MapAnalyst. Representada la hoja 1940A de Castelló de la Plana.

Una vez procesadas las imágenes y evaluada su proyección y precisión, hemos procedido a georreferenciarlas (Chias y Abad 2009) mediante el *software* ArcGIS 10.3 de ESRI, en el sistema de coordenadas proyectadas ETRS1989, UTM zona 30N. Todo ello realizado según la función adecuada de acuerdo con el tipo de información que se utiliza (Figura 3.06 y 3.07)

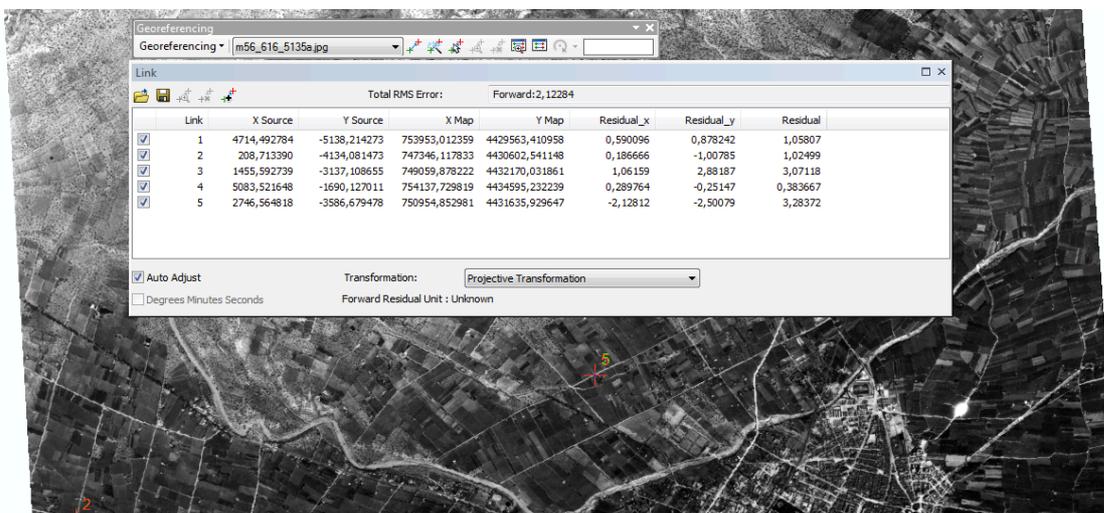


Figura 3.06. Características de la georreferenciación de los vuelos 1945, 1956 y 1977. Representada la hoja 616 fotograma 5135 del vuelo de 1956, con sus 5 puntos y la transformación realizada (*projectiv transformation*).

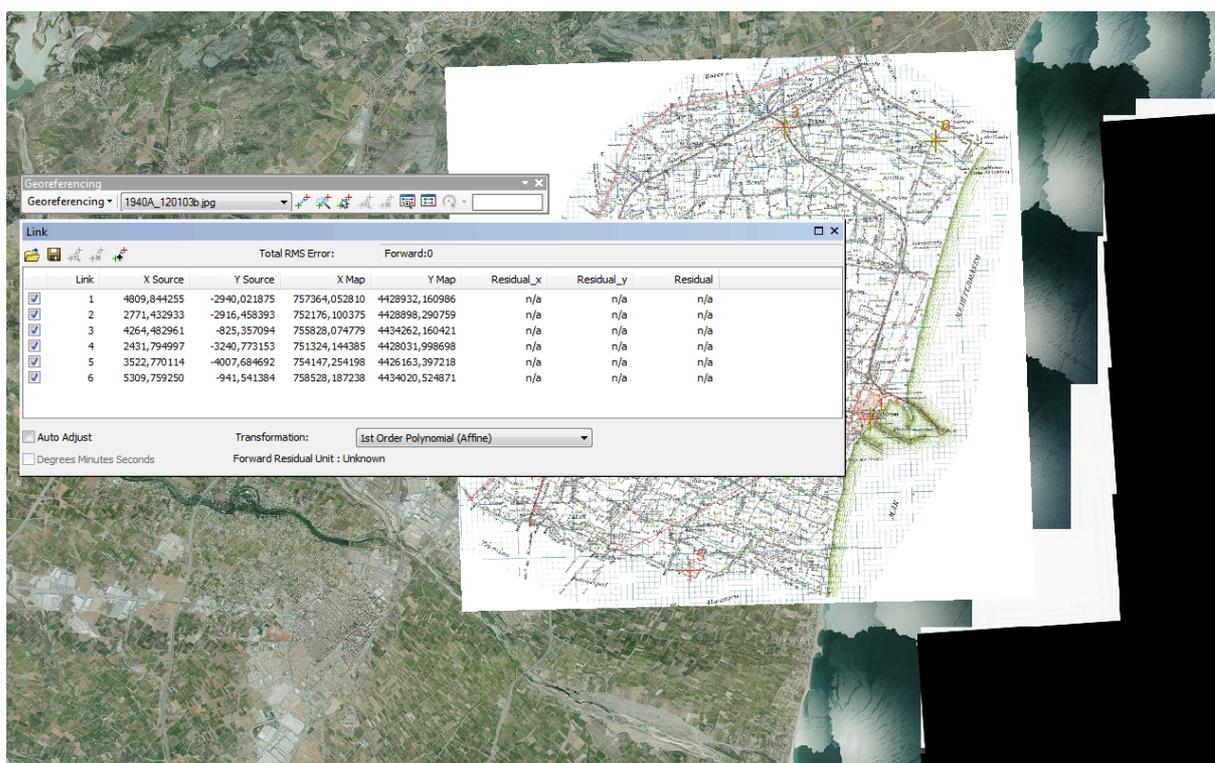


Figura 3.07. Características de la georreferenciación de las minutas planimétricas de 1910 y 1940. Representada la hoja 1940A de Castelló de la plana, con sus 6 puntos y la transformación realizada (*affine*, polinomio de primer orden).

Generación de unidades (land unit): unidades de paisaje

Los límites de las unidades de paisaje se delimitan siguiendo una secuencia retrospectiva para cada momento de la serie temporal, partiendo del más reciente y retrocediendo en el tiempo hasta el más antiguo. Utilizando el *software* ArcGIS se cartografía cada unidad de acuerdo con la sistematización realizada previamente (patrones y tipos de paisaje). Toda la información se genera en un único fichero vectorial, que incluye todos los momentos de la serie temporal. Junto con la cartografía se añaden los campos de datos que identifican a la unidad y su tipo de paisaje en la tabla de atributos. Seguidamente presentamos los distintos campos generados en la tabla:

- Generación de un campo de nombre único de polígono, para identificarlo unívocamente. Número de polígono inicial, añadiendo una serie de letras para cada tipo de paisaje diferente por cada momento de la serie temporal. Tipo de campo texto de 10 caracteres.
- Generación de campo de tipo de paisaje para cada uno de los momentos tabulados de la serie temporal (2015, 1997, 1977, 1956, 1940 y 1910) para el área de estudio A1

y (2012, 2000 y 1990) para el área de estudio A2. Permitirá calcular las matrices de cambio entre dos momentos temporales. Tipo de campo numérico entero corto.

- Generación de los campos de superficie (área) y longitud (perímetro) del polígono. Necesarios para realizar cálculos estadísticos de los tipos de paisaje y sus cambios a lo largo del tiempo, y de esta forma poder obtener las estadísticas asociadas a la dinámica del paisaje. Tipo de campo numérico de coma flotante de precisión doble, siendo las unidades metro cuadrado para las áreas y metro para el perímetro.

En cada momento temporal, se revisa y subdivide, si es necesario, cada uno de los polígonos. Se les asigna el tipo de paisaje que tiene en ese momento histórico y se denomina mediante un código alfanumérico que los diferencia de los demás, pero lo mantiene relacionado desde su momento inicial hasta el final de la serie temporal (Tabla 3.02).

Una vez que las unidades de paisaje se han delimitado para cada momento de la serie temporal, se realiza un análisis de su variación a lo largo del tiempo. Primero se realiza un análisis de variabilidad, entre dos momentos temporales contiguos a partir del fichero vectorial generado usando ArcGIS, para obtener la ratio de cambio entre dos periodos. Al mismo tiempo, aprovechando los cálculos realizados, obtenemos la ratio de cambio y el número de veces que la unidad de paisaje cambia el tipo de paisaje, a lo largo de la serie temporal (Jaeger 2000; Amici et al. 2017).

Tabla 3.02. Estructura y extracto de la tabla de datos del fichero vectorial de unidades de paisaje. Área de estudio A1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	code_12,C,3	ID,C,18	IDPOL,C,15	2015,N,5,0	1997,N,5,0	1977,N,5,0	1956,N,5,0	1940,N,5,0	1910,N,5,0	Shape_Leng,N,19,11	Shape_Area,N,19,11
2	111	EU-138391	001aaaaa	11	11	11	11	11	11	3649.18411209	440583.568205
3	112	EU-138402	002baaaa	12	12	12	12	12	12	700.117727549	23098.1478581
4	112	EU-138406	003aaaaa	12	12	12	12	12	12	2507.74271515	238011.411324
5	112	EU-138410	004aaaaa	12	22	22	22	22	22	1699.42192045	91345.3829962
6	112	EU-138411	005aaaaa	12	25	22	22	22	26	1596.50551608	54662.3286145
7	112	EU-138414	006aacia	12	12	12	26	26	26	1021.94720061	43589.0157699
8	112	EU-138416	007aadaa	12	12	25	26	26	26	4025.01523351	145113.104091
9	112	EU-138417	008aaaaa	12	12	25	26	26	26	2186.28850349	239426.822663
10	112	EU-138420	009aaaaa	12	12	12	26	26	26	2575.79597909	165703.330558
11	112	EU-138422	010aadaa	12	12	25	26	26	26	1353.19457923	87723.4243355
12	121	EU-138471	011aakcb	13	13	25	25	25	26	4257.29547558	483431.961658
13	121	EU-138473	012aadaa	13	13	22	22	22	26	1276.54005151	79698.7619814
14	121	EU-138476	013zzaaa	16	16	22	22	26	26	1597.68683418	50264.6576569
15	121	EU-138477	014aaaaa	13	13	22	22	22	26	1131.37524581	72074.2557201
16	121	EU-138478	015aaaba	13	13	13	26	26	26	1112.24144063	56582.7510255
17	121	EU-138479	016zcbca	16	16	25	26	26	26	1798.91213039	19470.192525
18	122	EU-138497	017zzaaa	16	16	16	22	22	26	2408.39724922	137851.710291
19	132	EU-138516	018aabaa	33	33	26	26	26	26	814.90545369	25504.8086529
20	133	EU-138523	019aaaaa	14	22	22	22	22	22	1938.01573828	60280.6246144
21	133	EU-138524	020aaaaa	11	11	11	12	12	12	591.17139827	19734.4422934
22	222	EU-139225	021aaaaa	12	12	22	22	22	26	2898.81987553	72030.833395
23	222	EU-139228	022aaaba	22	22	22	26	26	26	3952.67805763	265793.894556
24	222	EU-139235	023aaaaa	22	26	26	26	26	26	1409.67932561	96846.6276303
25	222	EU-139246	024aaaaa	22	22	22	22	22	26	31664.6467623	4885515.00434
26	222	EU-139253	025aaaaa	22	22	22	26	26	26	7782.04743282	1496002.41442
27	222	EU-139256	026aadaa	22	22	26	26	26	26	6500.76711147	510264.647355
28	223	EU-139400	027aaaaa	26	26	26	26	26	26	3836.04393288	276290.899664
29	242	EU-139475	028aaaaa	25	22	22	22	22	26	1948.45547646	106498.570154
30	242	EU-139503	029aabaa	22	22	22	26	26	26	1144.6422989	72260.453052
31	242	EU-139515	030aaaaa	26	26	26	26	26	26	1643.05579409	108159.227547
32	243	EU-139722	031aabaa	32	32	26	26	26	26	5387.4073404	270255.094501

3.2.3. Metodología de modelización de los procesos de cambio

Una vez identificados, caracterizados y delimitadas las unidades de paisajes de las áreas de estudio para cada momento de su serie temporal, utilizando el *software* Dinamica EGO 4.0 (Centro de Sensoriamento Remoto (CSR/UFMG) 2018; Ferreira, Soares-Filho y Pereira 2019; Rodrigues y Soares-Filho 2018), mediante el concepto de proceso estocástico y utilizando las funciones incorporadas de cadena de Markov y autómatas celulares (CA), buscamos calibrar un modelo geoespacial tipo LUCC. En nuestro estudio como datos para el modelo LUCC se utilizan los tipos de paisajes identificados y las unidades de paisaje delimitadas, y, al mismo tiempo, se obtienen las variables espaciales relevantes que inducen al cambio. Se analiza el papel que juegan en el cambio de los tipos de paisaje y la redelimitación de las unidades de paisaje, las variables estáticas en cada salto temporal correspondientes a morfología, litología, planeamiento, infraestructura verde y riesgos naturales; asimismo también analizamos las variables dinámicas obtenidas como las distancias en cada momento temporal de cada tipo de paisajes a cualquier otro distinto. Las variables, tanto estáticas como dinámicas, consideradas relevantes se utilizan para la calibración del modelo LUCC y su posterior análisis mediante las herramientas proporcionadas por el SIG.

Se parte de la delimitación de las unidades, caracterizadas con su tipo de paisaje para cada momento de la serie temporal. El procedimiento de identificación y cartografía se inicia desde el momento actual y se va retrocediendo en el tiempo. Como apuntábamos anteriormente, la información está recogida en un único fichero vectorial que incluye todos los momentos de su serie temporal; 2015, 1997, 1977, 1956, 1940 y 1910 en el caso del área de estudio A1 o 2012, 2000 y 1990 para el área de estudio A2. Para poder incorporar la información al modelo es necesario previamente que toda ella esté armonizada: misma referencia espacial, formato, unidades de medida, resolución, proyección y extensión. Cada momento de la serie se convierte en un fichero ráster para la generación de los datos de entrada del proceso estocástico. Con los ficheros ráster, y mediante el procedimiento de cadena de Markov, se procede a calcular las matrices de transición entre dos momentos contiguos temporales.

Al mismo tiempo, se seleccionan y se convierten en ficheros ráster las posibles variables espaciales que inducen al cambio de los tipos de paisaje en el tiempo. Éstas se parametrizan y categorizan, para dividir las en dos tipologías de variables espaciales según su comportamiento temporal entre cada momento de la serie:

- Estáticas: variables que no experimentan cambios en su valor dentro de cada iteración temporal del modelo, aunque pueden experimentar cambios a lo largo de la serie temporal. En nuestro modelo son las variables categóricas de la morfología, la litología y geología, el planeamiento y los riesgos naturales, así como la distancia a las infraestructuras lineales y la hidrología. Son las variables que se utilizan, añadiendo modificaciones, en los escenarios.
- Dinámicas: variables que experimentan cambios en su valor dentro de cada iteración temporal del modelo. En el modelo son las distancias de cada tipo de paisaje a cualquier otro tipo, es decir la distancia entre cada píxel de un tipo de paisaje al más cercano de todo otro tipo de paisaje vecino.

Con los dos grupos de las variables espaciales y con las unidades de paisaje de dos momentos temporales contiguos, se procede a calcular los rangos y los coeficientes de ponderación de las pruebas (WoE, *Weight of Evidence*) de las variables respecto al conjunto de transiciones previamente calculadas (Nti y Sallis 2013; Maithani et al. 2018; Mas 2018). Para poder considerar que todas las variables espaciales que se introducen en el modelo son independientes espacialmente, es necesario calcular la correlación WoE entre cada par de ellas. Se obtienen prueba χ^2 de Pearson, Cramer ϕ_c , contingencia y las medidas de entropía e incertidumbre (*Joint Entropy and Uncertainty*) para evaluar la independencia de las variables. Con estos datos, para nuestro caso consideramos que son independientes si el valor de Cramer ϕ_c es menor que 0,70 (James et al. 2017), con un rango 0 (ninguna asociación) a 1 (completa asociación entre las variables).

Con todo lo anterior realizado se procede a iniciar la calibración de la simulación del modelo geoespacial de tipo LUCC con los tipos y las unidades de paisaje. Esta calibración se va afinando con las transiciones entre cada dos momentos contiguos de la serie temporal, hasta llegar a los dos más próximos a la situación actual (por ejemplo, 1997 y 2015 para el área de estudio A1). Con esta última calibración se valida la simulación correspondiente al año 2015 respecto a las unidades de paisaje realmente presentes, mediante una función de disminución exponencial, una función de disminución constante de múltiples ventanas y comparación de similitud recíproca (Almeida et al. 2008; Soares-Filho et al. 2009) (Figura 3.08).

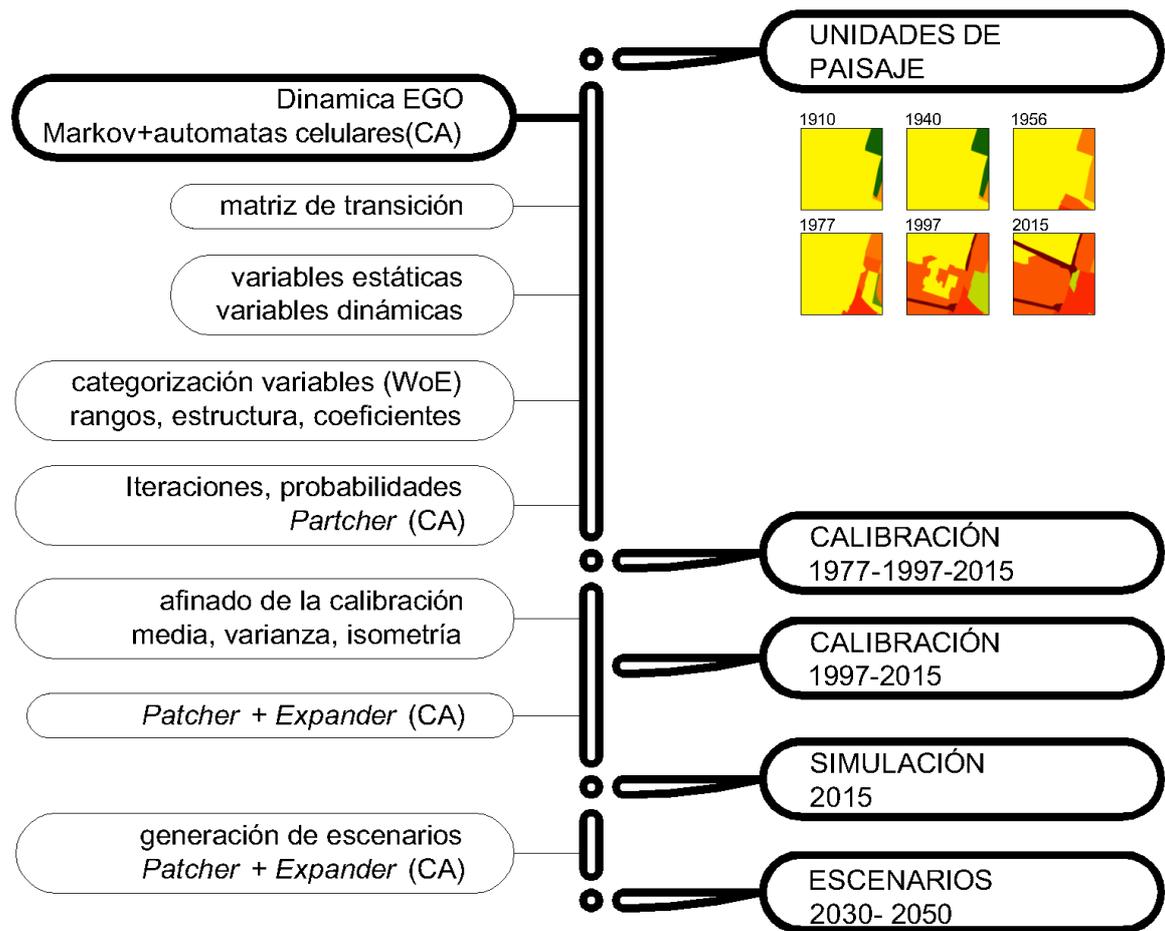


Figura 3.08. Esquema general seguido en la metodología de modelización de los procesos de cambio en espacios litorales

Producción y tratamiento de la información base

Para la modelización de los procesos de cambio en los paisajes se preparan dos tipos de datos de entrada. Por un lado, están las unidades de paisaje categorizadas por los tipos de paisaje y, por otro lado, están las variables que inducen al cambio. Dado que es necesario homogeneizar la información base y que es necesario que los ficheros que permiten su procesado en Dinamica EGO sean ráster, se inicia la preparación de los datos con la conversión de los tres últimos momentos de su serie temporal t_0 , t_1 y t_2 ; siendo t_{1977} , t_{1997} y t_{2015} respectivamente para el área de estudio A1 y t_{1990} , t_{2000} y t_{2012} para el área de estudio A2, desde el fichero vectorial de los mapas de unidades de paisaje, a un fichero ráster. Para ello se procede a convertir la estructura de datos vectorial a ráster mediante el software ArcGIS, con un tamaño de píxel de 5 x 5 m para el área de estudio A1; y 25 x 25 m para el área de estudio A2. Siendo el valor dado a cada píxel el correspondiente al valor categórico de tipo de paisaje de la unidad de paisaje (polígono vectorial) que tiene la máxima área combinada

incluida en la superficie correspondiente al píxel. Obtenemos ficheros de 4837 x 4007 píxeles para el área de estudio A1 y de 2146 x 2660 para el área de estudio A2, con datos numéricos de 8 bit entero.

Este procedimiento de conversión de los datos vectoriales de tipos de paisaje a ráster, se realiza para dos identificaciones y delimitaciones de paisajes. La primera de ellas, simplificada y no completa, con únicamente cinco tipos de paisajes (urbano, agrícola, pastos, forestal y agua) para iniciar la calibración y poder realizar en el menor tiempo el mayor número posible de iteraciones y ajustes de la calibración del modelo. La segunda identificación y delimitación de paisajes, completa, se realiza con los diecisiete tipos de paisajes para el área de estudio A1, Castelló de la Plana (Tabla 3.03) y los once tipos de paisajes para el área de estudio A2, Área metropolitana de Valencia (Tabla 3.04).

Tabla 3.03. Tipos de paisajes identificados para áreas periurbanas del litoral mediterráneo occidental, área de estudio A1, Castelló de la Plana.

Tipo urbano	Tipo agrícola	Tipo forestal y de agua
U11. Urbano denso en llanura	A21. Agrícola, mosaico de huerta regada en llanura	N31. Boscoso coníferas con matorral en ladera
U12. Urbano disperso	A22. Agrícola, frutales cítricos de regadío	N32. Garriga, matorral en ladera
U13. Urbano industrial y terciario en llanura	A23. Agrícola, mosaico de huerta regada en marjal	N33. Sin vegetación en ramblas y playas
U14. Espacio libre urbano en llanura	A24. Agrícola, arrozal en marjal	H41. Marjal en humedal
U16. Infraestructuras lineales	A25. Agrícola, pastos. Sin cultivos	H52. Embalse de María Cristina
	A26. Agrícola, mosaico de arbolado en secano	H53. Mar Mediterráneo

Tabla 3.04. Tipos de paisajes identificados para áreas periurbanas del litoral mediterráneo occidental, área de estudio A2, área metropolitana Valencia.

Tipo urbano	Tipo agrícola	Tipo forestal y de agua
U11. Urbano denso en llanura	A21. Agrícola, mosaico de huerta regada en llanura	N30. Forestales
U12. Urbano disperso	A22. Agrícola, frutales cítricos de regadío	N40. Humedales
U13. Urbano industrial y terciario en llanura	A24. Agrícola, arrozal en marjal	N50. Láminas de agua
U14. Espacio libre urbano en llanura	A26. Agrícola, mosaico de cultivos en secano	

Matrices de transición

Las matrices de transición almacenan los datos de probabilidad de cambio desde un estado (tipo de paisaje) a otro en un tiempo determinado. En nuestro caso la unidad de tiempo

se mide en años. Estas matrices tienen la característica de que cada fila (todas las transiciones de tipo de paisaje posibles) suman un valor de 1 y que su diagonal es cero, por lo que son colectivamente exhaustivas ya que, para el número total de celdas, todo píxel del estadio inicial dispone de un valor de tipo de paisaje, y en su estadio final de la transición también dispone de un único valor de tipo de paisaje, estando ambos dentro del rango previsto, es decir, los 17 tipos para el área A1 y los 11 tipos para el área A2. Esta probabilidad de cambio, obtenida mediante la matriz de transición, es un proceso de primer orden de la cadena de Markov (Camacho Olmedo, Mas y Paegelow 2018; Nti y Sallis 2013).

Para ello, una vez se tienen los mapas categóricos ráster de las unidades de paisaje, se calcula la matriz de transición entre cada dos momentos contiguos de la serie temporal, momento inicial (el más antiguo, t_1) y momento final (más reciente, t_2). Dado el salto en número de años entre ambos momentos (t_2-t_1) se obtiene la matriz de cambio total (*single-step*), los cambios de tipo de paisaje producidos en la totalidad del salto temporal, y la múltiple (*multiple-step*), los cambios de tipo de paisaje producidos por cada unidad de tiempo (en nuestro caso años) (Figura 3.09). Esta matriz de transición de salto múltiple será la utilizada para los cálculos de simulación, ya que nos da la probabilidad de cambio para cada transición de un tipo de paisaje dado a cualquier otro tipo de paisaje.

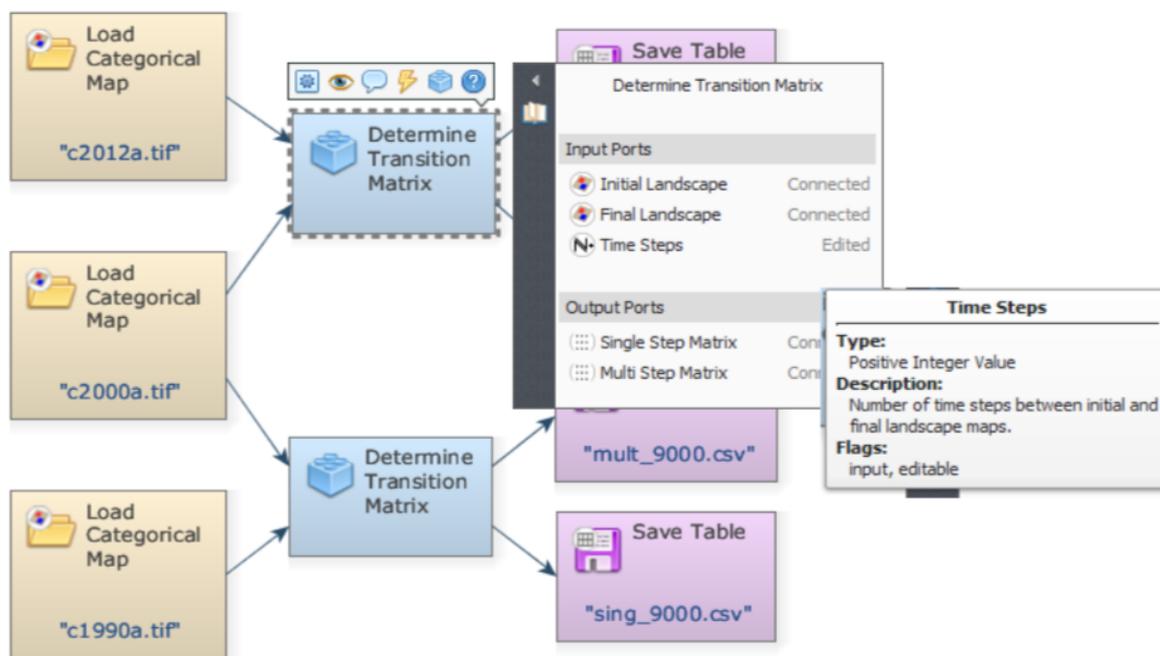


Figura 3.09. Modelo para la obtención de las matrices de transición, Dinamica EGO.

Variables espaciales: parametrización, categorización y clasificación

Los mapas de las variables espaciales estáticas se parametrizan, categorizan y se convierten a ráster en el *software* ArcGIS de forma análoga a los de las unidades de paisaje.

Sin embargo, las variables espaciales dinámicas son calculadas y categorizadas en el propio programa, Dinamica EGO, a partir de los mapas temporales de las unidades de paisaje en cada una de las simulaciones. En la tabla 3.05 se determinan los valores de las parametrizaciones utilizadas en el cálculo, tanto de las variables discretas como la categorización de las continuas.

Tabla 3.05. Parametrización de las variables estáticas.

variable	parametrización	referencia
Altitudes	<1 m, 2 m, 10 m, 20 m, 50 m, 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, >500 m	(Segado Vázquez, García Martín y Rosique Campoy 1996; Aguilo Alonso et al. 1992)
Pendientes	<1 %, 3 %, 8 %, 15 %, >15 %	(Segado Vázquez, García Martín y Rosique Campoy 1996; Aguilo Alonso et al. 1992)
Orientaciones	plano, umbría (N, NE, NW, 135°), solana (SE, S, SW, W, 225°)	(Segado Vázquez, García Martín y Rosique Campoy 1996; Aguilo Alonso et al. 1992)
Litología	arcillas; arcillas y areniscas; arcillas margas y yesos; arenas; arenas, gravas y cantos; areniscas; areniscas y margas; calcáreas; calcáreas y areniscas; calcáreas y dolomías; calcáreas y margas; cantos y graveras; cantos, gravas y arcillas, cantos, gravas y arenas; conglomerados y arcillas; dolomías y margas; limos; limos, gravas y cantos; pizarras y cuarcitas	Servicio de Organización y Técnicas de Gestión, Conselleria d'Habitatge, Obres Públiques i Vertebració del Territori - Generalitat Valenciana (Institut Cartogràfic Valencià 2018)
Planeamiento	Combinación de clasificación (urbano, urbanizable y no urbanizable) y calificación (residencial, industrial, terciario, dotacional, común, dominio público y protegido)	Servicio de Coordinación Urbanística y Territorial; Conselleria d'Habitatge, Obres Públiques i Vertebració del Territori - Generalitat Valenciana (Institut Cartogràfic Valencià 2018)
Infraestructura verde	protegido y no protegido	Servicio de Gestión de Espacios Naturales Protegidos; Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural - Generalitat Valenciana (Institut Cartogràfic Valencià 2018)
Distancias	Hidrología (25 m); infraestructura viaria principal (25 m) y secundaria (10 m); infraestructura de riego (10 m)	(Institut Cartogràfic Valencià 2018)
Riesgos	Erosión (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja); inundación (muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo y sin riesgo)	Dirección General de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje; Conselleria d'Habitatge, Obres Públiques i Vertebració del Territori - Generalitat Valenciana (Institut Cartogràfic Valencià 2018)
Socioeconómicos	Secciones censales. Combinación de número de habitantes, número de edificaciones y edad de la edificación	INE base (Instituto Nacional de Estadística 2018)

Para incluir las variables espaciales en el modelo, es necesario determinar la adecuación y significancia de cada una de ellas. Para ello se utiliza el método estadístico de ponderación de las pruebas (WoE) (Maithani et al. 2018; Nti y Sallis 2013). Este método (WoE) necesita

que las variables estén categorizadas, con una parametrización discreta, por lo que es necesario categorizar las variables que tengan datos continuos como las alturas, pendientes, orientaciones y distancias.

Ponderación de las pruebas (WoE, *Weights of Evidence*)

Con los mapas de las unidades de paisaje y las variables espaciales tanto estáticas como dinámicas se procede a iniciar el procedimiento de cálculo de la modelización mediante el método estadístico de ponderación de las pruebas (WoE). Este método está basado en probabilidades condicionadas, proceso estocástico, en las cuales la probabilidad que un evento ocurra es debido a que otro evento ha ocurrido previamente (Mas 2018). Se utiliza para producir mapas de probabilidad de cambio en los cuales el efecto de una variable espacial sobre una transición de tipos de paisaje determinada se calcula teniendo en cuenta su influencia espacial en la probabilidad de la transición; por tanto, se consideran diferentes condiciones simultáneamente (Mas 2018; Nti y Sallis 2013). Para tener en cuenta estas diferentes condiciones (rangos o intervalos) es necesario tener categorizadas las variables espaciales, pudiendo ser esta categorización binaria o múltiple (Figura 3.10).

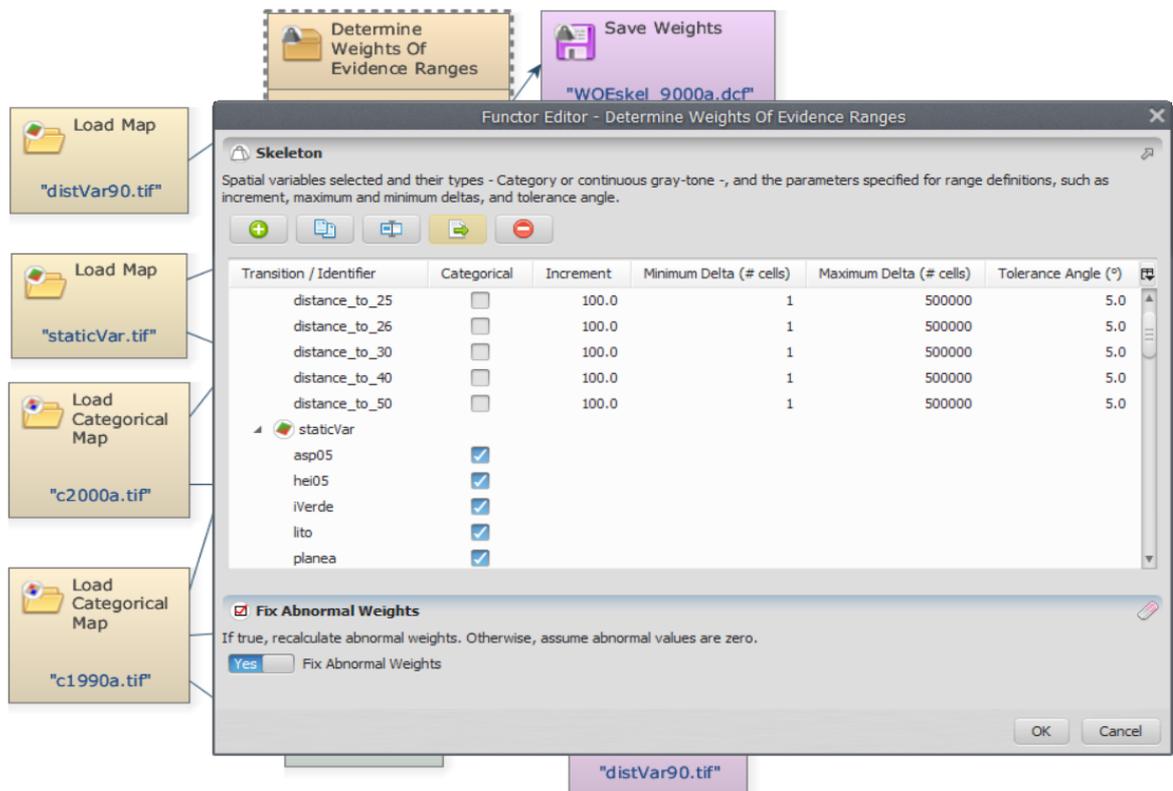


Figura 3.10. Modelo para la obtención de los rangos (WoE), Dinamica EGO.

Es necesario que las variables espaciales continuas previamente se transformen en variables categorizadas. Para ello, el primer paso a realizar es obtener los rangos o intervalos

(*Determine WoE Ranges*) de categorización de las variables. El método utilizado en Dinamica EGO calcula los rangos de acuerdo con la estructura de los datos, estableciendo un salto mínimo (D_x) para una variable continua x , que es usado para generar los intervalos (n_x) hasta el límite máximo establecido para esa variable en concreto, por ejemplo, distancia máxima deseada a un objeto dado. Con ello cada variable espacial que se introduce en el cálculo queda categorizada en rangos y estos son específicos para cada una de las posibles transiciones de tipo de paisaje.

Posteriormente a la obtención de los rangos o intervalos, se procede a determinar los coeficientes (*Determine WoE Coefficients, w^**) de estas mismas variables espaciales una vez categorizadas en los rangos para cada una de las posibles transiciones respecto al conjunto de transiciones calculadas (*multiple-step*). Estos coeficientes se asignan a cada uno de los rangos, previamente obtenidos, de cada una de las variables espaciales (Figura 3.11), y se determina la influencia al cambio de ese rango para cada una de las transiciones (Centro de Sensoriamento Remoto (CSR/UFMG) 2018; Maithani et al. 2018; Nti y Sallis 2013; Soares-Filho et al. 2009). Estos coeficientes pueden tener valor negativo o positivo. Tienen valor negativo si la condición del rango está asociada con una baja probabilidad de que ocurra el cambio de tipo de paisaje. Cuando la condición del rango tienda a incrementar la probabilidad, el valor de coeficiente será positivo (Figura 3.12). Los valores del coeficiente próximos a cero indican la no relación entre la variable espacial y la transición del tipo de paisaje determinada.

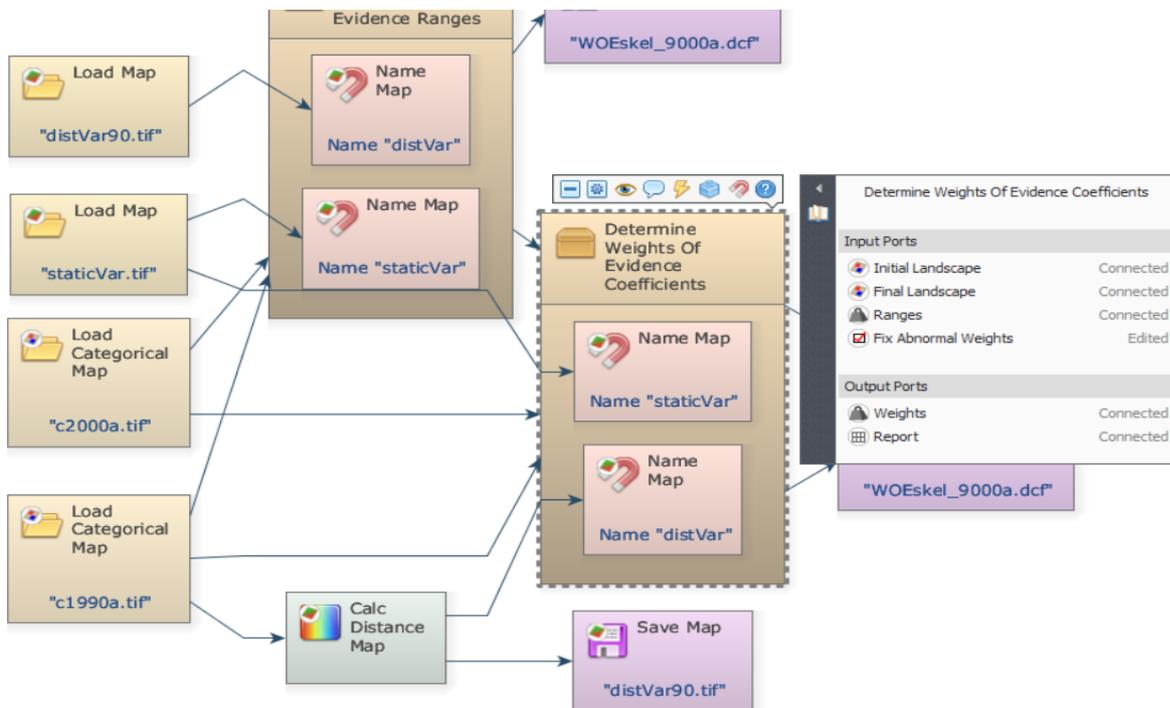


Figura 3.11. Modelo para la obtención de los coeficientes (WoE) con el programa Dinamica EGO.

Para poder aplicar el método WoE, por las propias premisas de un proceso estocástico, es necesario que todas las variables que entran en el cálculo sean independientes espacialmente. Para ello, debemos realizar la comprobación mediante la correlación (*Determine WoE Correlation*) para cada transición del tipo de paisaje entre cada par de las variables categorizadas, según los coeficientes previamente calculados (Figura 3.13 y tabla 3.06). Se comprueba la influencia de los coeficientes de Cramer ϕ_c y de contingencia, fundados en la estadística de χ^2 de Pearson, y la incertidumbre conjunta (*Joint Uncertainty*) basada en la entropía conjunta (*Joint Entropy*) (Nti y Sallis 2013). Para nuestras áreas de estudio se consideran valores siempre menores de 0,70 para el coeficiente de Cramer ϕ_c (James et al. 2017).

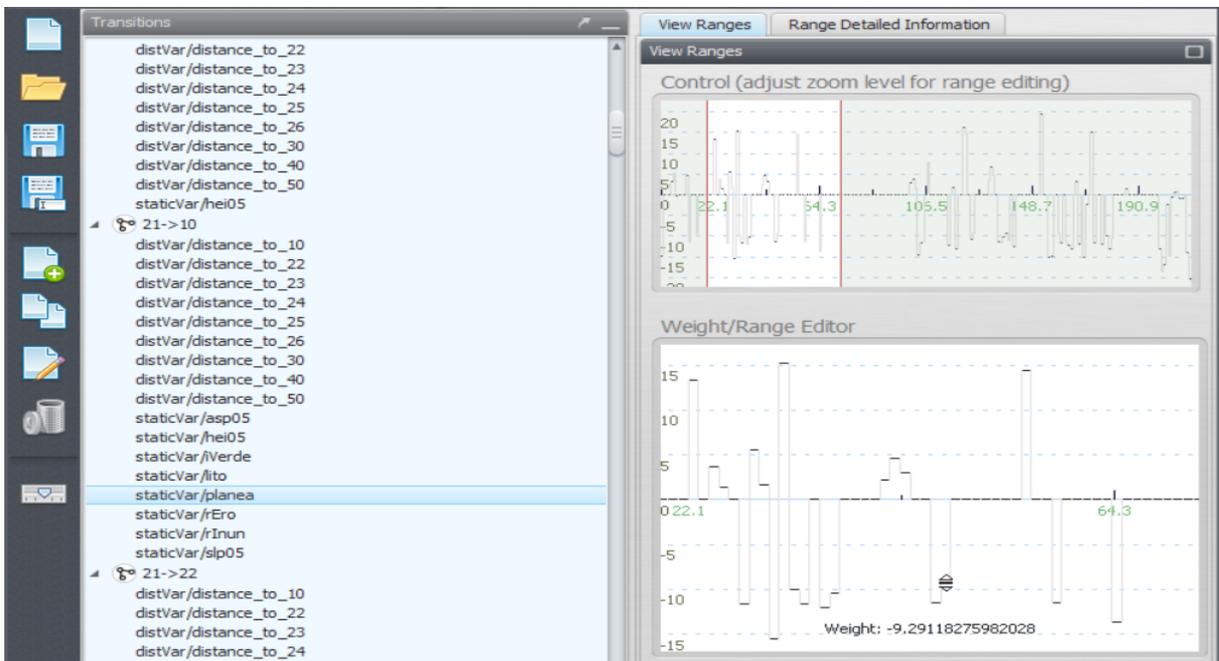


Figura 3.12. Ejemplo de rangos y coeficientes para una transición de paisaje determinada (WoE).

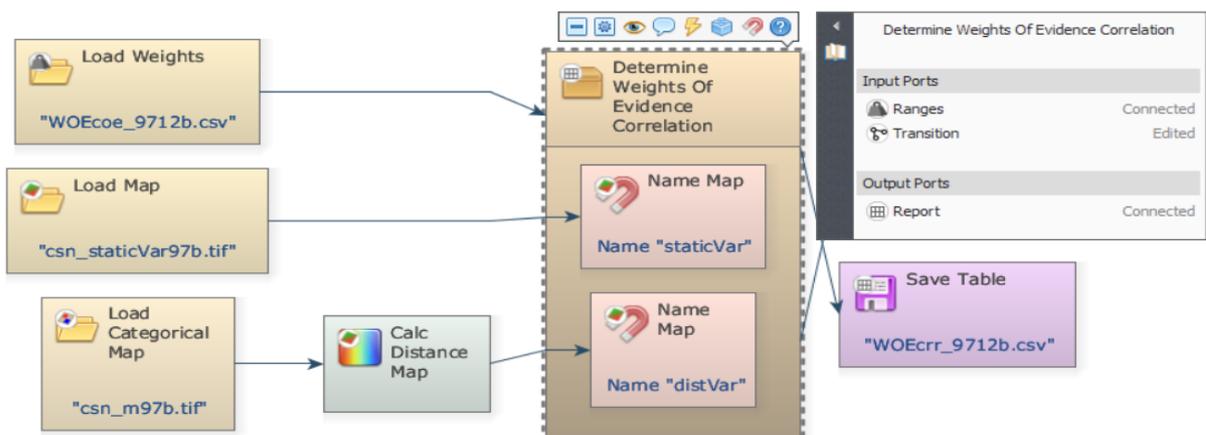


Figura 3.13. Modelo para la obtención de la correlación (WoE) de las variables espaciales con el programa Dinamica EGO.

Tabla 3.06. Ejemplo de coeficientes de correlación espacial entre variables para una transición determinada (WoE), Dinamica EGO.

Transition_From*	Transition_To*	First_Variable*	Second_Variable*	Chi_2	Cramer	Contingency	Joint_Entropy
22	12	staticVar/planea	staticVar/sCen	62382013.9019082	0.265922149293664	0.93100412066923	3.60631671079324
22	12	staticVar/planea	staticVar/slp05	6486068.20234293	0.474841584275698	0.635210240450424	2.90631138933569
22	12	staticVar/rEro	staticVar/rInun	383190.751086199	0.290492685266594	0.5023554958951	1.76430371714399
22	12	staticVar/rEro	staticVar/sCen	8522371.42505324	0.532252763118333	0.765618943498059	3.42959527087295
22	12	staticVar/rEro	staticVar/slp05	3586305.24678853	0.445731786641044	0.611101913355341	1.92404715113888
22	12	staticVar/rInun	staticVar/sCen	1644710.36276049	0.60014266858126	0.768296127939719	3.26882233959043
22	12	staticVar/rInun	staticVar/slp05	7743.72540484349	0.0475503535888657	0.0820817142358453	2.06890824849965
22	12	staticVar/sCen	staticVar/slp05	5107565.41441108	0.421368933301206	0.589523184717227	3.29818662820945
22	13	distVar/distance_to_11	distVar/distance_to_12	6300746.02115458	0.149418715472032	0.645535377361578	4.85491555487274
22	13	distVar/distance_to_11	distVar/distance_to_13	6687252.19042153	0.193532094323661	0.654427423402193	4.26465519558116
22	13	distVar/distance_to_11	distVar/distance_to_14	9309850.82622414	0.176908323851706	0.707369891334777	4.92022517491292
22	13	distVar/distance_to_11	distVar/distance_to_16	6980272.91601026	0.232876846270127	0.656942627272134	4.0442371515612
22	13	distVar/distance_to_11	distVar/distance_to_21	3772969.03110678	0.112712668237742	0.537616773070379	5.12011546121375
22	13	distVar/distance_to_11	distVar/distance_to_23	4697033.0657696	0.126493103714482	0.581920450956621	5.44129787754368
22	13	distVar/distance_to_11	distVar/distance_to_25	6148031.57019409	0.189844611626941	0.637534457643332	4.34633016218188
22	13	distVar/distance_to_11	distVar/distance_to_26	7626979.15103607	0.160899098474031	0.673114765832387	4.87504600538036
22	13	distVar/distance_to_11	distVar/distance_to_31	7293433.6881565	0.157045571418099	0.664152920760398	5.28925414980598
22	13	distVar/distance_to_11	distVar/distance_to_32	8820498.72970502	0.18048041999784	0.714399047018422	4.57577594624427
22	13	distVar/distance_to_11	distVar/distance_to_33	3009922.20930155	0.101163454197387	0.496687355760173	5.46040675507026

Procedimiento de la simulación

Una vez tenemos todos los datos procesados y preparados, así como confirmada la independencia espacial de las variables que inciden en el cambio, procedemos a iniciar la modelización del cambio de paisajes del tipo LUCC mediante la calibración de la simulación. Para ello utilizamos como datos de entrada el mapa de los paisajes iniciales (t_1), la matriz de transición por unidad de tiempo (años) (*multiple-step*), los coeficientes de las variables espaciales categorizadas (*WoE coefficients*) y los mapas apilados (*cube map*) de las variables estáticas y dinámicas (Ferreira, Soares-Filho y Pereira 2019; Soares-Filho et al. 2009).

La primera calibración se realiza con las unidades de paisaje simplificadas (5 tipos de paisaje: urbano U1, agrícola A2, forestal N3, agrícola pastos A4, y agua N5) y considerando el periodo más antiguo de la serie temporal (1977 a 1997 área de estudio A1 y 1990 a 2000 área A2). Este procedimiento se realiza mediante el cálculo del mapa de probabilidades (*Calc WoE Probability Map*) en el que, a cada píxel, se le asigna un valor de probabilidad para cada una de las transiciones posibles e iteración (año de salto). Con el mapa de probabilidades calculado, se genera la matriz de cambio y entra en funcionamiento el segundo motor de transición local del autómatas celular (CA, *patcher*). Dinamica EGO usa dos motores del autómatas celular de transición local (CA), ver punto 3.1.5, ambos emplean un método estocástico de asignación, para localizar las celdas con la mayor probabilidad de transición (Mas y Rodrigues 2018; Soares-Filho et al. 2009).

Como parámetros de transición en estas primeras interacciones se utilizan una media y una varianza de 0,0001 ha; y una isometría de 1, para los polígonos simulados de cambio de

tipo de paisaje (Figura 3.14). Con estos valores, al ser de orden inferior al tamaño de píxel 0,0025 ha, y gracias a utilizar el motor *patcher*, se logra obtener una nube de puntos de cambio de tipos de paisaje, en el entorno espacial de la transición.

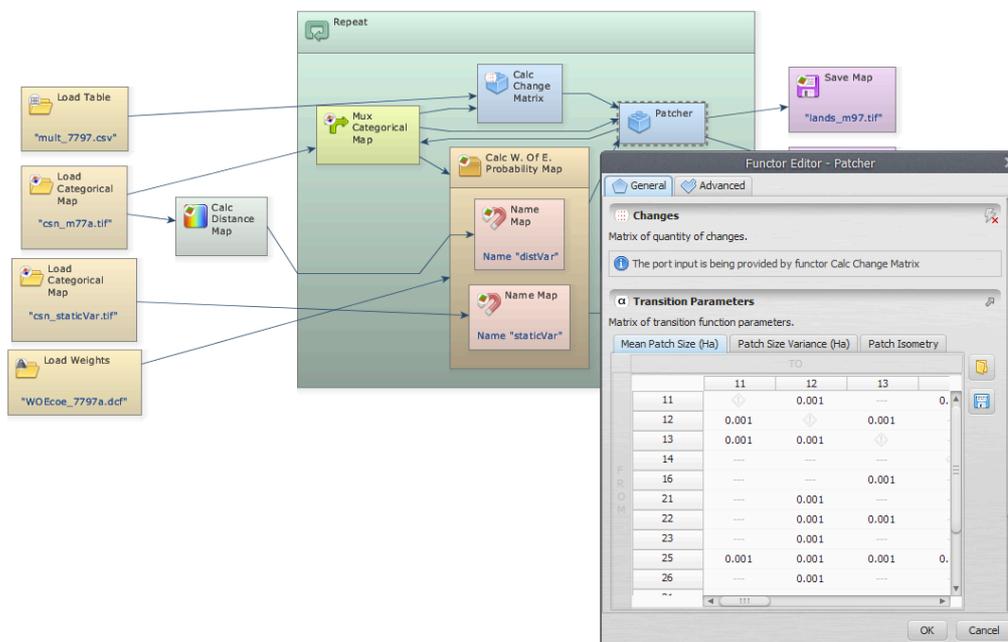


Figura 3.14. Modelo de simulación simplificada (5 tipos) y validación de los procesos de cambio en espacios litorales, entre 1977 y 1997.

En las siguientes calibraciones del modelo se ajustan la media y la varianza de cada transición según el cálculo estadístico de las diferencias entre el estado inicial y el final mediante el álgebra de mapas empleando *Landscape metrics* en Dinamica EGO. Además, dado que estos valores estadísticos se refieren al salto de tiempo total de la transición, hay que dividirlos entre el salto en número de años entre el estado inicial y el final. Con ello se consigue una mejor aproximación. En las siguientes calibraciones se va ajustando la isometría de los polígonos de cambio, resultando como mejor aproximación al modelo de cambio, dada la forma general de los polígonos, el valor de isometría de 1,6. Con todos los parámetros de la transición ajustados inicialmente, se realiza el ajuste de la calibración en la transición más próxima al momento actual (1997 a 2015 área de estudio A1 y 2000 a 2012 área A2) (Figura 3.15).

Con los datos obtenidos de estas calibraciones con las unidades de paisajes simplificadas (5 tipos de paisaje), se repite el procedimiento con las unidades de paisaje completas (17 tipos para el área A1 y 11 tipos de paisaje para el área A2), pero utilizando los parámetros finales de las aproximaciones simplificadas como punto de partida en la calibración. Para seguir mejorando el modelo, en la siguiente calibración se añade el primer motor de transición local

del CA, *expander*. Para ello, es necesario añadir una matriz que module el cambio, y de esta forma, repartir la probabilidad de cambio entre ambos motores *expander* y *patcher* (Almeida et al. 2008; Nti y Sallis 2013; Soares-Filho et al. 2009). Se realiza el procedimiento con el modelo representado en la figura 3.16, mediante la función matriz de modulación del cambio (*Modulate Change Matrix*), iniciando con un 50% para cada uno de los motores, y se explora el espectro en ambos sentidos hasta obtener que la mejor aproximación para los procesos de cambio en espacios litorales del mediterráneo occidental con el 65% del cambio realizado mediante el motor *expander* y el 35% restante mediante *patcher*.

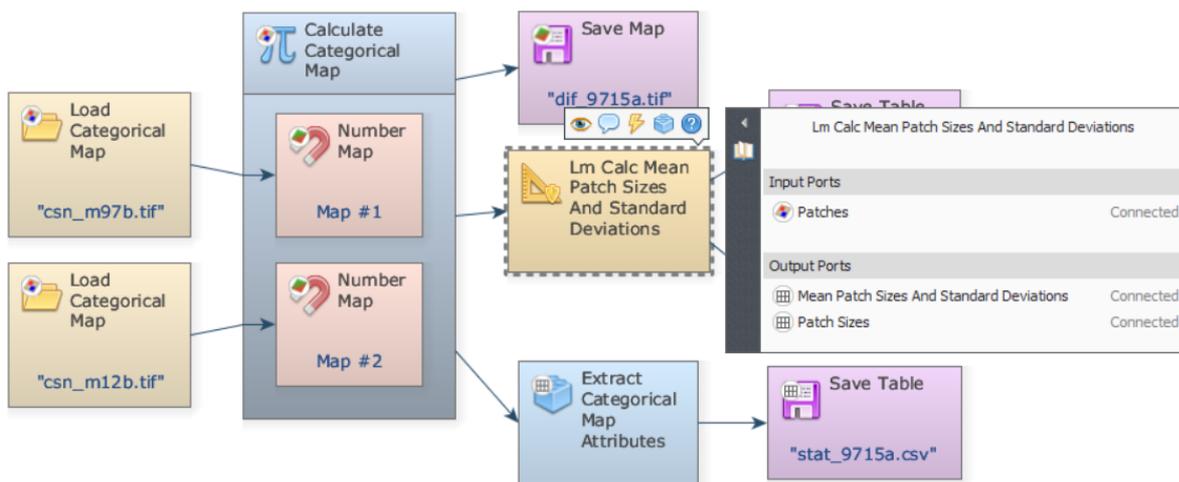


Figura 3.15. Modelo de cálculo de métricas de paisaje, diferencias entre 1997 y 2015.

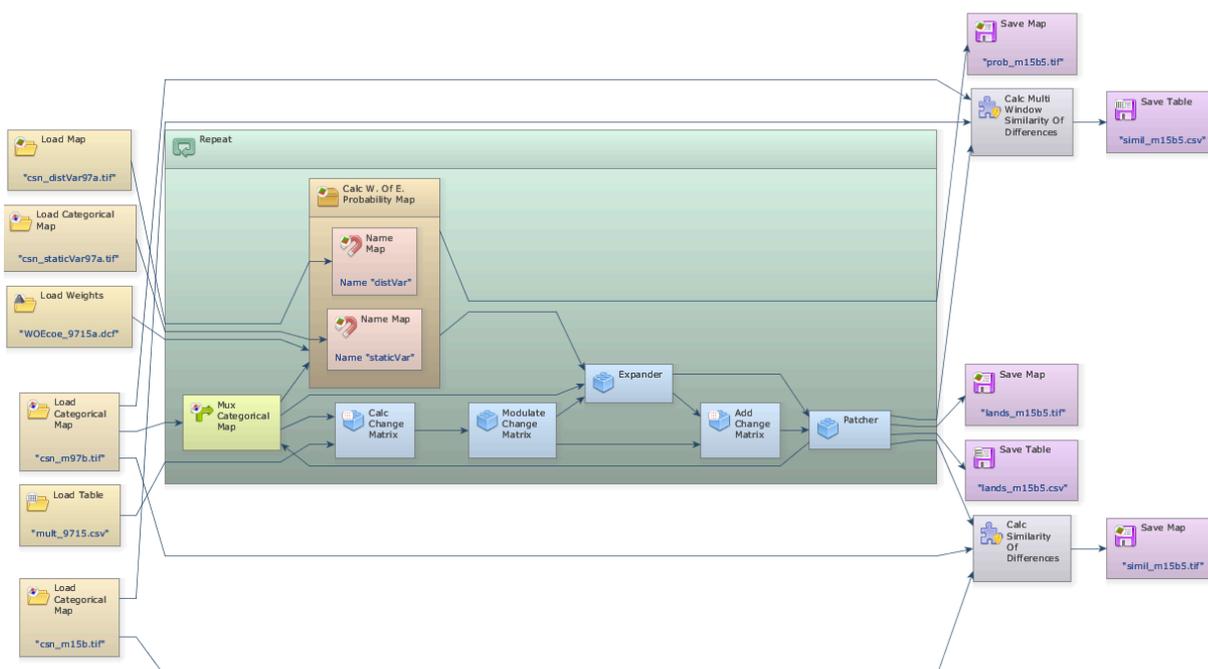


Figura 3.16. Modelo de simulación completa (17 tipos de paisaje), los dos motores del autómata celular y validación de los procesos de cambio en espacios litorales, entre 1997 y 2015. Área de estudio A1.

En cada iteración dentro del proceso, en nuestro caso para cada año, el mapa de probabilidades calculado, junto con el mapa de los paisajes generados por los dos motores del CA de transición local, pasan ambos a la siguiente iteración mediante la función del multiplexor de mapas categóricos (*Mux Categorical Map*). Esta función genera el nuevo mapa de unidades de paisajes que sirve tanto para calcular el nuevo mapa de probabilidades, como para la función de cálculo de la matriz de cambio (*Calc Change Matrix*) con la que se obtiene la cantidad de cambio por transición para la siguiente iteración.

Validación de la simulación

En los modelos de cambio de paisaje (LUCC) es importante que la modelización se valide previamente a su uso en la generación de escenarios futuros. Esta validación es la demostración que la calibración del modelo, en su ámbito de desarrollo, tiene calidad suficiente para su aplicación (Nti y Sallis 2013; Soares-Filho 2015). Esta validación no es absoluta, sino que mide el grado de confianza en los resultados del modelo y para ello, se utilizan métodos de comparación de los mapas de resultado con los mapas realmente observados. En nuestro caso, se valida comparando el mapa de paisajes finales (mt_2) con el mapa de los paisajes caracterizados para ese momento temporal de la serie (t_2).

Para realizar la comparación de los mapas mediante métodos matemáticos automáticos, se realiza un análisis por contexto de vecindad, pues de esta forma se considera la similitud en el patrón de cambio. Pero validar la comparación de mapas no es validar el modelo de cambio de los paisajes. Para ello hay que validar el proceso, las transiciones ejecutadas, que evalúan el rendimiento del modelo. Para evaluar el rendimiento del modelo, durante todas las iteraciones se realiza la validación de la simulación mediante las funciones de disminución exponencial (*Similarity of Differences*), la de disminución constante de múltiples ventanas (*Multi Window Similarity of Differences*) (Soares-Filho et al. 2009) y la de comparación de similitud recíproca (*Reciprocal Similarity Comparison*) (Almeida et al. 2008) (Figuras 3.17 y 3.18).

- *Similarity of Differences*, calcula las diferencias entre el mapa calculado y el mapa observado para un mismo momento temporal. Calcula los grados de aplicabilidad de la mínima diferencia de similitud.
- *Multi Window Similarity of Differences*, calcula las diferencias entre el mapa calculado y el mapa observado para un mismo momento temporal. Calcula los grados de aplicabilidad de la mínima diferencia para cada tamaño de ventana de comparación, siempre se utilizan píxeles impares.

- *Reciprocal Similarity Comparison*, calcula la diferencia de similitud difusa entre el mapa calculado y el mapa observado para un mismo tiempo temporal y viceversa. Este método de comparación entre el estado final y el modelizado, ha resultado ser el más adecuado para comparar los cambios en elementos de paisaje (Almeida et al. 2008; Soares-Filho 2015) dada la forma de polígonos continuos y discretos de las unidades de paisaje.

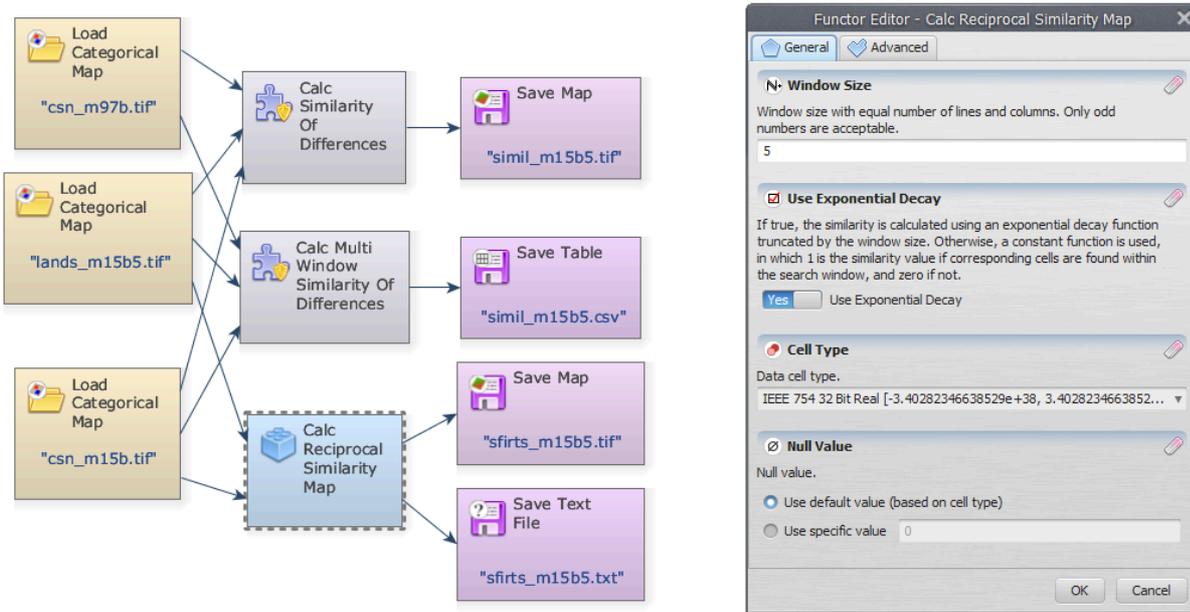


Figura 3.17. Modelo de validación de los procesos de cambio en espacios litorales, utilizando las tres funciones posibles en Dinamica EGO.

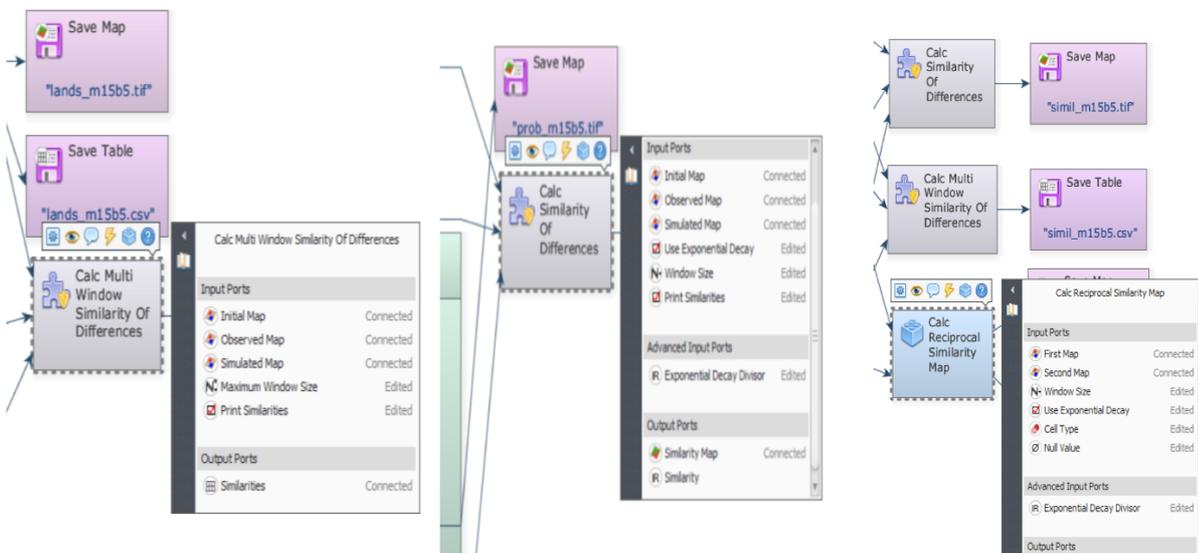


Figura 3.18. Funciones de validación de los procesos de cambio en espacios litorales.

La credibilidad del modelo y su calibración depende del modelo de validación. Esta valoración se cuantifica y depende, además, del modelo de la calidad de los datos de entrada en el mismo. Asimismo, el software debe tener en cuenta la similitud entre las estructuras de paisaje simuladas y las realmente observadas en el territorio (Camacho Olmedo et al. 2018).

Escenarios del modelo de cambio de paisajes en espacios litorales

Las técnicas como el modelo realizado en el software Dinamica EGO para nuestra investigación buscan la simulación de momentos temporales en el futuro, mediante escenarios. Siendo un escenario una descripción coherente, consistente internamente y razonable de un posible futuro estado (Escobar, van Delden y Hewitt 2018), en nuestro caso, del paisaje de los espacios litorales del Mediterráneo occidental. Los escenarios son imágenes o descripciones del futuro que podrán explicarse mediante la materialización de esas imágenes en forma de explicaciones literales. Mediante el escenario no se predice el futuro, sino que se exploran las múltiples posibles situaciones para extender la esfera de pensamiento de los participantes en la planificación de su desarrollo (Escobar, van Delden y Hewitt 2018).

Con los escenarios buscamos entender de una forma más ajustada las diferentes formas en las que se puede presentar el futuro y ser una herramienta que asista en la toma de decisiones para la obtención de la evolución deseada de los paisajes. Para ello, se ajusta el modelo cambiando en los datos de entrada los elementos necesarios según el escenario que se pretenda obtener. En nuestra investigación se plantean los escenarios de continuidad y de cambio en el planeamiento urbanístico.

En el primer escenario (*business as usual*), se asume que las tendencias observadas en el pasado continuarán a lo largo del tiempo, siguiendo el mismo recorrido y tendencia, sin elementos o variables espaciales que modifiquen la tendencia. Utilizamos el modelo de cambio de paisajes manteniendo todas las matrices de transición y las variables espaciales, tanto sus rangos como sus coeficientes. En este escenario sólo se modifican los paisajes de entrada, que serán el último momento temporal (t_3) correspondiente al paisaje identificado en 2015 para el área de estudio A1 (Figura 3.19) y 2012 para el área de estudio A2. Con estos datos se ejecutará el modelo generando iteraciones para obtener los escenarios en 2030 y 2050.

En el segundo escenario, se asumen parte de las tendencias observadas en el pasado, al igual que en el primer escenario, sin embargo, aquí sí se modifican elementos y variables espaciales que modifican la tendencia. Se introduce como elementos de cambio el planeamiento urbanístico en general, modificando tanto la calificación como la clasificación de

todo el suelo, y no sólo incidiendo sobre los suelos urbanos y urbanizables. Se mantienen las variables espaciales correspondientes a morfología del terreno (altitudes, pendientes y orientaciones), litología, riesgos y socioeconómicas. Por tanto, se modifican las variables correspondientes a planeamiento e infraestructura verde.

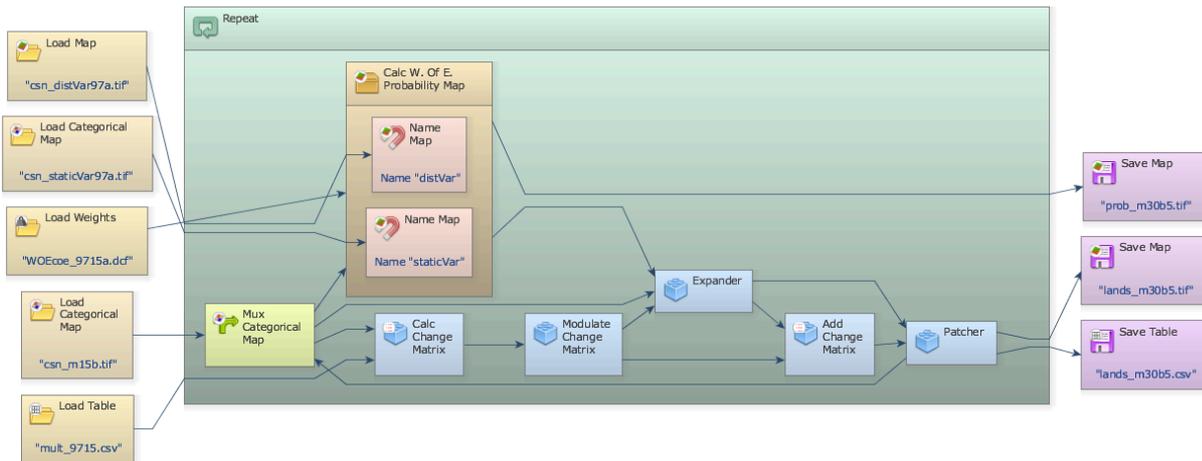


Figura 3.19. Modelo de simulación completa (17 tipos de paisaje) sin cambio de tendencia, escenario 2030 de los procesos de cambio en espacios litorales. Área de estudio A1.

Dado que en el área de estudio A1, el municipio de Castelló de la Plana está planteado un nuevo plan general estructural y una ordenación pormenorizada adjunta, se incorpora la versión con aprobación inicial para obtener el segundo escenario.

3.2.4. Metodología de evaluación de los servicios ecosistémicos de los paisajes

En nuestro trabajo se relaciona los servicios ecosistémicos con el análisis de territorio y su zonificación según las unidades de paisaje establecidas previamente. Utilizar la dinámica del paisaje en el largo plazo analizado en nuestra serie temporal es importante para la estructura y los procesos de cambio, no solo para los paisajes sino, también, para los servicios ecosistémicos y sus escenarios futuros (Bürgi et al. 2015; Vigl et al. 2016). En consecuencia, podemos aplicar los escenarios de futuro de 2030 y 2050 para obtener las posibles consecuencias de las tendencias observadas en ambas fechas sobre los servicios ecosistémicos.

La combinación de ambos escenarios, las unidades de paisaje y los servicios ecosistémicos, permitirán fundamentar y mejorar la toma de decisiones en la planificación del territorio y el urbanismo en las áreas de estudio según las escalas local y supralocal (Bürgi et al. 2017; Ridding et al. 2018). Nos centramos en dos aspectos de las características del

suelo sobre el que se asientan las unidades de paisaje. El primero es la capacidad de uso agronómico del suelo, servicio de abastecimiento relacionado con la producción de alimentos. El segundo es la capacidad de retención de agua de los suelos, servicio de regulación y apoyo relacionado con el abastecimiento de la misma, la producción de alimento y con el soporte a todos los demás procesos ecosistémicos (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

Producción y tratamiento de la información base

Para el análisis de los servicios ecosistémicos propuesto, se preparan dos tipos de datos de entrada. Por un lado, están las unidades de paisaje categorizadas por los tipos de paisaje y, por otro lado, están las características del suelo en cuanto a capacidad de uso agronómico y de retención de agua, así como la impermeabilización del mismo (Hernando Fernández et al. 1971; C.E.B.A.S 1975; Rubio Delgado, Sánchez Díaz y Forteza Bonnín 1996; Antolín Tomás 1998; Añó Vidal, Pascual Aguilar y Sánchez Díaz 2005; Langanke 2016) (Tabla 3.07)

Tabla 3.07. Parametrización de las características del suelo.

variable	parametrización	referencia
Impermeabilización del suelo	0 % a 100 %	(Langanke 2016; Pascual Aguilar, Andreu y Gimeno-García 2017)
Capacidad de uso agronómico del suelo	muy alta (A), alta (B), media (C), baja (D), muy baja (E)	(Antolín Tomás 1998; Añó Vidal, Pascual Aguilar y Sánchez Díaz 2005)
Asociaciones de suelo	según la Base de Referencia Mundial de suelos (WRB) y las asociaciones 1, 2, y 3 tipos de suelos del proyecto LUCDEME	(Rubio Delgado, Sánchez Díaz y Forteza Bonnín 1996; IUSS Working Group WRB 2015; Hengl et al. 2017)

Una vez recopilada la información base necesaria, se procede a homogeneizarla en formato vectorial, excepto para la impermeabilización del suelo que se mantiene en formato ráster, para poder realizar un cruce con la capa vectorial de las unidades de paisaje en el año 2015 o 2012 según el área de estudio (Langanke 2016; Gupta, Islam y Hasan 2018). Este cruce de datos nos permite obtener, utilizando el *software* ArcGIS mediante la función *summarize* en la tabla, una nueva tabla en la que las columnas corresponden a los distintos tipos de paisaje y las filas el porcentaje de impermeabilización. Con ello obtenemos los píxeles de cada porcentaje que corresponden con cada tipo de paisaje, con una suma de los mismo ponderada según su porcentaje de impermeabilización obtenemos el porcentaje de sellado antropogénico del suelo para cada uno de los tipos de paisaje.

Evaluación de la capacidad de uso

Los datos vectoriales homogeneizados de la capacidad de uso del suelo se unen con los datos vectoriales de las unidades de paisaje correspondientes a cada una de las áreas de

estudio. Utilizando ArcGIS se realiza una unión geométrica de ambos datos vectoriales. Toda la información se genera en una capa temática vectorial, que incluye todos los momentos de la serie temporal. Junto con la cartografía se añaden los campos de datos que identifican a la unidad con su tipo de paisaje y la capacidad de uso correspondiente en la tabla de atributos. Seguidamente presentamos los distintos campos generados en la tabla:

- Generación de campo combinación de tipo de paisaje y capacidad de uso para cada uno de los momentos tabulados de la serie temporal (2015, 1997, 1977, 1956, 1940 y 1910) para el área de estudio A1 y (2012, 2000 y 1990) para el área de estudio A2. Permitirá calcular las matrices de cambio entre dos momentos temporales. Tipo de campo numérico entero corto.
- Generación de los campos de superficie (área) y longitud (perímetro) del polígono. Necesarios para realizar cálculos estadísticos de los tipos de paisaje y su correspondiente capacidad de uso. De esta forma, mediante sus cambios a lo largo del tiempo, poder obtener las estadísticas asociadas a la dinámica del paisaje y la capacidad de uso. Tipo de campo numérico de coma flotante de precisión doble, siendo las unidades metro cuadrado para las áreas y metro para el perímetro.

Una vez que las unidades de paisaje con su tipo de paisaje y su capacidad de uso asociada se han delimitado para cada momento de la serie temporal, se realiza un análisis de su variación a lo largo del tiempo. Primero se realiza un análisis de variabilidad de la capacidad de uso, entre dos momentos temporales contiguos a partir del fichero vectorial generado usando ArcGIS, para obtener la ratio de cambio entre dos periodos. Al mismo tiempo, aprovechando los cálculos realizados, obtenemos la ratio de cambio y la capacidad de uso asociada a los tipos urbanos para obtener la pérdida de suelos con alta capacidad al sellarse (Pascual Aguilar, Andreu y Gimeno-García 2017).

Evaluación de la capacidad de retención de agua

Los datos analógicos de las unidades de asociación de suelo para el área de estudio A1 se digitalizan mediante la creación de entidades geométricas de polígonos, se les añade un campo identificado y uno descriptor. Los datos digitales de las unidades de asociación de suelo para ambas áreas de estudio se homogenizan según la nomenclatura de suelo de la Base de Referencia Mundial de suelos (WRB) (IUSS Working Group WRB 2015). Una vez homogeneizadas las unidades de asociación de suelos, tanto para el área de estudio A1 y A2, se unen con los datos vectoriales de las unidades de paisaje. Utilizando ArcGIS se realiza una unión geométrica de ambos datos vectoriales. Toda la información se genera en un único

fichero vectorial, que incluye todos los momentos de la serie temporal. Junto con la cartografía se añaden los campos de datos que identifican a la unidad con su tipo de paisaje, la unidad de asociación de suelo y los valores sobre retención de agua correspondientes en la tabla de atributos. Seguidamente presentamos los distintos campos generados en la tabla:

- Generación de campo con los datos de retención de humedad ponderada según la asociación de suelos. Para ello se calcula la retención de humedad ponderada en milímetros como producto de la capacidad de retención de humedad en porcentaje y la potencia media del suelo (Añó Vidal, Pascual Aguilar y Sánchez Díaz 2005; Pascual Aguilar 2002; Pascual Aguilar, Andreu y Gimeno-García 2017). Tipo de campo numérico de coma flotante de precisión doble, siendo las unidades milímetros.
- Generación de campos de retención de humedad efectiva, como el producto de la retención de humedad ponderada por el porcentaje de suelo no sellado en la unidad de asociación de suelo según el tipo de paisaje para cada uno de los momentos tabulados de la serie temporal (2015, 1997, 1977, 1956, 1940 y 1910) para el área de estudio A1 y (2012, 2000 y 1990) para el área de estudio A2. Permitirá calcular la retención de humedad total y su ratio de cambio entre dos momentos temporales. Tipo de campo numérico de coma flotante de precisión doble, siendo las unidades milímetros.
- Generación de los campos de superficie (área) y longitud (perímetro) del polígono. Necesarios para realizar cálculos estadísticos de los tipos de paisaje y su correspondiente retención de humedad. De esta forma, mediante sus cambios a lo largo del tiempo, poder obtener las estadísticas asociadas a la dinámica del paisaje y la retención de humedad. Tipo de campo numérico de coma flotante de precisión doble, siendo las unidades metro cuadrado para las áreas y metro para el perímetro.

Una vez que las unidades de paisaje con su tipo de paisaje y su retención de humedad del suelo asociada se han delimitado para cada momento de la serie temporal, se realiza un análisis de su variación a lo largo del tiempo (Pascual Aguilar, Sanz García y de Bustamante Gutierrez 2011). Primero se realiza un análisis de variabilidad de la retención de humedad total, entre dos momentos temporales contiguos a partir del fichero vectorial generado usando ArcGIS. Al mismo tiempo, aprovechando los cálculos realizados, obtenemos la ratio de cambio y la retención de humedad total asociada a los tipos urbanos para obtener la pérdida de retención de humedad efectiva al sellarse (Pascual Aguilar, Andreu y Gimeno-García 2017).

C4. DINÁMICA DEL PAISAJE

4.1. Bases de la evolución del paisaje litoral

4.1.1. Información base para la parametrización

Tras la identificación de los patrones de paisaje se toma esta información como base para la definición de los tipos de paisaje adaptados a la escala de trabajo de las áreas de estudio, que representan la franja litoral del Mediterráneo occidental.

Los materiales se han preparado para llevar a término un proceso de fotointerpretación de las unidades de paisaje (A) caracterizadas por su tipo de paisaje (T) en diferentes momentos históricos, y obtener una serie temporal discreta que permita analizar la geohistoria del paisaje (Antrop 2005; Belda-Carrasco, Iranzo-García y Pascual Aguilar 2019; Statuto, Cillis y Picuno 2019). Los datos, todo ello siguiendo los materiales y la metodología expuesta en el capítulo 3, se incorporan para la identificación primero de los patrones de paisaje, posteriormente los tipos de paisaje y finalmente para delimitar geográficamente las unidades de paisaje (land unit) (Michalik-Śnieżek, Chmielewski y Chmielewski 2019; Velázquez y Bocco 2001; Zonneveld 1989), que permitirán estudiar la evolución del paisaje en los espacios litorales del Mediterráneo occidental.

En aras de la aplicación y validación de la metodología, se deciden utilizar dos áreas de estudio. De esta forma se puede utilizar el método en dos entornos diferentes de la franja litoral del Mediterráneo occidental (Castelló de la Plana y área metropolitana de Valencia), con dos escalas geográficas de trabajo diferentes, local y supralocal (Gómez-Zotano et al. 2018; Lundberg 2018; Lustig et al. 2015).

4.1.2. Identificación de los tipos de paisaje

Para efectuar la identificación de los distintos tipos de paisaje y la posterior delimitación de las unidades de paisaje hemos seguido un procedimiento de tipo analítico (Bolós Capdevila 1992; Bolós Capdevila y Bofarull Amat 2007; Iranzo-García 2009; Recatalá y Sánchez 1996; Serrano Giné 2018), sustentado en un conjunto de criterios que nos dan una visión eco-física, con una combinación de la metodología LANMAP (Wascher et al. 2005; Múcher et al. 2010) y la clasificación del paisaje ABC (Bolós Capdevila y Bofarull Amat 2007). Los criterios seleccionados corresponden con las unidades morfológicas del terreno, la litología, las formaciones vegetales y las coberturas del suelo.

Se han seguido los planteamientos de la pirámide taxonómica del paisaje (LTP) propuesta por Gómez (Gómez-Zotano et al. 2018) aplicándose a cada área de estudio según la escala de trabajo del mismo, en nuestro caso la supralocal (T3) para el área A2 y la local (T4) para el área A1. De esta forma, mediante los datos compilados y apoyándonos en el concepto de patrón de paisaje, definido en el capítulo anterior, iniciamos la identificación de los tipos pasajes (Lang et al. 2008). Para precisar la delimitación de las unidades de paisaje, caracterizadas por su tipo de paisaje a lo largo de toda la serie temporal, se ha recurrido a textos descriptivos del área de estudio e información acerca de su ocupación a lo largo del tiempo. Del mismo modo, también hemos utilizado fotografías históricas, tanto oblicuas como aéreas, para obtener el compendio de los diferentes tipos de paisaje de cada momento de la serie temporal.

4.1.3. Delimitación de las unidades de paisaje

Partiendo del concepto de unidad territorial (*land unit*), que hace referencia a un sector de territorio continuo y homogéneo (Michalik-Śnieżek, Chmielewski y Chmielewski 2019; Velázquez y Bocco 2001; Zonneveld 1989) y apoyándonos en los tipos de paisaje previamente identificados, que establecen el carácter de la unidad, se obtienen homogéneamente las distintas unidades de paisaje. Estas unidades de paisaje se delimitan según la escala de trabajo, en nuestro caso supralocal (escala 1:50.000) y local (escala 1:5.000), cubriendo completamente el área de estudio; están caracterizadas tanto por su tipo de paisaje como por el momento temporal de la serie a la que pertenecen.

Las unidades de paisaje se delimitan mediante la fotointerpretación de las ortofotografías (2015/12 y 1997), de las fotografías aéreas (1977 y 1956) e interpretación de las cartografías históricas (mapas planimétricos para los años 1940 y 1910). Esta fotointerpretación e interpretación cartográfica permiten delimitar unidades de territorio continuas y homogéneas

que compartan un mismo tipo de paisaje previamente identificado. La delimitación se realiza vectorialmente en forma de polígonos en entornos SIG. Las unidades de paisaje son susceptibles de compararse en cada momento temporal de la serie, obteniendo de esta forma modelos y ratios de cambio correspondientes a cada uno de los tipos de paisaje (Antrop 2000).

4.2. Área de estudio A1, Castelló de la Plana

Para el caso de Castelló de la Plana hemos realizado la parametrización y sistematización de los tipos de paisaje compilados en todos los estadios temporales. Una vez analizados y parametrizados los datos de partida, basándonos en la estructura territorial determinada en la LTP (Gómez-Zotano et al. 2018) aplicada a la escala local (tipo T4, 1:5000), hemos obtenido las unidades de paisaje presentes en cualquier momento de la serie temporal estudiada, categorizadas según su tipo de paisaje. Se han identificado 17 tipos de paisaje, de los cuales 5 tienen un patrón urbano, 6 agrícola, 3 forestal y 3 de agua (Tabla 4.01).

Tabla 4.01. Tipos y patrones de paisajes para áreas periurbanas del litoral mediterráneo. Área de estudio A1, Castelló de la Plana.

Código	Tipo	Patrón de paisaje urbano y periurbano
U11	Urbano denso en llanura	Edificación densa en ocupación de suelo y edificabilidad, alineación a vial público, en terrenos de llanura y costa
U12	Urbano disperso	Edificación dispersa con espacios libres urbanos o agrícolas, en terrenos de llanura, costa y piedemonte
U13	Urbano industrial y terciario en llanura	Edificación, instalaciones y dotaciones, en terrenos de llanura y costa
U14	Espacio libre urbano en llanura	Espacio libre urbano ajardinado, en terrenos de llanura y costa
U16	Infraestructuras lineales	Infraestructuras viarias y ferroviarias lineales que fragmentan el paisaje, en terrenos de llanura
Patrón de paisaje agrícola		
A21	Agrícola, mosaico de huerta regada en llanura	Mosaico agrícola de huertas de regadío, en terrenos de llanura
A22	Agrícola, frutales cítricos de regadío	Frutales cítricos de regadío, en terrenos de llanura y piedemonte
A23	Agrícola, mosaico de huerta regada en marjal	Mosaico agrícola de huertas de regadío, en terrenos de humedal costero desecado con canales de drenaje
A24	Agrícola, arrozal en marjal	Arrozales, en terrenos de humedal costero con canales de drenaje
A25	Agrícola, pastos	Pastos o terrenos sin cultivos aparentes, en terrenos de llanura y humedal costero desecado
A26	Agrícola, mosaico de arbolado en secano	Mosaico agrícola de algarrobos, olivos, almendros y viñedos de secano, en terrenos de llanura y piedemonte

Código	Tipo	Patrón de paisaje forestal
N31	Boscoso, coníferas con matorral en ladera	Bosque de coníferas, sotobosque y zonas de matorral, en ladera
N32	Garriga, matorral en ladera	Garriga, sotobosque y matorral basófilo, en ladera
N33	Sin vegetación en ramblas y playas	Terreno desnudo o con muy poca vegetación, en ramblas, playas y piedemonte
Patrón de paisaje de agua		
H41	Marjal en humedal	Marjal y lagunas, en antigua albufera colmatada
H52	Embalse de María Cristina	Lámina de agua continental generada por el embalse de María Cristina
H53	Mar Mediterráneo	Lámina de agua marina, Mar Mediterráneo

4.2.1. Unidades de paisaje y su dinámica

Las unidades de paisaje delimitadas, categorizadas por su tipo de paisaje y el momento de la serie temporal, permiten que su distribución se represente con una simbología homogénea para cada momento temporal. Esta representación posibilita una primera aproximación visual a los modelos de asociación, cambio e incluso fragmentación paisajística. Dado que las unidades se categorizan según su tipo de paisaje, se presenta la comparación entre los tipos de paisaje de los años 1910, 1940, 1956, 1977, 1997 y 2015 (Figura 4.01), apreciándose la importante transformación de los paisajes entre los momentos inicial y final de la serie temporal (ubicación de las tipologías, áreas ocupadas por cada tipo de paisaje, gran incremento de la fragmentación, entre otros).

Los cambios en los tipos de paisaje entre los momentos de la serie temporal difieren tanto en cantidad como en signo, de acuerdo con su tipología, por ello se cuantifican y se calculan las ratios de cambio del paisaje (Tabla 4.02). Los tipos urbanos (U11, U12, U13, U14 y U16) aumentan su superficie en todos los momentos de la serie temporal. Los tipos agrícolas de regadío (A21, A22, y A23) se mantienen en el tiempo, aunque cambiando su posición espacial, al ser sustituidos por los urbanos y suplantados por los tipos agrícolas de secano. Estos, los agrícolas de secano (A26) reducen su superficie en todos los momentos, pero de forma más acusada a partir de la segunda mitad del siglo XX. Los agrícolas sin cultivo aparente (A25) tienen una variabilidad acusada a lo largo del tiempo. Los tipos forestales (N31, N32 y N33) aumentan ligeramente en el tiempo. Por último, los tipos de agua (H52 y H53) cambian con la construcción del embalse de María Cristina y la desaparición del paisaje de marjal y del arrozal (Figura 4.02).

tipos de paisaje

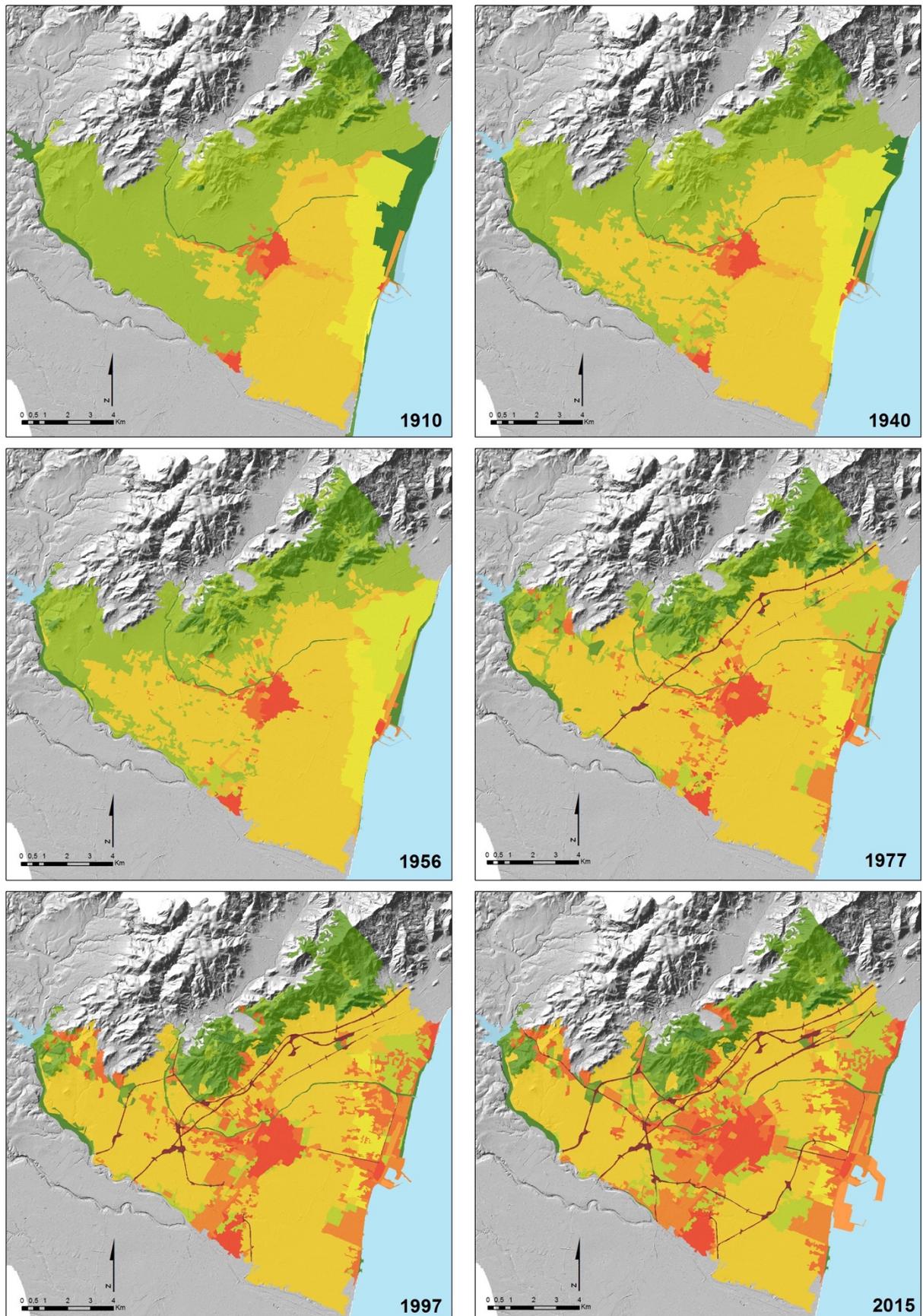


Figura 4.01. Mapa de cambio de los tipos y unidades de paisaje. Área de estudio A1, 1910-2015.

Además, tenemos dos tipos de paisaje que han desaparecido completamente (A24 y N41), ambos relacionados con el marjal mediterráneo. El primero es el tipo agrícola arrozal en marjal (A24), que desaparece entorno al año 1969; el segundo es el tipo marjal en humedal (N41), que desaparece definitivamente con su desecación tanto de las aguas permanentes como las estacionales en los años 40 del siglo XX.

Tabla 4.02. Tipos de paisaje por año (%) y ratio cambio por tipo de paisaje. Área de estudio A1.

Tipo de paisaje	1910	1940	Ratio 1940/10	1956	Ratio 1956/40	1977	Ratio 1977/56	1997	Ratio 1997/77	2015	Ratio 2015/97
U11	0,82	0,99	1,2	1,27	1,3	2,13	1,7	2,79	1,3	3,66	1,3
U12	0,66	0,74	1,1	0,84	1,1	1,97	2,3	5,23	2,7	6,84	1,3
U13	0,13	0,15	1,1	0,33	2,2	2,43	7,4	4,11	1,7	6,21	1,5
U14	0,23	0,23	1,0	0,26	1,1	0,21	0,8	0,26	1,2	0,58	2,2
U16	0	0	-	0	-	0,57	-	1,33	2,3	2,08	1,6
A21	1,21	1,24	1,0	0,62	0,5	0,96	1,6	0,42	0,4	0,29	0,7
A22	17,84	25,74	1,4	27,71	1,1	34,69	1,3	32,89	0,9	26,01	0,8
A23	3,79	3,52	0,9	2,91	0,8	1,66	0,6	1,54	0,9	1,53	1,0
A24	1,46	2,75	1,9	3,70	1,3	0	-	0	-	0	-
A25	0,73	1,20	1,6	1,17	0,9	4,60	3,9	3,57	0,8	6,19	1,7
A26	29,76	21,69	0,7	18,14	0,8	5,39	0,3	1,19	0,2	0,64	0,5
N31	2,65	2,46	0,9	1,05	0,4	1,21	1,2	0,83	0,7	1,94	2,3
N32	1,53	1,54	1,0	5,18	3,4	7,29	1,4	8,96	1,2	7,89	0,9
N33	1,78	1,09	0,6	1,04	1,0	1,29	1,2	1,26	1,1	1,43	1,1
H41	2,48	0,89	0,4	0	-	0	-	0	-	0	-
H52	0	0,39	-	0,39	1,0	0,39	1,0	0,39	1,0	0,39	1,0
H53	34,93	35,37	1,0	35,39	1,0	35,21	1,0	35,14	1,0	34,31	1,0

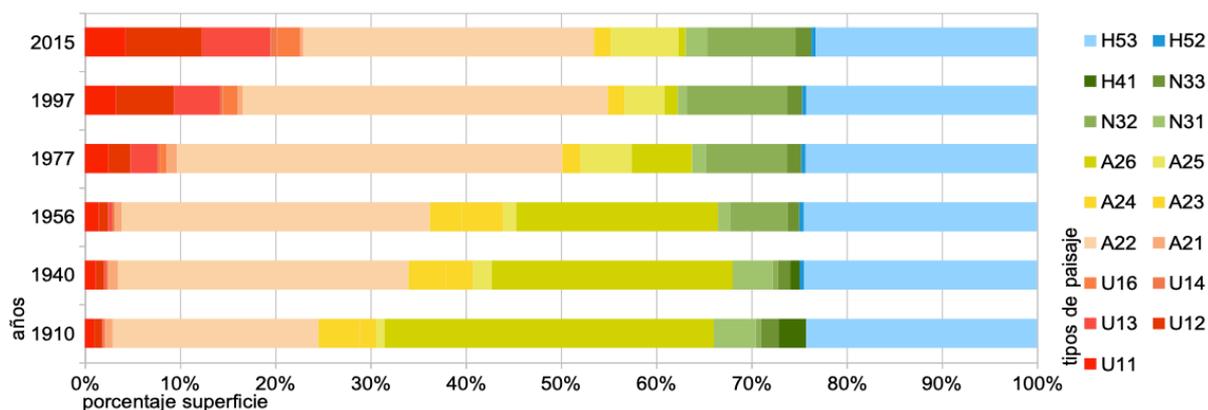


Figura 4.02. Gráfico de variabilidad de los tipos de paisaje, en porcentaje de superficie (1910, 1940, 1956, 1977, 1997 y 2015). Área de estudio A1.

Las dinámicas de cambio en los paisajes a lo largo de los momentos de la serie temporal se analizan por medio de los cambios en la superficie ocupada en el territorio para cada uno de los tipos de paisaje (Figura 4.03). En estos gráficos se evidencia individualmente, para

cada tipo de paisaje, la dinámica que ha tenido a lo largo de toda la serie temporal. En los tipos urbanos, dentro de su crecimiento continuo, se observa el mayor crecimiento del urbano disperso (U12) y del industrial y terciario en llanura (U13). En los tipos agrícolas se manifiesta el crecimiento durante la primera mitad de la serie, del tipo agrícola frutales cítrico en regadío (A22) y su descenso continuado hasta el final de la serie; se produce la desaparición del tipo arrozal en marjal (A24) entre 1956 y 1977 con apoyo institucional desde principio del siglo XX (Domingo Pérez 1983); el descenso continuo del mosaico de arbolado en seco (A26) y el crecimiento en el último tercio de la serie, del tipo pastos (A25), posiblemente debido a los paisajes generados por los espacios agrícolas sin cultivo aparente, primero por el abandono del arrozal y en los últimos tiempos por el abandono de los terrenos agrícolas, en espera de su supuesta urbanización (Figura 4.04).

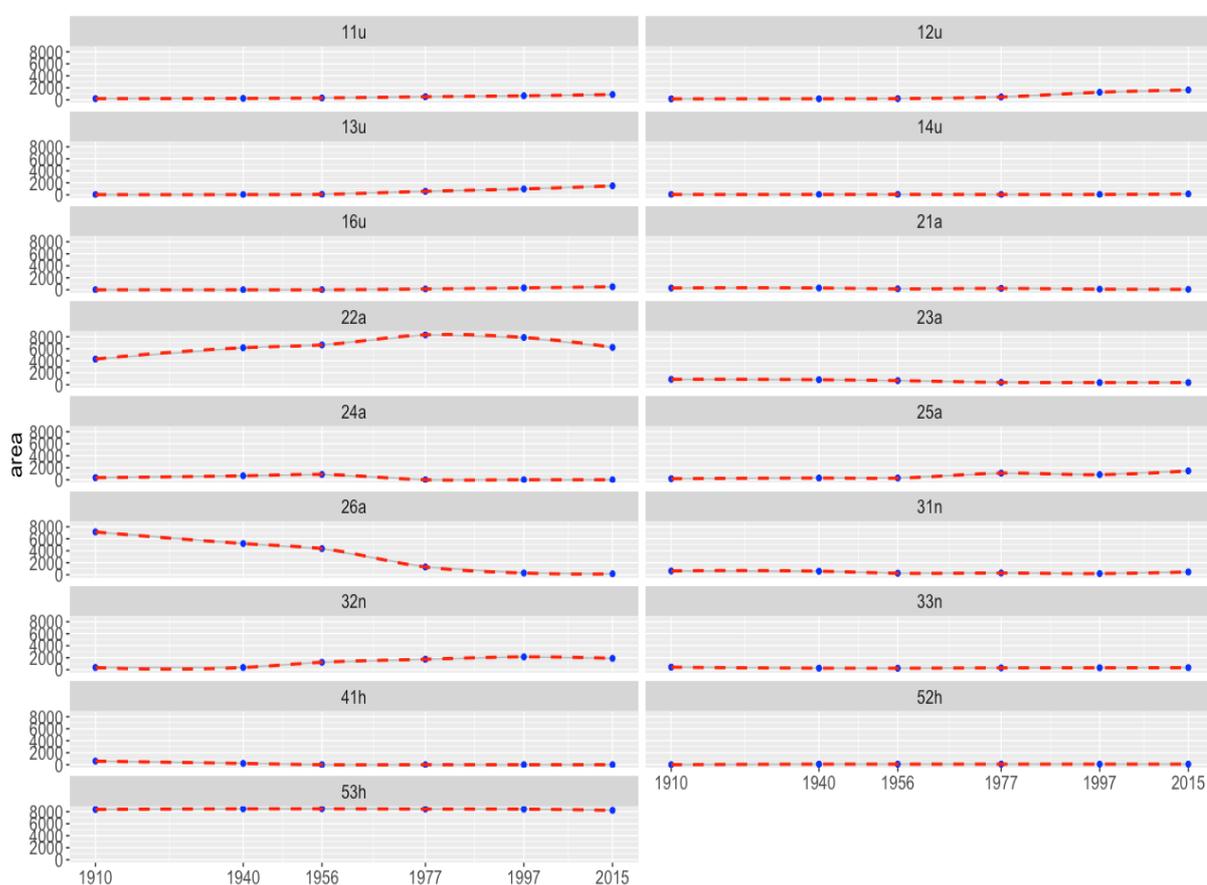


Figura 4.03. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje (1910, 1940, 1956, 1977, 1997 y 2015). Área de estudio A1.

Con los datos de la dinámica de cambio de los tipos de paisaje a lo largo de la serie temporal, se ha analizado la relación entre los distintos momentos de la serie obteniéndose una alta relación en todos ellos. Esta fortaleza de la relación, que significa una tendencia constante a ciertos patrones de cambio en los que dominan unos tipos de paisaje sobre otros

a lo largo del tiempo, se cuantifica con un χ^2 de 34304, un *p-value* de 2,20 E-16, un R^2 de 0,9735 y una significancia de 0,001 (Figura 4.05). Por ello, dada la alta relación se ha analizado el modelo de regresión polinómica que se explicita en la Figura 4.06 con la curva de ajuste y sus residuales para el último salto temporal (1997 a 2015).

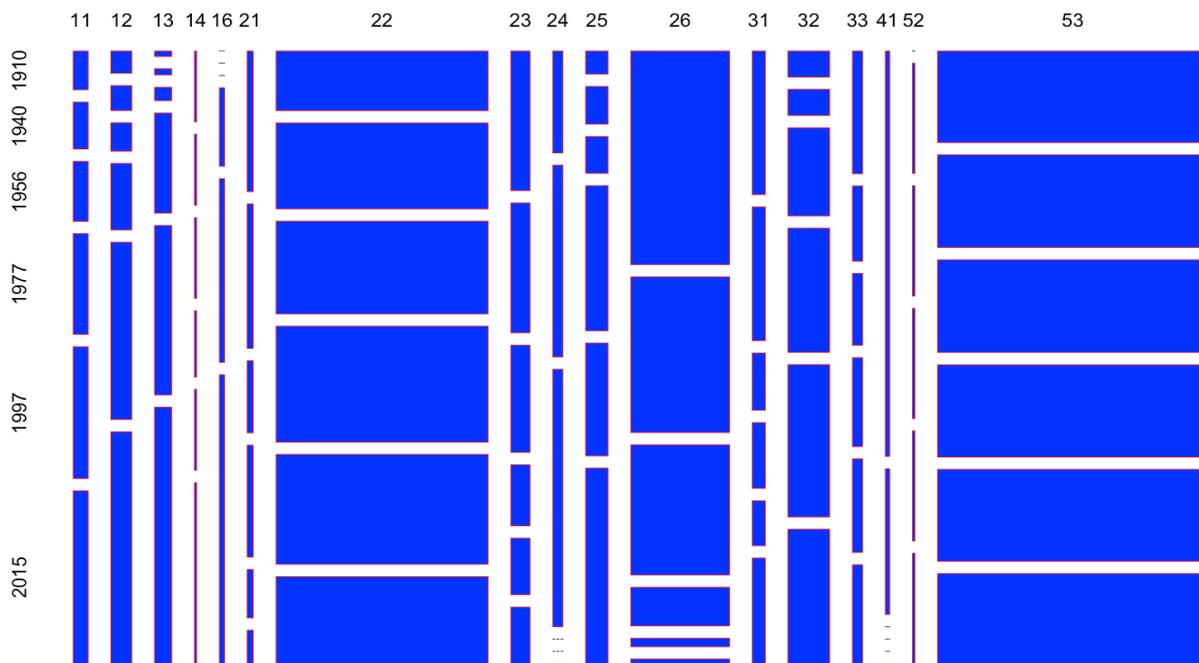


Figura 4.04. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje y su relación de proporciones en la serie temporal (1910, 1940, 1956, 1977, 1997 y 2015). Área de estudio A1.

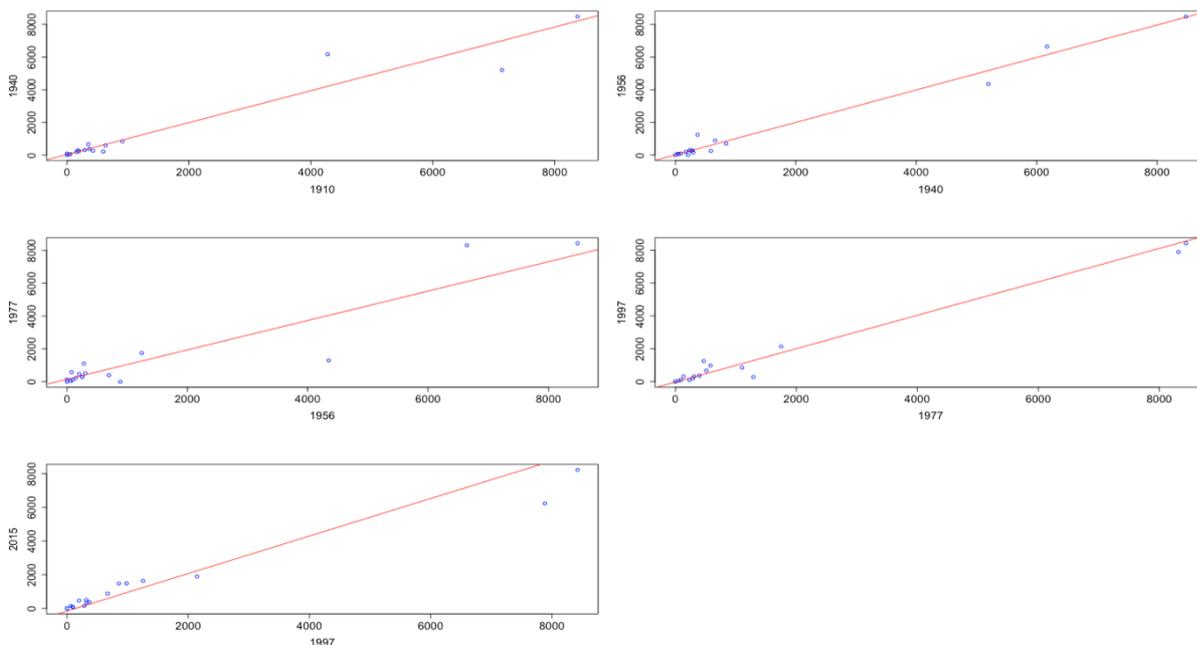


Figura 4.05. Gráfico de relación por pares y modelos de regresión lineal de cambio de cada tipo de paisaje (1910 a 2015). Área de estudio A1.

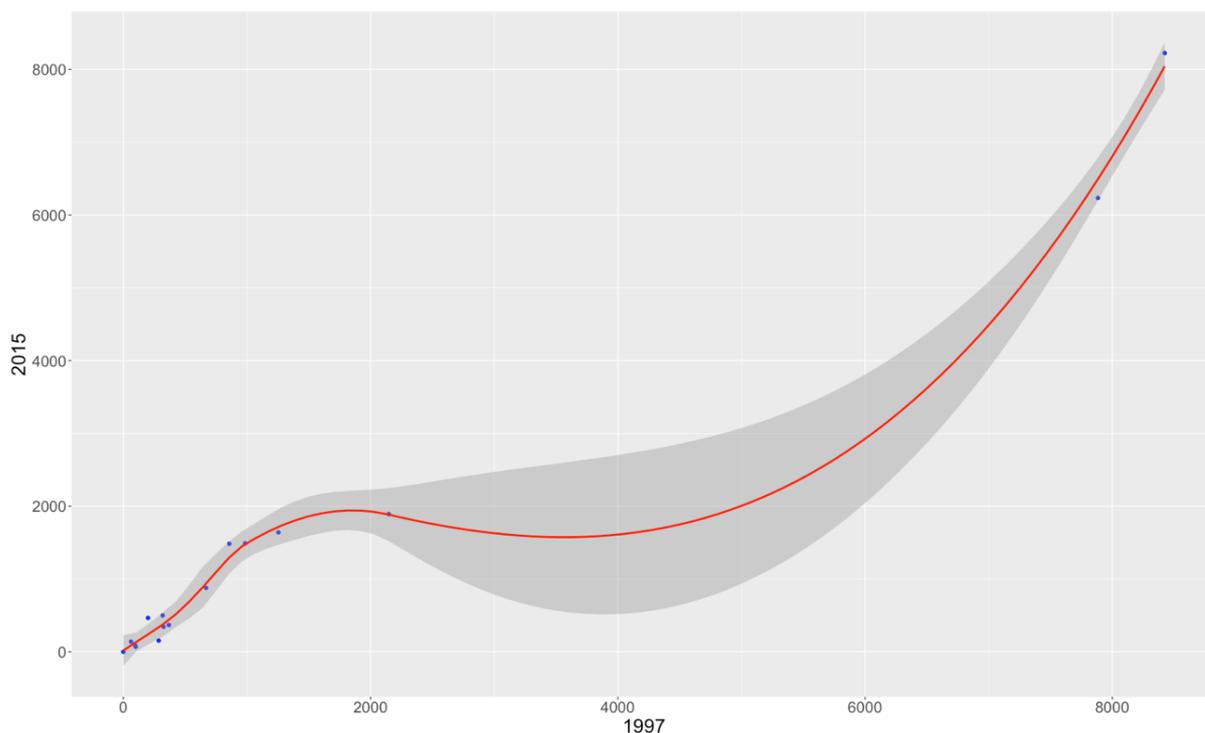


Figura 4.06. Gráfico del modelo de regresión polinómico (*loess*) de cambio de cada tipo de paisaje (1997 y 2015). Área de estudio A1.

Utilizando las teorías del aprendizaje estadístico, surgidas al calor del aprendizaje automático, y considerando que buscamos analizar la relación entre el tiempo y los cambios en los tipos de paisajes mediante la inferencia (James et al. 2017), utilizamos el método de análisis de componentes principales (PCA, *principal component analysis*) y en concreto mediante la extensión para el software R de análisis de correspondencia (pCA, *correspondence analysis*). Se ha realizado el análisis de correspondencia dado que estamos trabajando con un sistema de datos categóricos tanto en los tipos como en los años de la serie temporal. En la Figura 4.07 se cuantifican los componentes principales y el valor propio, con estos datos se utilizan sólo los 2 primeros componentes principales X1 con el 84,3% y X2 con el 10,2%, pues acumulan un alto porcentaje, el 94,5% de explicación del cambio en los tipos de paisaje.

En la figura 4.08 se presenta el agrupamiento de los cambios en los tipos de paisaje, así como la relación entre la dinámica de estos y el momento temporal principal en el cambio, todo ello según el análisis de correspondencia realizado (pCA). Con este análisis se explicita que la mayor contribución a la dinámica del paisaje corresponde al mosaico de arbolado en seco (A26). Como siguiente grupo de contribución al cambio son el urbano industrial y terciario (U13) y el urbano disperso (U12).

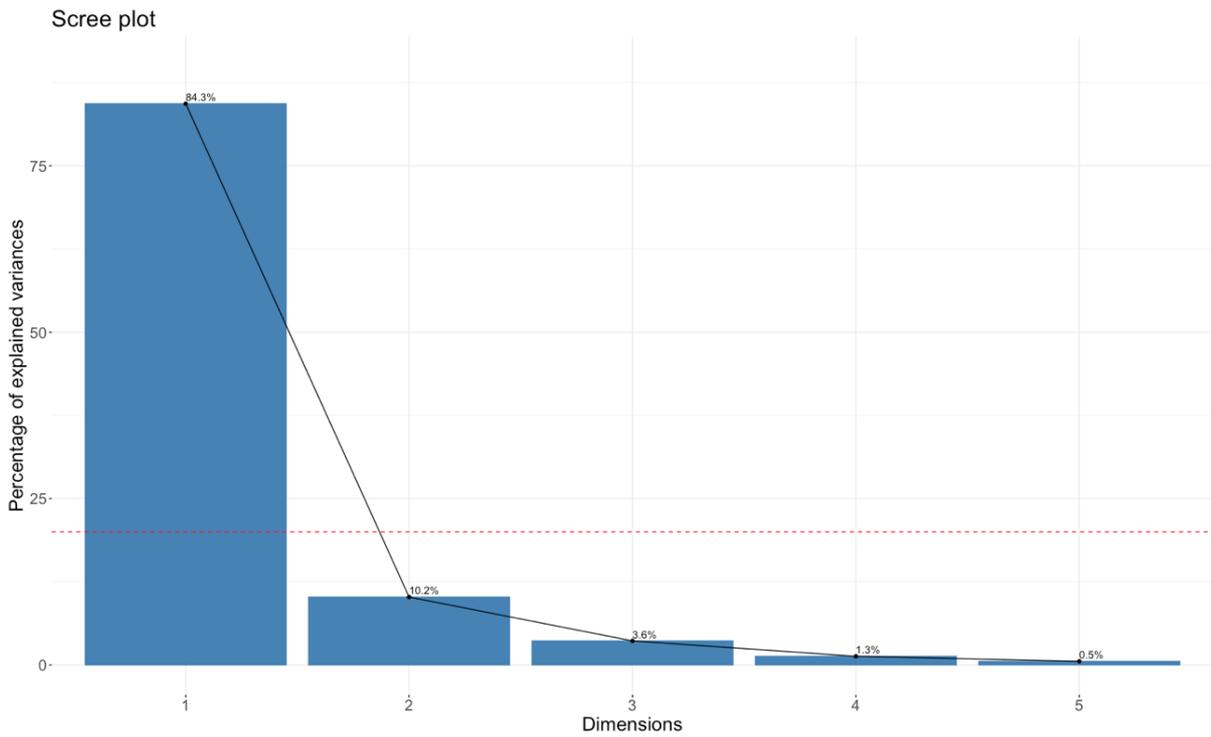


Figura 4.07. Componentes principales del cambio en los tipos de paisaje en la serie temporal (1910 a 2015). Área de estudio A1.

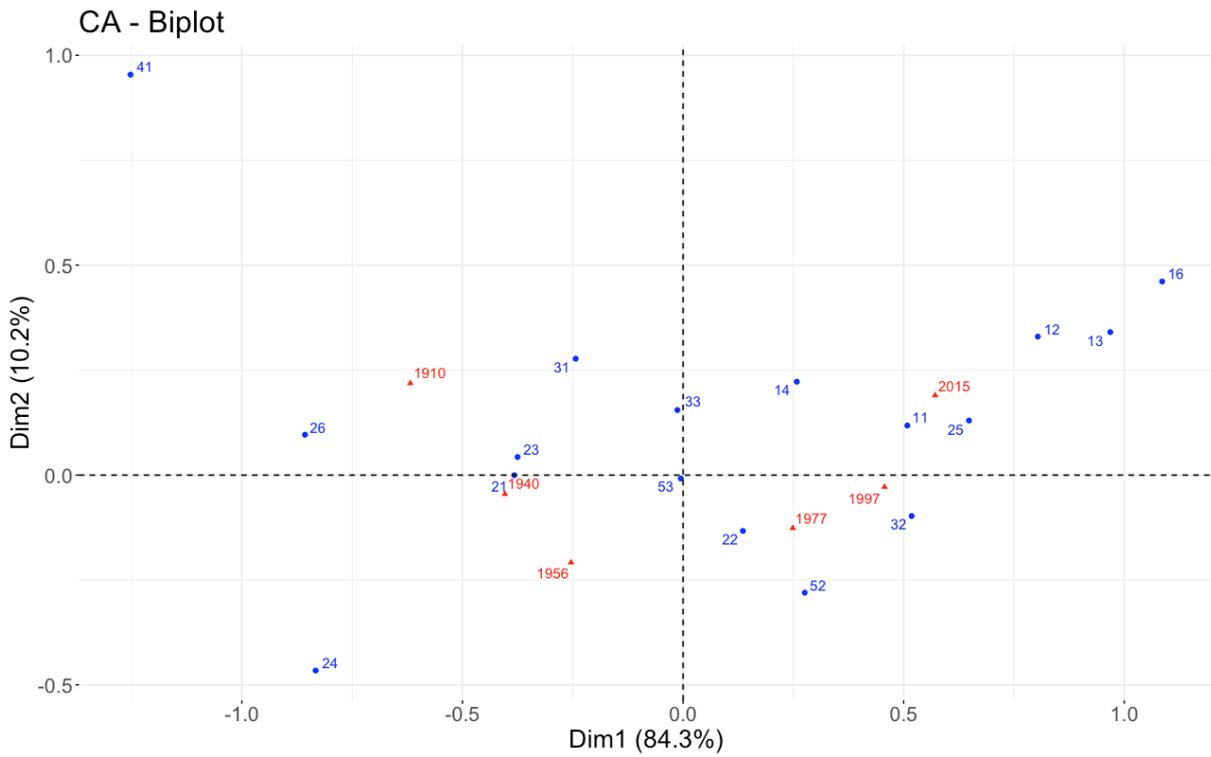


Figura 4.08. Análisis del agrupamiento de los tipos y los años de la serie temporal utilizando los componentes principales X1 y X2. Área de estudio A1.

Junto con el análisis cuantificado de las ratios de cambio y su estadística, también se ha calculado la variabilidad de los tipos de paisaje y el número de cambios que ha sufrido cada uno de ellos a lo largo de los últimos cien años (Figura 4.09). La mayoría de los cambios en los tipos de paisajes ocurren una única vez, pero también hay un número significativo de tipos que han cambiado dos veces y un número muy bajo que han cambiado tres y hasta cuatro veces.

variabilidad de los paisajes

sin cambios cambios

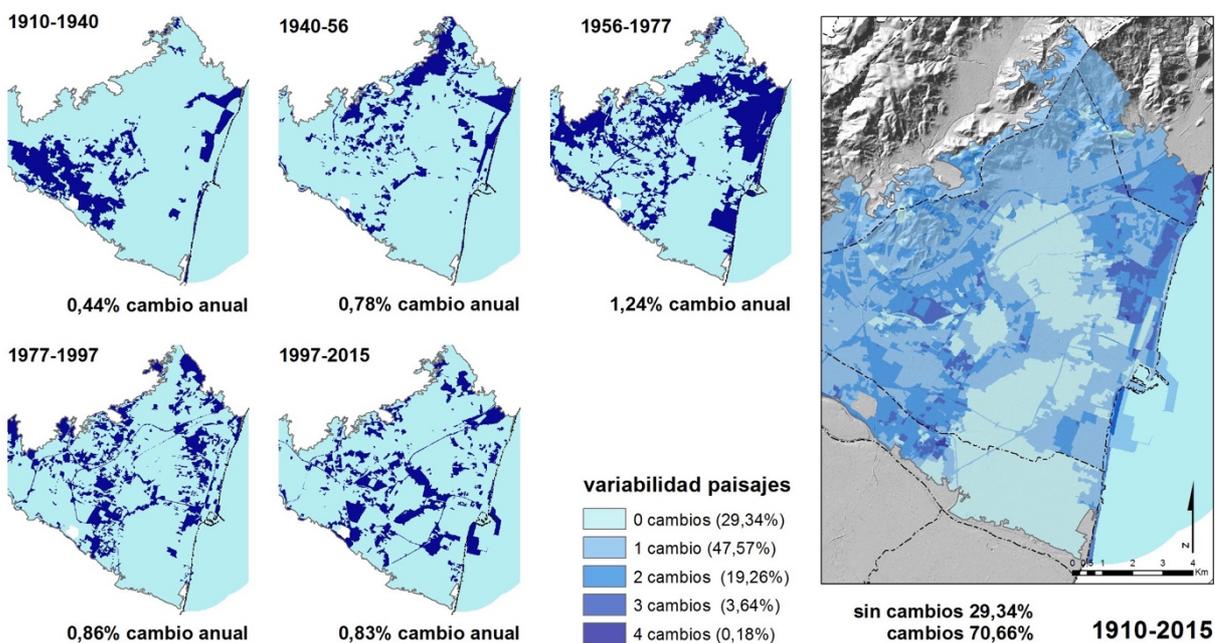


Figura 4.09. Mapa de variabilidad de las unidades de paisaje (1910-2015). Área de estudio A1.

Junto al análisis de la variabilidad, también se ha estudiado como los cambios afectan a la fragmentación de las unidades de paisaje (Tabla 4.03). Para obtener la fragmentación en el área de estudio A1, se calculan el número de manchas que constituyen los tipos de paisaje (NP), la suma del perímetro de las manchas de cada tipo de paisaje (TE) y la densidad de bordes (ED) como ratio de longitud de bordes entre la superficie de las manchas. Podemos observar en la evolución de las métricas de paisaje seleccionadas que la fragmentación de las unidades de paisaje se incrementa a lo largo del tiempo.

La fragmentación, también ilustrada en la figura 4.10, ha crecido desde el momento inicial de la serie temporal en 1910 con 125 manchas hasta su máximo en 1977 con 452 manchas, un incremento del 361 %. Desde entonces, la fragmentación ha decrecido al tener 358 manchas en 2015, con una reducción del 26%. El gran incremento, tanto en número de manchas como en la longitud de su perímetro y la reducción del tamaño de las manchas, ha

tenido lugar principalmente en los tipos de paisaje urbano disperso (U12), urbano industrial y terciario (U13), así como en el agrícola frutales cítricos de regadío (A22) y agrícola pastos (A26).

Tabla 4.03. Métricas de paisaje por tipo: número de manchas (NP), bordes totales (TE) en Km y densidad de bordes (ED) ratio de m/ha. Área de estudio A1.

Tipo	1910			1940			1956		
	NP	TE	ED	NP	TE	ED	NP	TE	ED
U11	3	14,30	0,60	3	15,70	0,66	8	24,57	1,03
U12	13	26,10	1,09	17	31,88	1,33	35	46,39	1,94
U13	6	10,76	0,45	8	12,18	0,51	15	19,60	0,82
U14	2	6,05	0,25	2	6,05	0,25	3	6,31	0,26
U16	0	-	-	0	-	-	0	-	-
A21	6	31,20	1,30	9	40,61	1,69	11	26,70	1,11
A22	14	114,99	4,80	29	214,74	8,96	26	241,09	10,06
A23	1	27,00	1,13	1	27,75	1,16	2	26,59	1,11
A24	2	10,91	0,46	3	18,63	0,78	2	22,73	0,95
A25	7	23,15	0,97	15	36,09	1,51	28	49,92	2,08
A26	23	211,67	8,83	60	289,57	12,08	69	342,13	14,27
N31	5	53,51	2,23	6	54,09	2,26	1	0,38	0,02
N32	16	36,63	1,53	10	34,40	1,44	45	167,99	7,01
N33	24	93,27	3,89	16	65,84	2,75	24	60,63	2,53
H41	2	24,37	1,02	2	18,45	0,77	0	-	-
H52	0	-	-	1	10,13	0,42	1	10,13	0,42
H53	1	52,10	2,17	1	52,01	2,17	1	52,87	2,21
Total	125	736		183	928		271	1,098	
Tipo	1977			1997			2015		
	NP	TE	ED	NP	TE	ED	NP	TE	ED
U11	26	52,18	2,18	19	56,05	2,34	15	65,22	2,72
U12	82	115,81	4,83	81	236,57	9,87	66	240,38	10,03
U13	57	86,81	3,62	43	102,99	4,30	31	130,39	5,44
U14	3	5,71	0,24	5	8,03	0,34	14	27,25	1,14
U16	4	47,57	1,98	8	115,50	4,82	1	172,71	7,21
A21	12	26,72	1,12	12	21,50	0,90	9	14,05	0,59
A22	32	327,35	13,66	55	360,01	15,02	70	341,78	14,26
A23	6	25,43	1,06	9	43,39	1,81	8	40,55	1,69
A24	0	-	-	0	-	-	0	-	-
A25	73	127,26	5,31	70	137,52	5,74	67	192,63	8,04
A26	83	201,00	8,39	40	64,22	2,68	25	33,84	1,41
N31	7	28,47	1,19	14	33,04	1,38	17	56,91	2,37
N32	46	202,12	8,43	28	173,70	7,25	21	155,76	6,50
N33	19	67,11	2,80	15	65,42	2,73	12	58,36	2,44
H41	0	-	-	0	-	-	0	-	-
H52	1	10,13	0,42	1	10,13	0,42	1	10,13	0,42
H53	1	53,15	2,22	1	53,96	2,25	1	60,10	2,51
Total	452	1,377		401	1,482		358	1,600	

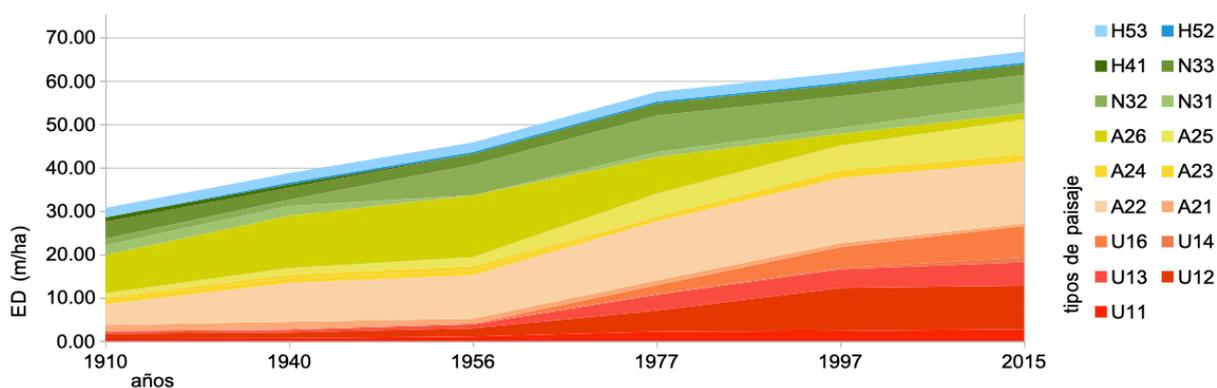


Figura 4.10. Fragmentación de tipos de paisaje: gráfico de variabilidad de densidad de bordes (ED), ratio m/ha, (1910-2015). Área de estudio A1

4.3. Área de estudio A2, área metropolitana de Valencia

Se ha realizado la parametrización y sistematización de los tipos de paisaje de la Llanura Central Valenciana, área metropolitana de Valencia, delimitados en todos los estadios (1990, 2000 y 2012) de la serie temporal, al igual que se realizó para el área de estudio A1. Una vez analizados y parametrizados los datos de partida, hemos obtenido las unidades de paisaje a escala supralocal tipo T3, en todas las etapas de la serie temporal, categorizadas por su tipo de paisajes, siguiendo los criterios de la LTP propuesta por Gómez (Gómez-Zotano et al. 2018). Se han identificado 11 tipos de paisaje, de los cuales 4 tienen un patrón urbano, 6 agrícola, 1 forestal y 2 de agua (Tabla 4.04).

Tabla 4.04. Tipos y patrones de paisajes para áreas periurbanas del litoral mediterráneo. Área de estudio A2.

Código	Tipo	Patrón de paisaje urbano
U11	Urbano denso en llanura	Edificación densa en ocupación de suelo y edificabilidad, alineación a vial público, en terrenos de llanura y costa
U12	Urbano disperso	Edificación dispersa con espacios libres urbanos o agrícolas, en terrenos de llanura, costa y piedemonte
U13	Urbano industrial y terciario en llanura	Edificación, instalaciones y dotaciones, en terrenos de llanura y costa
U14	Espacio libre urbano en llanura	Espacio libre urbano ajardinado, en terrenos de llanura y costa
Patrón de paisaje agrícola		
A21	Agrícola, mosaico de huerta regada	Mosaico agrícola de huertas de regadío, en terrenos de llanura
A22	Agrícola, frutales cítricos de regadío	Frutales cítricos de regadío, en terrenos de llanura y piedemonte
A24	Agrícola, arrozal en marjal	Arrozales, en terrenos de humedal costero con canales de drenaje
A26	Agrícola, mosaico de secano	Mosaico agrícola de cultivos herbáceos y arbustivos de secano, en terrenos de llanura y piedemonte.

Código	Tipo	Patrón de paisaje forestal y de agua
N30	Boscoso, coníferas con matorral en ladera	Bosque de coníferas, sotobosque y zonas de matorral, en ladera
N40	Marjal en humedal	Marjal, en antigua albufera colmatada
N50	Láminas de agua	Láminas de agua marina, continentales y lagunas

4.3.1. Unidades de paisaje y su dinámica

Al igual que en el área de estudio A1, las unidades de paisaje delimitadas, categorizadas por su tipo de paisaje y el momento de la serie temporal, permiten que su distribución facilite una primera aproximación visual a los modelos de asociación, cambio e incluso fragmentación paisajística. En el mapa siguiente (Figura 4.11), se representan las unidades de paisaje para cada momento temporal de la serie. Dado que las unidades de paisaje se categorizan según su tipo de paisaje, se presenta la comparación entre los tipos de paisaje de los años 1990, 2000 y 2012, apreciándose la importante transformación de los paisajes entre los momentos inicial y final de la serie temporal (ubicación de las tipologías, áreas ocupadas por cada tipo de paisaje, gran incremento de la fragmentación, entre otros).

Las diferencias habidas entre los momentos de la serie temporal difieren tanto en cantidad como en signo de acuerdo con su tipología, por ello se cuantifican y se calculan las ratios de cambio del paisaje (Tabla 4.05). Los tipos urbanos (U11, U12, U13 y U14) aumentan su superficie en todos los momentos de la serie temporal. Los tipos agrícolas de regadío tienen un comportamiento diferenciado, las huertas en regadío (A21) tienen un acusado descenso, mientras que los tipos de paisaje de cítricos (A22) aumentan constantemente. Los agrícolas de secano (A26) reducen su superficie, aunque con estabilización en el último intervalo. El tipo forestal (N30) aumenta a lo largo del tiempo. Por último, el tipo de paisaje de marjal en humedal (H40) reduce, también, su superficie a lo largo de tiempo (Figura 4.12).

Tabla 4.05. Tipos de paisaje por año (%) y ratio cambio por tipo. Área de estudio A2.

Tipo paisaje	1990	2000	Ratio 2000/1990	2012	Ratio 2012/97
U11	3,93%	4,03%	1,0	4,12%	1,0
U12	2,89%	3,76%	1,3	5,56%	1,5
U13	2,22%	3,66%	1,7	6,41%	1,7
U14	0,30%	0,41%	1,4	0,42%	1,0
A21	26,91%	23,17%	0,9	11,75%	0,5
A22	26,59%	28,65%	1,1	32,89%	1,1
A24	4,90%	4,93%	1,0	4,85%	1,0
A26	5,21%	4,51%	0,9	5,10%	1,1
N30	11,59%	11,33%	1,0	13,49%	1,2
N40	0,33%	0,31%	0,9	0,26%	0,8
N50	15,14%	15,01%	1,0	15,14%	1,0

tipos de paisaje

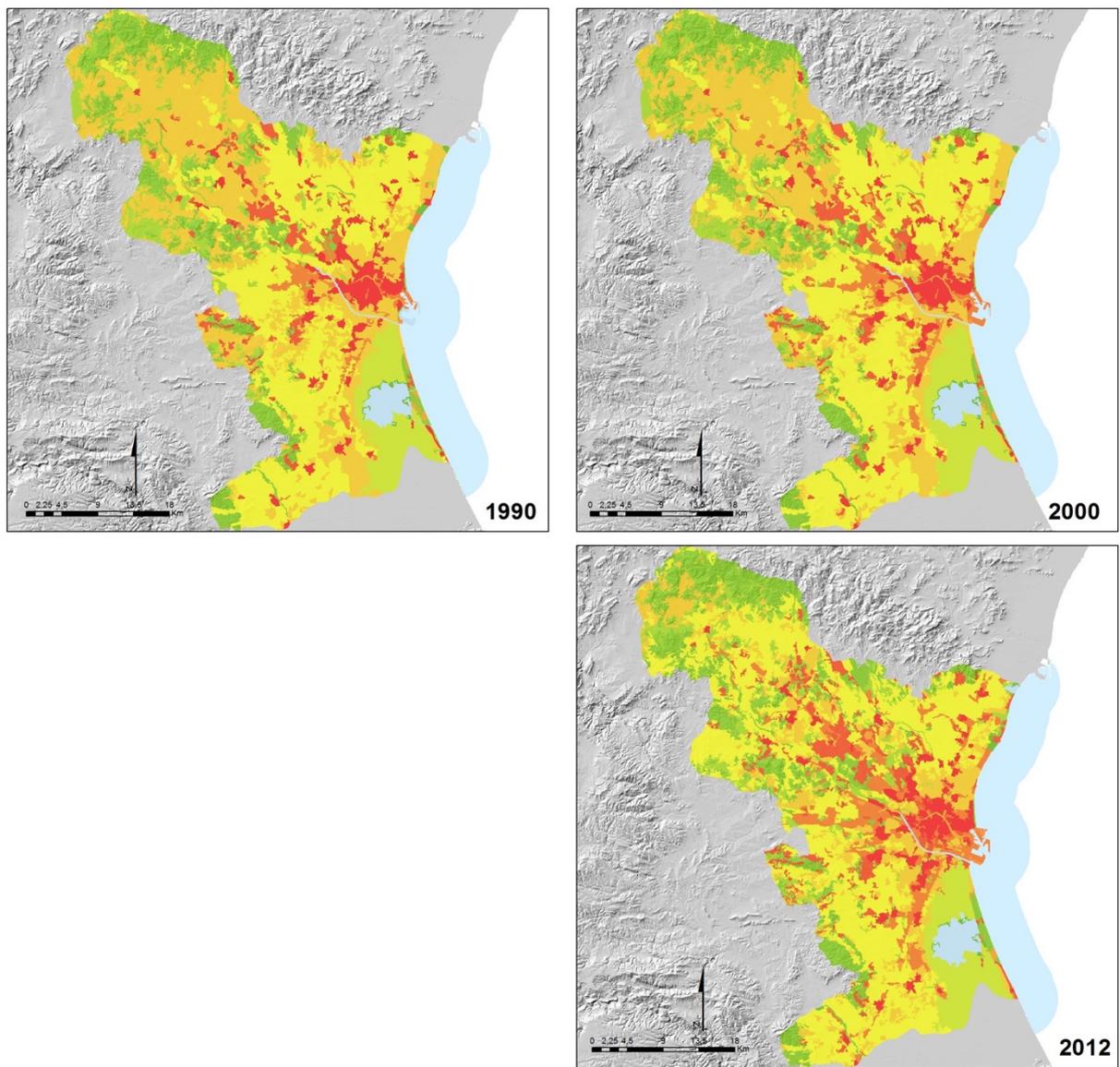


Figura 4.11. Mapa de cambio de los tipos de paisaje (1990-2012). Área de estudio A2.

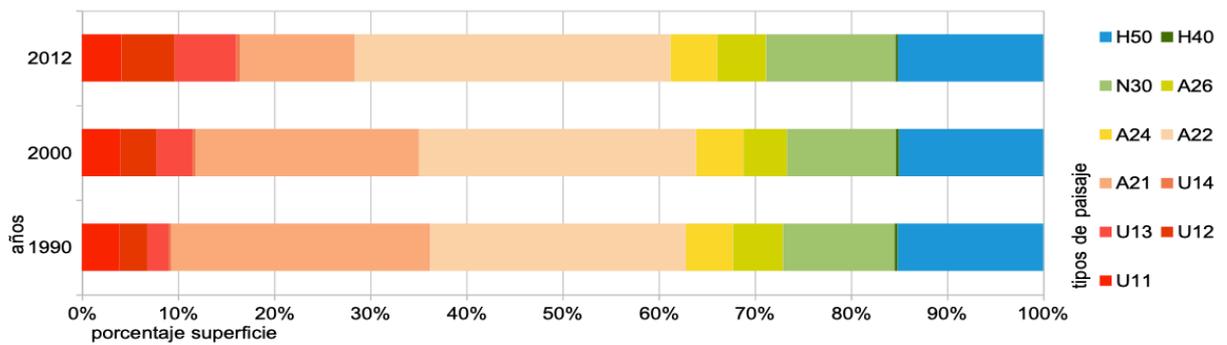


Figura 4.12. Gráfico de variabilidad de los tipos de paisaje, en porcentaje de superficie (1990, 2000 y 2012). Área de estudio A2.

Continuando con el análisis de las dinámicas de cambio en los paisajes a lo largo de los momentos de la serie temporal, se representa gráficamente la dinámica de los cambios en la superficie ocupada en el territorio para cada uno de los tipos de paisaje (Figura 4.13). En estos gráficos se evidencia individualmente, para cada tipo de paisaje, la dinámica que ha tenido a lo largo de toda la serie temporal. En los tipos urbanos, dentro de su crecimiento continuo, se da un mayor crecimiento de lo urbano disperso (U12) y del industrial y terciario en llanura (U13). En los tipos agrícolas el crecimiento durante la primera mitad de la serie del tipo agrícola frutales cítricos en regadío (A22) va seguido por su descenso continuado hasta el final de la serie; el descenso ligero del mosaico de arbolado en seco (A26) (Figura 4.14).

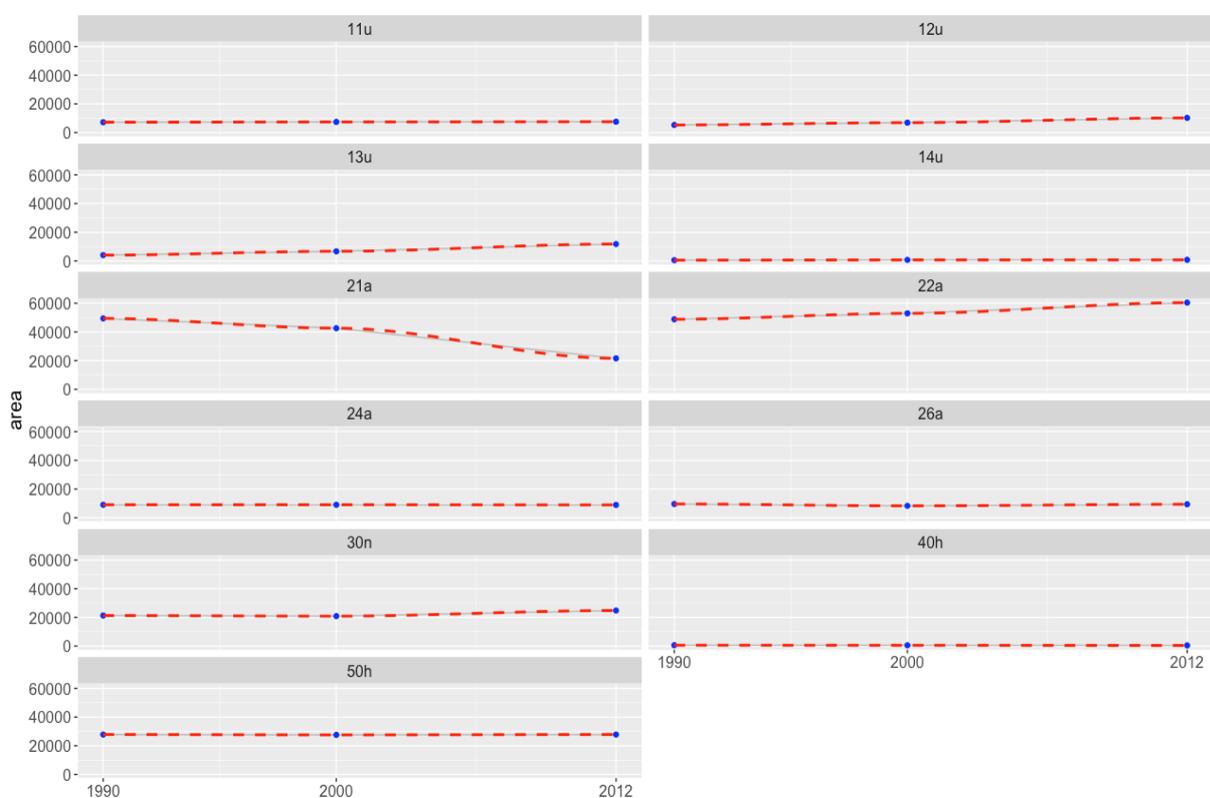


Figura 4.13. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje (1990, 2000 y 2012). Área de estudio A2.

Al igual que en el área de estudio A1, se ha analizado la relación entre los distintos momentos de la serie temporal, obteniéndose una alta relación en todos ellos, con un χ^2 de 18742, un *p-value* de 2,20 E-16, un R^2 de 0,8044 y una significancia de 0,001 (Figura 4.15). Por ello, se analiza el modelo de regresión polinómica que se explicita en la figura 4.16 con la curva de ajuste y sus residuales para el último salto temporal (2000 a 2012).

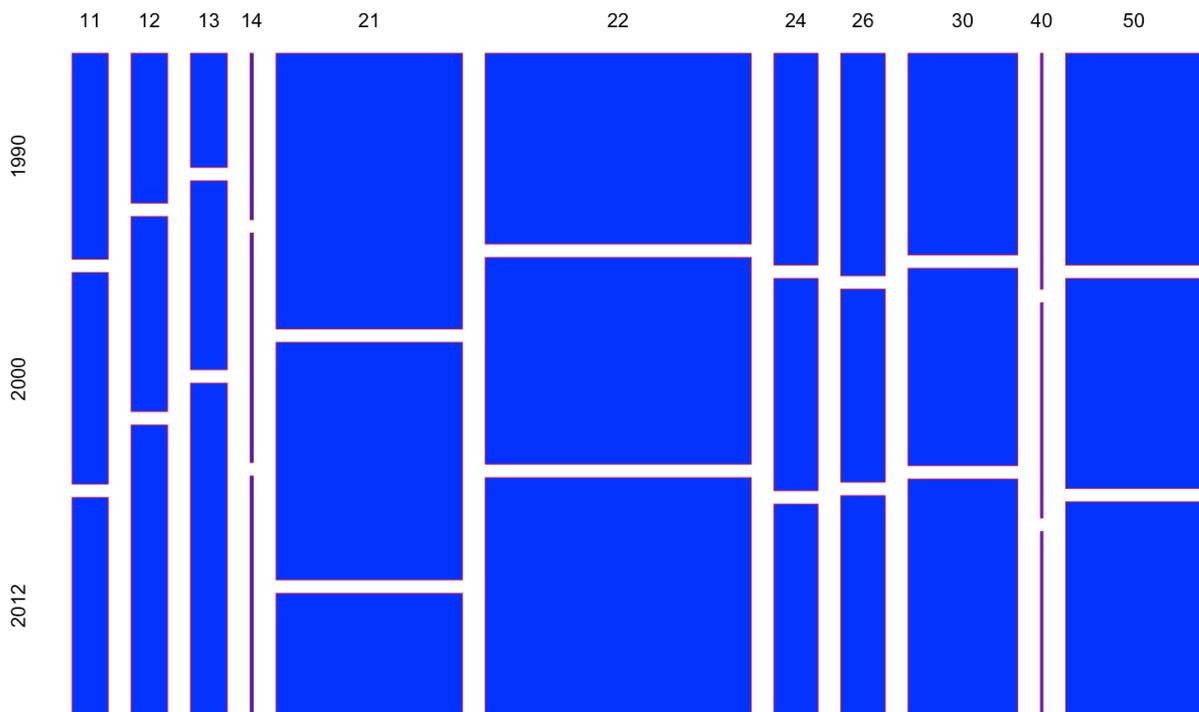


Figura 4.14. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje y su relación de proporciones en la serie temporal (1990, 2000 y 2012). Área de estudio A2.

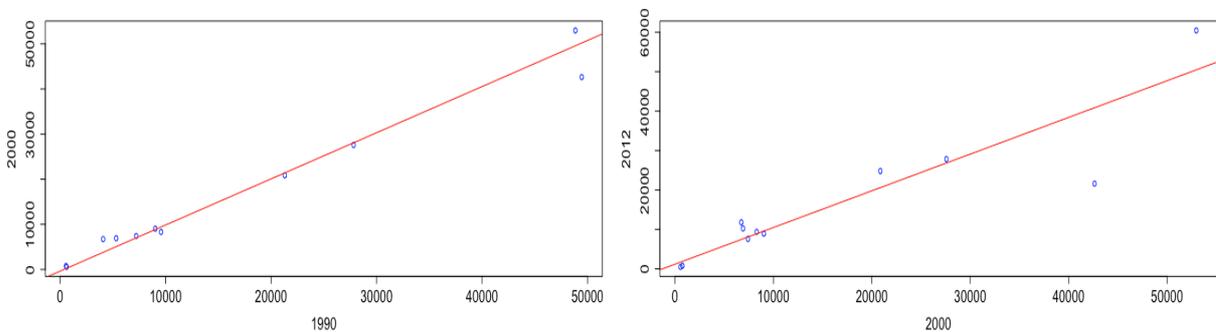


Figura 4.15. Gráfico de relación por pares y modelos de regresión lineal de cambio de cada tipo de paisaje (1990 a 2015). Área de estudio a2.

El análisis de pCA realizado con el software R (James et al. 2017) (Figura 4.17) muestra que los 2 primeros componentes principales X1 con un 98,8% y X2 con 1,2%, acumulan el 100% del porcentaje de explicación del cambio en los tipos de paisaje. Ello da evidencia de la fuerte dominancia que tienen algunos tipos de paisaje en el cambio ocurrido a lo largo del tiempo.

En la figura 4.18 se presenta el agrupamiento de los cambios en los tipos de paisaje, así como la relación entre la dinámica de estos y el momento temporal principal en el cambio. Se observa que la mayor contribución a la dinámica del paisaje corresponde a las huertas en

regadío (A21) y el tipo urbano industrial y terciario (U13). Como siguiente grupo de contribución al cambio son los tipos urbano disperso (U12) y agrícola frutales cítricos en regadío (A22).

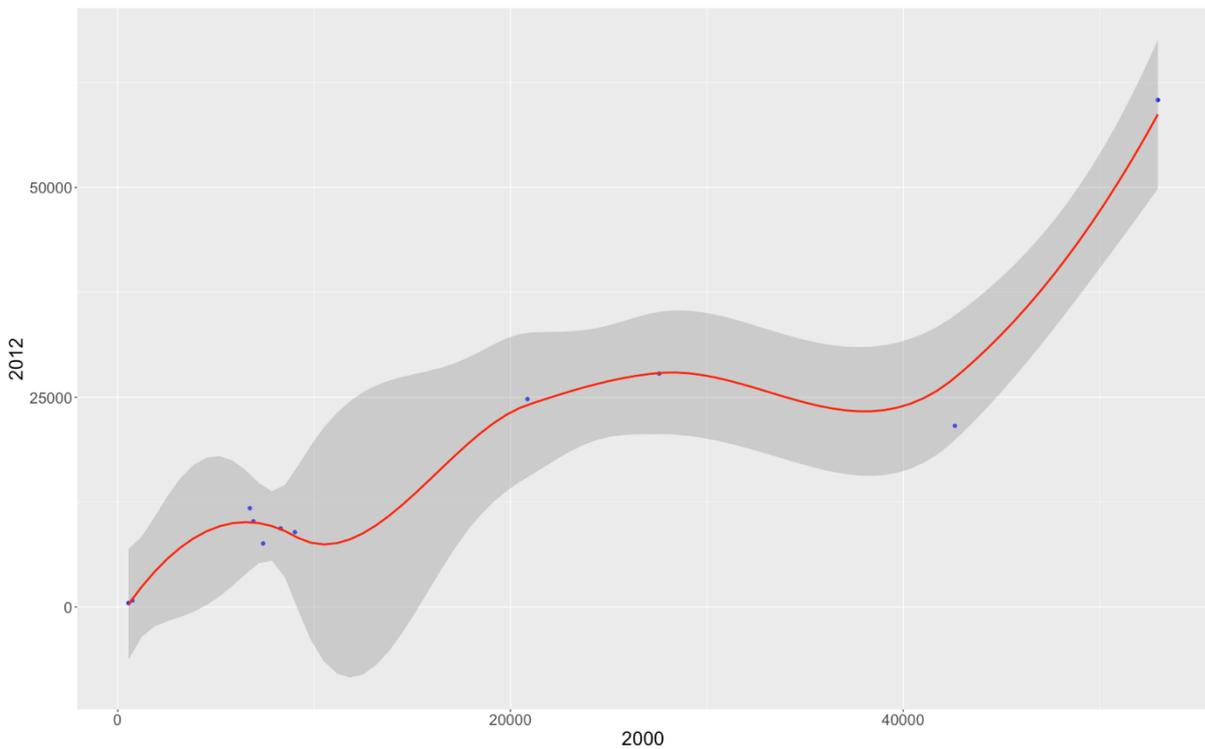


Figura 4.16. Gráfico del modelo de regresión polinómico (*loess*) de cambio de cada tipo de paisaje (2000 a 2012). Área de estudio A2.

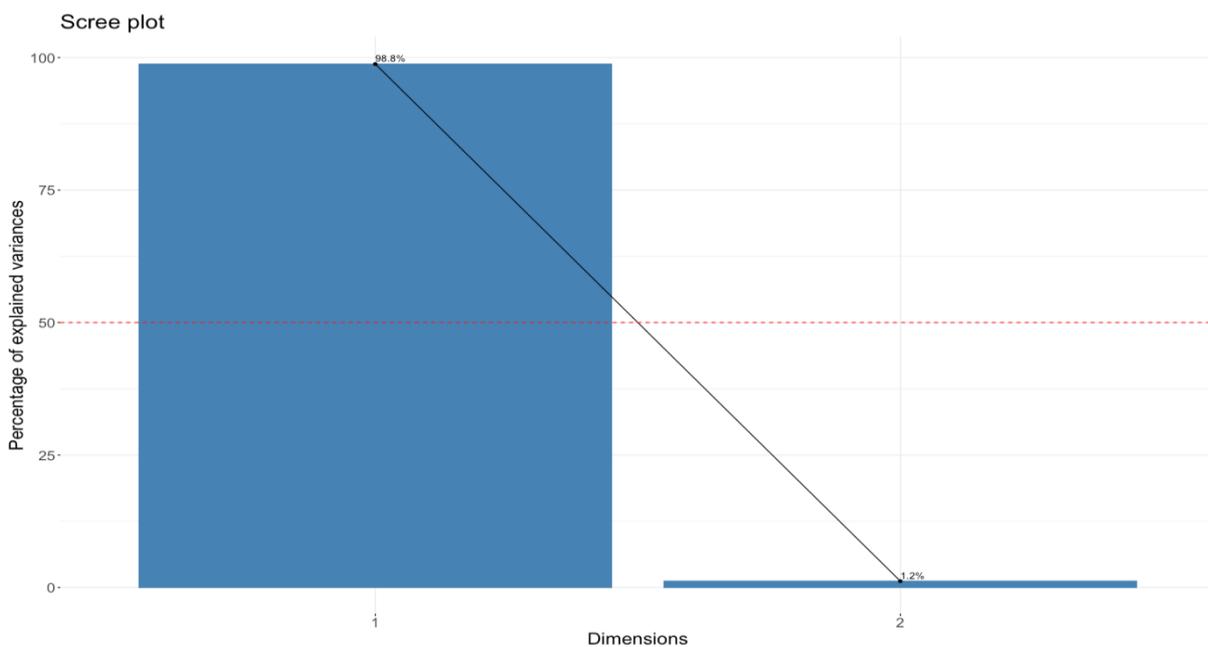


Figura 4.17. Componentes principales del cambio en los tipos de paisaje en la serie temporal (1990 a 2012). Área de estudio A2.

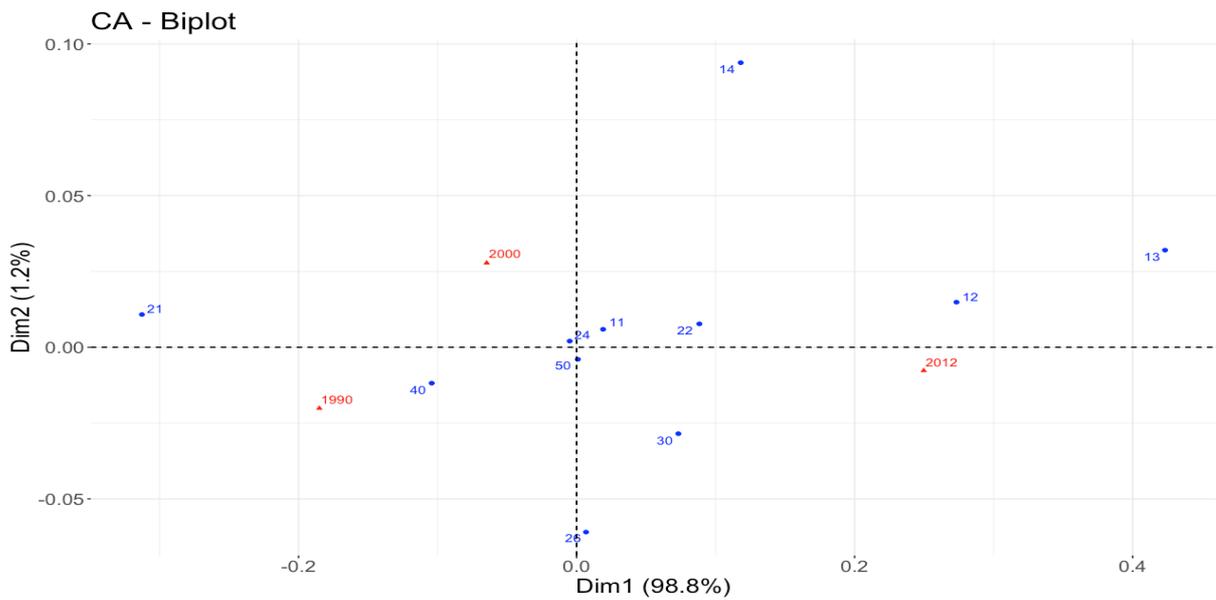


Figura 4.18. Análisis del agrupamiento de los tipos y los años de la serie temporal utilizando los componentes principales X1 y X2. Área de estudio A2.

Junto con el análisis cuantificado de las ratios de cambio, también se calcula la variabilidad de los tipos de paisaje y el número de cambios que ha sufrido cada uno de ellos a lo largo de los últimos veintidós años (Figura 4.19). Al igual que observábamos en el área de estudio A1, la mayoría de los cambios en los tipos de paisajes ocurren una única vez, pero hay un número significativo de tipos que han cambiado dos veces.

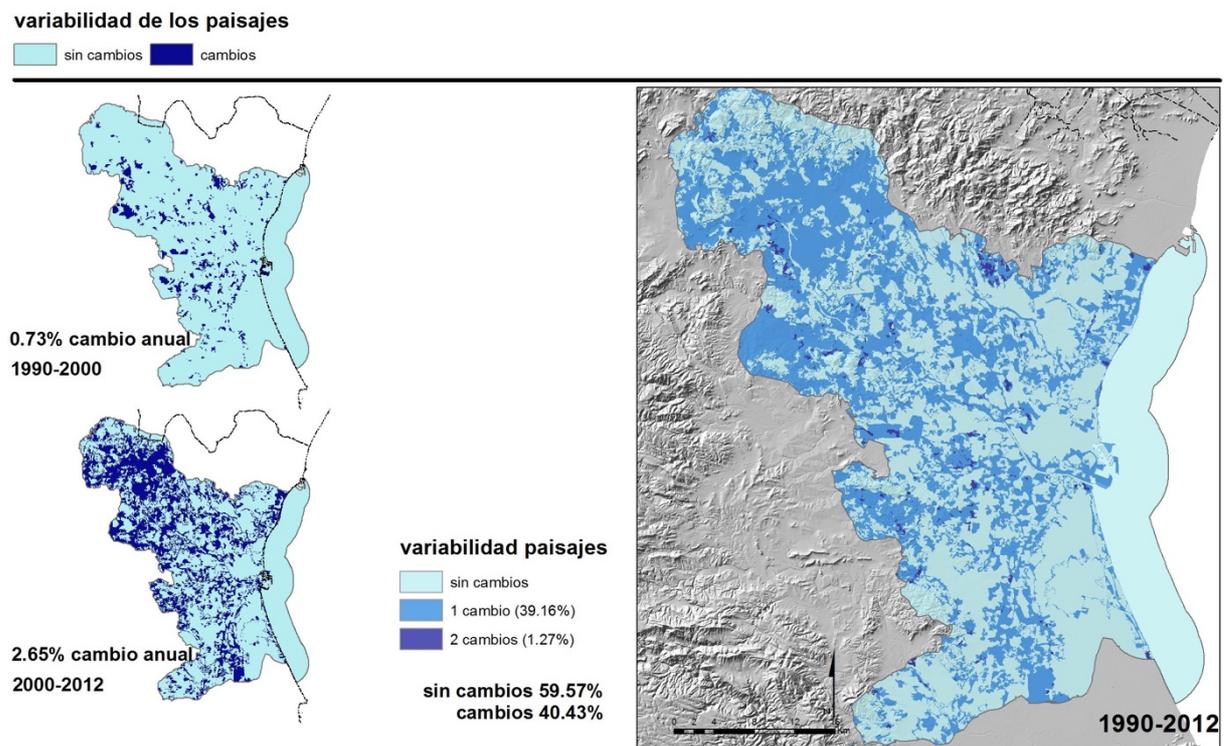


Figura 4.19. Mapa de variabilidad de las unidades de paisaje (1990-2012). Área de estudio A2.

Por medio del análisis de fragmentación de las unidades de paisaje (Tabla 4.06), podemos observar, según la evolución de las métricas de paisaje seleccionadas que la fragmentación de las unidades de paisaje se incrementa a lo largo del tiempo.

La fragmentación, ilustrada en la figura 4.20, ha crecido desde el momento inicial de la serie temporal en 1990 con 643 manchas hasta su máximo en 2012 con 978 manchas, un incremento del 52,10 %, siendo mayor la fragmentación ocurrida entre el año 2000 y el 2012, tanto en número como en la suma de la longitud de su perímetro y la reducción del tamaño de las manchas. Esta fragmentación tiene lugar principalmente en los tipos de paisaje urbano disperso (U12) y el tipo urbano industrial y terciario (U13) y en los tipos de paisaje agrícola huertas en regadío (A21), frutales cítricos de regadío (A22) y agrícola secanos (A26).

Tabla 4.06. Métricas de paisaje por tipo: número de manchas (NP), bordes totales (TE) en Km y densidad de bordes (ED) ratio de m/ha. Área de estudio A2.

Tipo	1990			2000			2012		
	NP	TE	ED	NP	TE	ED	NP	TE	ED
U11	50	372,11	2,03	54	372,60	2,03	47	445,79	2,43
U12	66	350,13	1,91	82	442,95	2,41	121	931,74	5,07
U13	43	274,97	1,50	79	476,09	2,59	98	846,72	4,61
U14	9	49,96	0,27	12	62,21	0,34	13	67,69	0,37
A21	130	2073,32	11,29	139	1934,56	10,53	201	1974,00	10,74
A22	73	1436,85	7,82	87	1485,45	8,08	165	3180,67	17,31
A24	2	133,51	0,73	3	125,59	0,68	2	144,37	0,79
A26	134	777,93	4,23	120	673,78	3,67	163	1187,79	6,47
N30	122	1272,52	6,93	120	1280,67	6,97	155	1916,76	10,43
N40	12	65,35	0,36	11	63,51	0,35	9	55,49	0,30
N50	2	207,44	1,13	2	214,62	1,17	4	217,26	1,18
Total	643	7014,07		709	7132,03		978	10968,29	

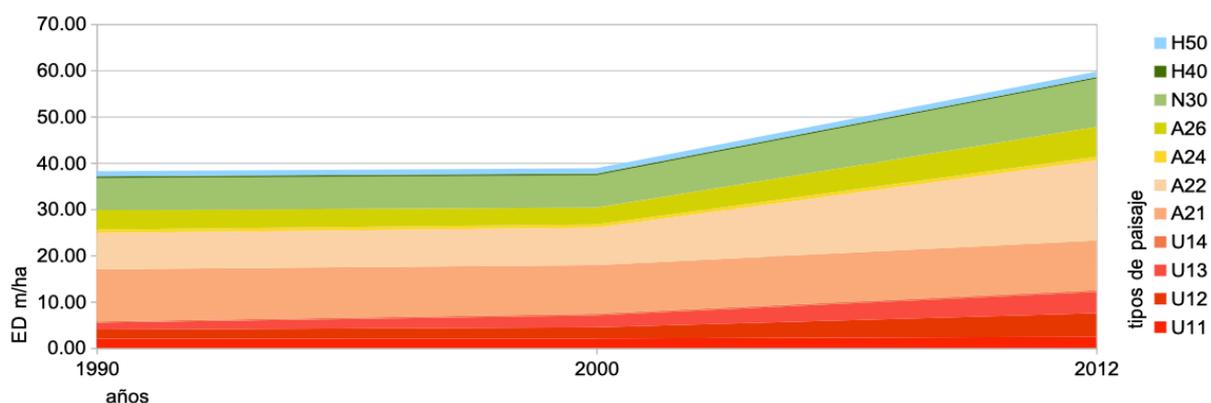


Figura 4.20. Fragmentación de tipos de paisaje: gráfico de variabilidad de densidad de bordes (ED), ratio m/ha, 1990-2012. Área de estudio A2.

C5. MODELIZACIÓN DE LAS TRANSFORMACIONES DEL PAISAJE

5.1. Modelización y tendencias de cambio mediante software

Tras la realización de la identificación y delimitación de las unidades de paisaje, así como su caracterización mediante los tipos de paisaje para cada momento de la serie temporal, se ha modelizado la dinámica del paisaje mediante el *software* Dinamica EGO (Centro de Sensoriamento Remoto (CSR/UFGM) 2018; Ferreira, Soares-Filho y Pereira 2019; Rodrigues y Soares-Filho 2018; Soares-Filho et al. 2009). Para ello se ha calibrado un modelo geoespacial de cambio de las unidades de paisaje delimitadas a lo largo del tiempo, con las variables espaciales relevantes que inducen al mismo (Camacho Olmedo, Mas y Paegelow 2018).

5.1.1. Dinamica EGO, cadena de Markov y autómatas celulares (CA)

El *software* de modelización espacial Dinamica EGO utiliza como base el concepto de proceso estocástico, en concreto el tipo de cadena de Markov como un proceso estocástico de primer orden y un número finito de estados, los momentos discretos de la serie temporal (Bell 1974; Paegelow y Camacho Olmedo 2008). Debido a que el software está diseñado para el desarrollo de modelos geoespaciales, incluidos los dinámicos, éste reajusta el espacio de cadena de Markov para que simule de forma más realista los cambios en los paisajes. Para ello, utiliza el parámetro de valor de saturación para mantener la forma asintótica de la curva de difusión (Soares-Filho, Coutinho-Cerqueirab y Lopes-Pennachinc 2002).

Junto con la cadena de Markov reajustada, el software utiliza los autómatas celulares (CA) como un conjunto espacial de celdas discreto y con un sistema de filtrado por vecindad, para simular los efectos de proximidad en la dinámica del paisaje. Tiene incorporados dos CA, que generan la expansión o contracción de los bordes de las unidades de paisaje (*expander*) y

proponen nuevas unidades mediante semillas con la máxima probabilidad de transición (*patcher*).

5.1.2. Variables espaciales estáticas y dinámicas

Como datos de entrada para el modelo de cambio, además, de las unidades caracterizadas por su tipo de paisaje, se necesitan las variables espaciales que inducen al cambio de los paisajes. Estas variables tienen una componente esencialmente espacial en su distribución y se dividen en dos tipos, según su naturaleza estática o dinámica (Soares-Filho, Coutinho-Cerqueira y Lopes-Pennachinc 2002).

Las primeras son variables que se calculan previamente, antes de usarse en el modelo de cambio. Estas variables espaciales estáticas se seleccionan de entre todas las posibles según su influencia en el cambio de los paisajes litorales del Mediterráneo occidental. Pueden cambiar su valor entre los diferentes momentos temporales de la serie, pero deben ser invariables durante las iteraciones del modelo. Las variables estáticas que se incorporan a la modelización y calibración de las transformaciones del paisaje en los espacios litorales (1910-2050, o 1990-2050 dependiendo del área de estudio), dado que se comprueba que influyen en el cambio, son las variables categóricas de la morfología, la litología, el planeamiento y los riesgos naturales, así como la distancia a las infraestructuras lineales y la distancia a los elementos de la hidrología.

Las segundas, variables espaciales dinámicas, se calculan previamente a cada nueva iteración del modelo. En nuestro modelo son las distancias de cada tipo de paisaje a cualquier otro tipo.

5.1.3. Calibración de la modelización

Para iniciar la calibración del modelo, es necesario que las variables espaciales sean categóricas o se categoricen en rangos su distribución. Para ello se utiliza la ponderación de las pruebas (WoE), calculando los rangos y los coeficientes de las variables respecto al conjunto de transiciones de los tipos de paisajes (Mas 2018).

Con las unidades de paisaje caracterizadas por su tipo de paisaje de dos momentos temporales contiguos y con las matrices de transición y las variables categorizadas con sus rangos y coeficientes se procede a calibrar el modelo, asignando a los CA valores de la media, la varianza y la isometría de cada transición de tipo de paisaje (Soares-Filho et al. 2009; Mas y Rodrigues 2018).

5.1.4. Evaluación de la calidad de la calibración

La calidad de la calibración del modelo se evalúa mediante la medición del grado de confianza en los resultados, para lo que se utilizan métodos de comparación de los mapas de resultados de las unidades de paisaje con el mapa de las unidades de paisaje realmente delimitadas en el momento correspondiente de la serie temporal. La evaluación se realiza mediante tres métodos matemáticos automáticos, y buscamos encontrar la similitud entre las estructuras de paisajes simuladas y las realmente observadas (Camacho Olmedo, Mas y Paegelow 2018). Los resultados de las calibraciones se ofrecen más abajo para cada una de las dos áreas de estudio analizadas.

5.2. Área de estudio A1, Castellón de la Plana

5.2.1. Transiciones

Se calculan las matrices de transición entre cada dos momentos temporales contiguos de la serie, momento inicial (más antiguo, t_1) y el momento final (más reciente, t_2). Obtenemos las matrices de transición por años (*multiple-step*), las únicas significativas para el modelo. Para el área de estudio A1 tenemos 5 matrices correspondientes a $M_{1910-1940}$, $M_{1940-1956}$, $M_{1956-1977}$, $M_{1977-1997}$, $M_{1997-2015}$. Estas matrices se transforman en una tabla que recoge las transiciones entre cada par de momentos de la serie temporal (Tabla 5.01).

Tabla 5.01. Datos de las matrices de transición de tipos de paisaje (*multiple-step*) $M_{t_1-t_2}$ entre los años 1910-40, 1940-56, 1956-77, 1977-97 y 1997-2015. Área de estudio A1.

De	Hasta	M1910-40	M1940-56	M1956-77	M1977-97	M1997-2015
U11	U12				2,16E-07	2,10E-07
U11	U13				2,32E-07	
U11	U14					7,01E-05
U11	A25				3,42E-07	
U12	U11	4,50E-03	1,11E-02	1,50E-02	2,70E-03	4,35E-04
U12	U13		1,15E-03	1,27E-03	4,55E-04	1,97E-04
U12	U16				1,17E-04	5,13E-04
U12	A22		8,84E-07			
U12	A23		3,99E-04			1,26E-07
U12	A25		8,84E-07	1,27E-03		3,27E-04
U12	N33		3,08E-04			
U13	U11					6,99E-04
U13	U12				8,61E-04	1,30E-04
U13	U16				1,67E-04	2,26E-04
U13	A22				9,74E-05	
U13	A25				1,01E-03	1,55E-04
U13	N32					2,14E-05

De	Hasta	M1910-40	M1940-56	M1956-77	M1977-97	M1997-2015
U13	N53	6,39E-04				
U14	U12			6,21E-03		
U14	U13		2,86E-06	3,89E-03		
U14	N32			6,97E-04		
U16	U13					1,32E-06
U16	A22				9,80E-07	
A21	U11	1,55E-03	4,22E-03	1,23E-03		
A21	U12		8,86E-05	4,70E-03	4,19E-02	2,25E-02
A21	U13		2,12E-04	3,37E-03		
A21	U16				3,96E-05	
A21	A22	6,75E-03	3,17E-02	1,50E-02	1,53E-02	
A21	A23			8,00E-07		
A21	A24		2,46E-03			
A21	A25	1,13E-04	1,14E-03	7,16E-03	2,77E-03	1,42E-02
A21	N33	1,11E-04	7,09E-04			
A21	N53		3,61E-04			
A22	U11	1,20E-05	7,39E-05	4,24E-04	3,05E-04	
A22	U12	5,96E-05	8,86E-05	4,54E-04	1,10E-03	5,41E-04
A22	U13		1,70E-05	1,15E-03	1,72E-03	8,42E-04
A22	U14				1,95E-05	
A22	U16			4,06E-04	8,87E-04	9,95E-04
A22	A21			5,00E-05		1,55E-04
A22	A23		8,67E-05		3,08E-04	3,48E-04
A22	A25	1,13E-04	2,48E-04	9,37E-04	2,46E-03	1,10E-02
A22	A26		3,72E-06	5,25E-06	3,86E-06	
A22	N32			1,71E-05		5,78E-05
A22	N33		8,20E-06	2,43E-05	2,05E-05	1,73E-05
A23	U11	2,53E-04	4,63E-04	6,07E-04		
A23	U12	3,04E-04	1,90E-04	1,63E-03	1,97E-02	6,20E-03
A23	U13			8,46E-03		
A23	U14		4,22E-05			
A23	U16				8,56E-04	6,44E-04
A23	A21		2,06E-03	1,13E-04		
A23	A22	1,80E-03	1,52E-03	8,25E-03	1,63E-03	5,84E-07
A23	A24	9,56E-08	5,69E-03			
A23	A25		1,10E-04	1,51E-03	2,46E-03	
A23	N33		1,75E-04	3,09E-04		
A23	N53	5,03E-04	1,33E-03	5,14E-07		
A24	U12		1,01E-03	6,10E-03		
A24	A21			9,23E-03		
A24	A22			1,41E-05		
A24	A23			3,18E-04		
A24	A25			3,14E-02		
A24	N33			5,87E-04		
A25	U11		3,80E-04	5,46E-03	4,03E-03	1,03E-02
A25	U12			1,84E-03	1,38E-02	1,02E-02
A25	U13				6,12E-03	1,01E-02
A25	U14				4,38E-04	3,06E-03
A25	U16				2,69E-04	1,18E-03
A25	A21				3,29E-03	
A25	A22				4,10E-03	7,10E-04

De	Hasta	M1910-40	M1940-56	M1956-77	M1977-97	M1997-2015
A25	A23				5,01E-03	
A25	A26		5,13E-03	6,19E-04		
A25	N32		2,74E-02	2,08E-03	4,75E-04	1,90E-03
A25	N33		2,87E-04	3,92E-03	5,01E-03	
A26	U11			4,21E-04		
A26	U12	1,33E-04	1,59E-04	9,12E-04	5,09E-03	1,26E-03
A26	U13	2,73E-05	2,51E-04	9,41E-04	7,97E-04	
A26	U16			8,58E-04	7,56E-04	1,60E-04
A26	A21	4,52E-04	2,19E-04			
A26	A22	9,81E-03	4,44E-03	2,17E-02	3,01E-02	6,83E-03
A26	A25	3,49E-04	8,92E-04	2,07E-03	2,00E-03	
A26	N31		1,06E-05	2,15E-04	9,45E-03	3,10E-03
A26	N32	1,40E-08	4,79E-03	6,28E-03	2,44E-02	2,25E-02
A26	N33		1,26E-04	3,45E-04	1,83E-03	1,41E-03
N31	U16					8,09E-04
N31	A25					1,40E-04
N31	A26	1,30E-03	2,15E-03			
N31	N32	1,28E-03	6,04E-02			
N32	U12			2,06E-04	7,76E-04	1,35E-03
N32	U13					1,57E-04
N32	U16			1,25E-05	2,99E-04	5,75E-05
N32	A22				2,46E-03	8,38E-04
N32	A25				4,08E-04	2,48E-04
N32	A26	2,23E-03	7,36E-05	6,60E-04	3,61E-04	
N32	N31			8,62E-03	4,13E-03	9,71E-03
N32	N33			3,66E-03	9,60E-04	1,31E-03
N33	U11					3,73E-04
N33	U12		9,81E-04	3,66E-03		3,87E-04
N33	U13		7,18E-04	3,10E-03	1,32E-03	
N33	U14			5,64E-04		2,11E-03
N33	U16			8,98E-05		
N33	A22	1,15E-04	2,00E-04	2,59E-04	3,85E-03	2,43E-03
N33	A23	1,10E-04				
N33	A25		3,89E-03	5,73E-03	3,08E-03	
N33	A26		2,34E-03			2,41E-04
N33	N32		7,47E-03	2,28E-03	2,07E-03	1,84E-03
N33	N52	4,06E-01				
N33	N53	1,11E-02	3,27E-03	8,63E-04	1,52E-03	
N41	U12		8,13E-04			
N41	U13		2,31E-03			
N41	U14		2,04E-03			
N41	A23	9,05E-04				
N41	A24	2,72E-02	4,35E-02			
N41	A25	3,70E-03	7,01E-03			
N41	N33	9,53E-04	6,84E-03			
N41	N53	9,07E-04				
N53	U12			6,13E-06		
N53	U13		2,95E-05	1,27E-04	6,78E-05	1,30E-03
N53	A25			3,37E-07		
N53	N33	1,47E-04	1,79E-04	1,31E-04	9,19E-05	4,75E-05

*E, notación científica correspondiente a $\times 10^{-n}$

5.2.2. Variables espaciales significativas

Se categorizan con una parametrización discreta las variables espaciales, para ello se calculan los rangos para cada una de las posibles transiciones de tipo de paisaje (especificadas en tabla 5.01). Con los rangos determinados se calculan los coeficientes de cada variable y rango para cada transición entre cada dos momentos temporales contiguos de la serie. Obtenemos la tabla de datos con cada transición de tipo de paisaje y la influencia de cada variable con su rango y coeficiente, únicamente las variables significativas para el modelo. Para el área de estudio A1 tenemos 14 variables estáticas significativas: altitudes, pendientes, orientaciones, litología, planeamiento, infraestructura verde, distancia a hidrología, distancia a infraestructura viaria principal y secundaria, distancia a infraestructura de riego, riesgo de erosión, riesgos y peligro de inundación y secciones censales socioeconómicas (Tabla 5.02).

Tabla 5.02. Extracto de rangos y coeficientes de las variables estáticas “peligro de inundación” y “planeamiento urbanístico” para la transición de tipo de paisaje agrícola (A22) a urbano (U12). El propio procedimiento WoE obtiene los coeficientes y evalúa su significancia. Área de estudio A1.

From*	To*	Variable*	Low.	Upp.	Poss.Tr.	Exec.Tr.	W_Coefficient	Contrast	Sign.
22	12	staticVar/plnun	5	6	83007	0	-21,1966	0,0000	0
22	12	staticVar/plnun	6	7	229308	14498	0,7807	1,7449	1
22	12	staticVar/plnun	7	8	245368	1847	-1,4052	-1,7981	1
22	12	staticVar/planea	1	2	0	0	0,0000	0,0000	0
22	12	staticVar/planea	2	3	35990	240	-1,4494	-1,4606	1
22	12	staticVar/planea	3	4	26	0	-14,4219	0,0000	0
22	12	staticVar/planea	4	5	14857	2281	1,8471	1,8748	1
22	12	staticVar/planea	5	6	27266	11560	3,2478	3,4204	1
22	12	staticVar/planea	6	7	1685938	16360	-1,0712	-1,9375	1

Para el área de estudio A1 tenemos el mismo número de variables dinámicas (distancias de un tipo de paisaje a otro tipo) que de tipos de paisaje. Al ser unas variables espaciales de tipo continuo, en el procedimiento de ponderación de las pruebas (WoE) se procede a categorizarlas mediante la generación de rangos significativos. En nuestro procedimiento se define que el rango menor sea de 10 m para los tipos de paisaje urbano y de 25 m para cualquier otro tipo excepto los de agua con 50 m (Tablas 5.03a y b).

Tabla 5.03a. Extracto de rangos y coeficientes de las variables dinámicas “distancia de tipo de paisaje agrícola (A22) a urbano (U12)”. Área de estudio A1.

Transition / Identifier	Categorical	Increment	Minimum Delta (# cells)	Maximum Delta (# cells)	Tolerance Angle (°)
22 -> 12					
distVar					
distance_to_11	<input type="checkbox"/>	10.0	1	500000	5.0
distance_to_12	<input type="checkbox"/>	10.0	1	500000	5.0
distance_to_13	<input type="checkbox"/>	10.0	1	500000	5.0
distance_to_14	<input type="checkbox"/>	25.0	1	500000	5.0
distance_to_16	<input type="checkbox"/>	25.0	1	500000	5.0
distance_to_21	<input type="checkbox"/>	25.0	1	500000	5.0
distance_to_23	<input type="checkbox"/>	25.0	1	500000	5.0
distance_to_25	<input type="checkbox"/>	25.0	1	500000	5.0
distance_to_26	<input type="checkbox"/>	25.0	1	500000	5.0
distance_to_31	<input type="checkbox"/>	25.0	1	500000	5.0
distance_to_32	<input type="checkbox"/>	25.0	1	500000	5.0
distance_to_33	<input type="checkbox"/>	25.0	1	500000	5.0
distance_to_52	<input type="checkbox"/>	50.0	1	500000	5.0
distance_to_53	<input type="checkbox"/>	50.0	1	500000	5.0
staticVar					
asp05	<input checked="" type="checkbox"/>				
dstHd07	<input checked="" type="checkbox"/>				

Tabla 5.03b. Extracto de rangos y coeficientes de las variables dinámicas “distancia de tipo de paisaje agrícola (A22) a urbano (U12)”. El propio procedimiento WoE obtiene los rangos de distancia, los coeficientes y evalúa su significancia. Área de estudio A1.

From*	To*	Variable*	Low.	Upp.	Poss.Tr.	Exec.Tr.	W_Coefficient	Contrast	Sign.
22	12	distVar/distance_to_13	1110	1470	378596	4072	-0,9673	-1,0725	1
22	12	distVar/distance_to_13	1470	1480	8977	0	-20,2663	0,0000	0
22	12	distVar/distance_to_13	1480	1710	166075	393	-2,4897	-2,5537	1
22	12	distVar/distance_to_13	1710	3760	500389	22	-6,4778	-6,7043	1
22	12	distVar/distance_to_13	3760	4710	15508	0	-20,8130	0,0000	0
22	12	distVar/distance_to_14	0	25	49	49	18,6099	0,0000	0
22	12	distVar/distance_to_14	25	600	2390	2368	8,2330	8,2672	1
22	12	distVar/distance_to_14	600	2350	512478	47426	1,2713	2,1782	1
22	12	distVar/distance_to_14	2350	2375	14124	950	0,9247	0,9329	1
22	12	distVar/distance_to_14	2375	2400	13859	698	0,6175	0,6221	1

5.2.3. Calibración del modelo

Con el modelo programado incluyendo como datos de entrada los ficheros ráster de las unidades de paisaje iniciales, la matriz de transición múltiple (*multiple-step*) y las variables espaciales significativas con sus rangos y coeficientes, se procede a realizar las primeras calibraciones. El modelo, en estos estadios iniciales de la calibración, se realiza de forma simplificada incorporando únicamente el autómata CA, *patcher*. Para ello, se utiliza un modelo con unidades de paisaje agregadas caracterizadas por únicamente 5 tipos de paisaje (urbano

U1, agrícola A2, forestal N3, agrícola pastos A4, y agua N5) y para el periodo de 1977 a 1997 de la serie temporal.

En esta primera calibración se incorporan como parámetros de transición una media y una varianza de 0,0001 ha; y una isometría de 1, para los polígonos simulados de cambio de tipo de paisaje (Tabla 5.04, Figura 5.01).

Tabla 5.04. Datos de las matrices de transición y calibración de tipos de paisaje (*multiple-step*) $M_{t_0-t_1}$ entre los años 1977-97, tipos simplificados. Área de estudio A1.

De	Hasta	Transición	Media (ha)	Varianza (ha)	Isometría	modulación
U1	A2	7,90E-004	0,000100	0,000100	1	100/0
U1	A4	4,70E-003	0,000100	0,000100	1	100/0
A2	U1	1,05E-001	0,000100	0,000100	1	100/0
A2	N3	4,68E-002	0,000100	0,000100	1	100/0
A2	A4	3,04E-002	0,000100	0,000100	1	100/0
N3	U1	1,95E-002	0,000100	0,000100	1	100/0
N3	A2	4,41E-002	0,000100	0,000100	1	100/0
N3	A4	1,02E-002	0,000100	0,000100	1	100/0
N3	N5	3,60E-003	0,000100	0,000100	1	100/0
A4	U1	3,80E-001	0,000100	0,000100	1	100/0
A4	A2	1,44E-001	0,000100	0,000100	1	100/0
A4	N3	1,14E-002	0,000100	0,000100	1	100/0
N5	U1	1,33E-003	0,000100	0,000100	1	100/0
N5	N3	1,64E-003	0,000100	0,000100	1	100/0

*E, notación científica correspondiente a $\times 10^{-n}$

tipos de paisaje

U1 A2 N3 A4 N5

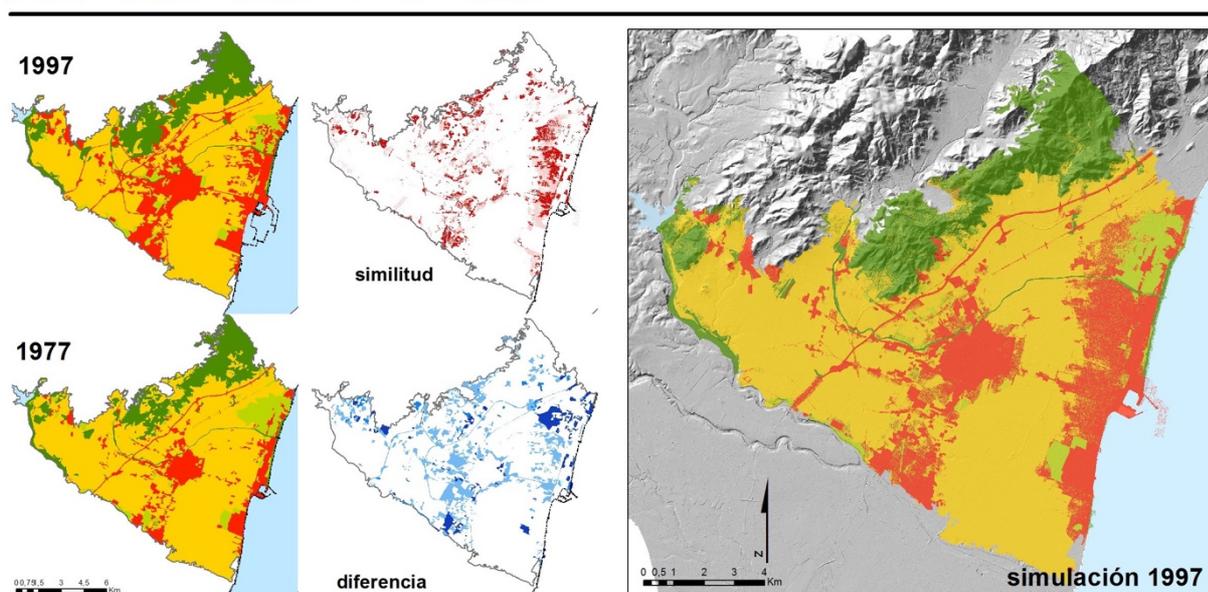


Figura 5.01. Mapas unidades de paisaje simplificadas de 1977 y 1997, diferencia y similitud entre 1977 y simulación 1997. Unidades de paisaje simuladas en 1997, tipos simplificados (5). Área de estudio A1.

En las siguientes calibraciones, también para el periodo de 1977 a 1997 de la serie temporal se incorporan los 17 tipos de paisajes (Tabla 4.01), manteniendo la media y la varianza de 0,0001 ha, pero ajustando la isometría en salto de 0,1 hasta dar con el valor de 1,6 que representa la forma ligeramente alargada de los polígonos de cambio de las unidades de paisaje. El modelo programado, en esta fase de la calibración, continúa realizándose de forma simplificada al incorporar únicamente el autómata CA, *patcher*. Con estos datos evaluamos la calidad de la calibración utilizando los métodos de similitud de las diferencias (simple y multi-píxeles) (Tabla 5.05, Figura 5.02). Estas calibraciones generan todas ellas una nube de puntos que, aunque nos aproximan la ubicación de las transiciones de tipo de paisaje, no nos permiten generar polígonos que se asemejen a las unidades de paisaje. Con estas calibraciones iniciales hemos realizado una aproximación de calidad al modelo, un aprendizaje, que nos permite pasar al último salto de la serie temporal para realizar las calibraciones más finas.

tipos de paisaje

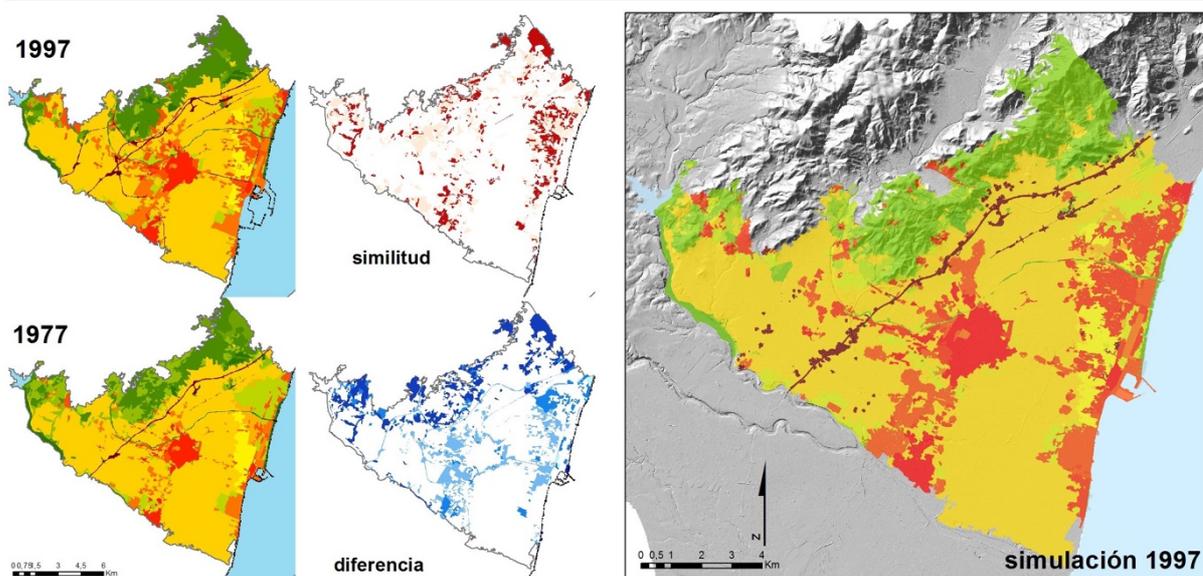


Figura 5.02. Mapas unidades de paisaje completas de 1977 y 1997, diferencia y similitud entre 1977 y simulación 1997. Unidades de paisaje simuladas en 1997, tipos completos (17). Área de estudio A1.

Tabla 5.05. Datos de la evaluación de la calibración modelo transición $M_{t_0-t_1}$ entre los años 1977-97, tipos completos. Variación de la isometría. En negrita valores significativos a comparar. Área de estudio A1.

	M1977-97 (isometría: 1,6)		M1977-97 (isometría: 1,4)	
Simple	2 media	1 media	2 media	1 media
	0,527927	0,586234	0,519454	0,678266

Multi-píxeles	M1977-97 (isometría: 1,6)		M1977-97 (isometría: 1,4)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
1	0,503553	0,535883	0,482620	0,504130
3	0,515927	0,573708	0,494104	0,693610
5	0,528525	0,595835	0,505577	0,733784
7	0,541117	0,614917	0,516850	0,756670
9	0,553297	0,631932	0,527894	0,772952
11	0,564901	0,647009	0,538692	0,785663
13	0,575973	0,660399	0,549300	0,796038
15	0,586784	0,672686	0,559708	0,804987
17	0,597297	0,684100	0,569887	0,812974
19	0,607555	0,694768	0,579946	0,820208
21	0,617579	0,704783	0,589707	0,826751
23	0,627186	0,714125	0,599188	0,832740
25	0,636404	0,722866	0,608284	0,838166

A partir de estas calibraciones más ajustadas que ya nos dan unas aproximaciones superiores al 52% para la similitud de las diferencias simple y del 53% para 11 píxeles de ventana de similitud de las diferencias multi-píxeles, procedemos a ajustar las calibraciones para el periodo de 1997 a 2015 de la serie temporal. Para ello se realizan dos mejoras en el modelo de cambio del paisaje. La primera es la incorporación del segundo autómata CA, *expander*; la segunda es el cálculo estadístico de las diferencias entre el estado inicial (t_{1997}) y el final (t_{2015}) mediante el álgebra de mapas empleando la función de *Landscape metrics* en Dinamica EGO. De este cálculo estadístico obtenemos una media y una varianza para cada una de las transiciones de tipo de paisaje, que previamente divididas entre el número de años del salto temporal incorporamos al cálculo. Además, se ajusta la modulación del cambio entre los dos autómatas CA, *expander* y *patcher*, mediante la matriz de modulación para darle un porcentaje de este a cada uno de ellos (Tabla 5.06).

Tabla 5.06. Datos de entrada de la calibración final: matriz de transición ($M_{1997-2015}$) y calibración de tipos de paisaje (*multiple-step*) $M_{t_1-t_2}$ entre los años 1997-2015. Área de estudio A1.

De	Hasta	M1997-2015	Media (ha)	Varianza (ha)	Isometría	modulación
U11	U12	2,10E-07	0,000139	0,000000	1,6	95/5
U11	U14	7,01E-05	0,023472	0,009800	1,6	85/15
U12	U11	4,35E-04	0,081369	0,167703	1,6	65/35
U12	U13	1,97E-04	0,067639	0,057006	1,6	65/35
U12	U16	5,13E-04	0,071080	0,094083	1,6/2,0	65/35
U12	A23	1,26E-07	0,000139	0,000000	1,6	65/35
U12	A25	3,27E-04	0,059833	0,114149	1,6	65/35
U13	U11	6,99E-04	0,172917	0,512715	1,6	65/35
U13	U12	1,30E-04	0,045463	0,001460	1,6	65/35
U13	U16	2,26E-04	0,074074	0,013173	1,6/2,0	65/35
U13	A25	1,55E-04	0,055833	0,013889	1,6	65/35

De	Hasta	M1997-2015	Media (ha)	Varianza (ha)	Isometría	modulación
U13	N32	2,14E-05	0,020417	0,000000	1,6	65/35
U16	U13	1,32E-06	0,000139	0,000000	1,6	65/35
A21	U12	2,25E-02	0,197207	0,412958	1,6	65/35
A21	A25	1,42E-02	0,155639	0,151648	1,6	65/35
A22	U12	5,41E-04	0,199926	3,669234	1,6	65/35
A22	U13	8,42E-04	0,303143	4,954565	1,6	70/30
A22	U16	9,95E-04	0,215004	4,280084	1,6/2,0	65/35
A22	A21	1,55E-04	0,204583	1,064093	1,6	65/35
A22	A23	3,48E-04	2,305278	0,000000	1,6	95/5
A22	A25	1,10E-02	1,088515	39,020214	1,6	85/15
A22	N32	5,78E-05	0,123598	0,258987	1,6	65/35
A22	N33	1,73E-05	0,113611	0,000000	1,6	95/5
A23	U12	6,20E-03	0,236512	0,298093	1,6	65/35
A23	U16	6,44E-04	0,233472	0,000000	1,6/2,0	95/5
A23	A22	5,84E-07	0,000139	0,000000	1,6	95/5
A25	U11	1,03E-02	0,346542	3,228027	1,6	70/30
A25	U12	1,02E-02	0,374690	7,757448	1,6	70/30
A25	U13	1,01E-02	0,420722	4,810402	1,6	75/25
A25	U14	3,06E-03	0,194444	0,370783	1,6	65/35
A25	U16	1,18E-03	0,099861	0,123122	1,6/2,0	65/35
A25	A22	7,10E-04	0,134491	0,150435	1,6	65/35
A25	N32	1,90E-03	0,352454	0,188040	1,6	70/30
A26	U12	1,26E-03	0,326250	0,000000	1,6	95/5
A26	U16	1,60E-04	0,008175	0,003263	1,6	65/35
A26	A22	6,83E-03	0,222917	0,449633	1,6	65/35
A26	N31	3,10E-03	0,160602	0,212549	1,6	65/35
A26	N32	2,25E-02	0,200076	0,278791	1,6	65/35
A26	N33	1,41E-03	0,168958	0,225288	1,6	85/15
N31	U16	8,09E-04	0,143889	0,000000	1,6/2,0	95/5
N31	A25	1,40E-04	0,021944	0,000000	1,6	95/5
N31	N32	1,35E-03	0,587257	7,243509	1,6	75/25
N32	U12	1,35E-03	0,519250	13,488457	1,6	75/25
N32	U13	1,57E-04	0,178472	0,572450	1,6	85/15
N32	U16	5,75E-05	0,052889	0,033404	1,6	65/35
N32	A22	8,38E-04	0,183872	0,699916	1,6	65/35
N32	A25	2,48E-04	0,245417	0,010756	1,6	85/15
N32	N31	9,71E-03	1,258077	40,766972	1,6	85/15
N32	N33	1,31E-03	0,261620	1,491386	1,6	65/35
N33	U11	3,73E-04	0,055278	0,000153	1,6	85/15
N33	U12	3,87E-04	0,041574	0,061807	1,6	65/35
N33	U14	2,11E-03	0,322986	0,435945	1,6	85/15
N33	A22	2,43E-03	0,167118	0,470359	1,6	65/35
N33	A26	2,41E-04	0,055417	0,000000	1,6	95/5
N33	N32	1,84E-03	0,127674	0,171739	1,6	65/35
N53	U13	1,30E-03	5,343125	64,387606	1,6	85/15
N53	N33	4,75E-05	0,074528	0,049322	1,6	65/35

*E, notación científica correspondiente a $\times 10^{-n}$

Con estos datos de entrada: las unidades de paisaje de 1997, la matriz de transición múltiple de 1997 a 2015, las variables estáticas y las variables dinámicas categorizadas con su rango y los coeficientes de la ponderación de las pruebas (WoE); y aplicando el modelo completo programado y ajustado según la figura 3.19, evaluamos el rendimiento del modelo. Para ello utilizamos las funciones de similitud: disminución exponencial y constante de múltiples ventanas y la función de comparación de similitud recíproca (Almeida et al. 2008; Soares-Filho et al. 2009) (Tabla 5.07, Figura 5.03). El método de comparación de similitud recíproca entre el estado final y el modelizado, ha resultado ser el más adecuado para comparar los cambios en elementos de paisaje, dada la forma de polígonos continuos y discretos de las unidades de paisaje (Almeida et al. 2008; Soares-Filho 2015).

tipos de paisaje

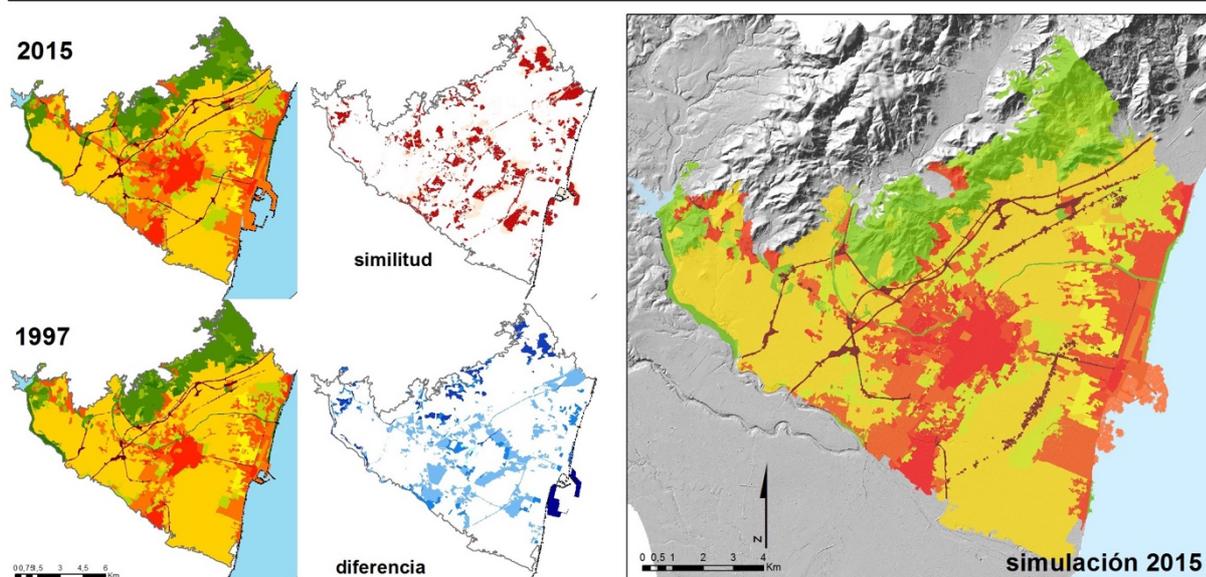


Figura 5.03. Mapas unidades de paisaje completas de 1997 y 2015, diferencia y similitud entre 1997 y simulación 2015. Unidades de paisaje simuladas en 2015, tipos completos (17). Área de estudio A1.

Tabla 5.07. Datos de la evaluación de la calibración modelo transición $M_{t_1-t_2}$ entre los años 1997-2015, tipos completos. Variación de la isometría. En negrita valores significativos a comparar. Área de estudio A1.

	M1997-2015 (mod. 65/35, isometría: 1,6)		M1997-2015 (según tabla 5.04)	
	2 media	1 media	2 media	1 media
Simple	0,567623	0,639168	0,574408	0,637139
Multi-píxeles	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
1	0,539050	0,574548	0,545932	0,584774
3	0,553717	0,629711	0,560404	0,628969
5	0,568547	0,654622	0,575041	0,648695

Multi-píxeles	M1997-2015 (mod. 65/35, isometría: 1,6)		M1997-2015 (según tabla 5.04)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
7	0,583172	0,675144	0,589674	0,665682
9	0,597214	0,693017	0,603969	0,680996
11	0,610796	0,708884	0,617896	0,694825
13	0,623939	0,723319	0,631226	0,707329
15	0,636578	0,736456	0,644045	0,718834
17	0,648638	0,748574	0,656263	0,729498
19	0,659993	0,759651	0,667963	0,739336
21	0,670739	0,769853	0,679101	0,748487
23	0,680931	0,779304	0,689607	0,757027
25	0,690553	0,788052	0,699599	0,765063
Recíproca	2 media	1 media	2 media	1 media
	0,895932	0,895932	0,898355	0,898355

Esta última calibración, en la validación de la simulación, nos da una valoración de 89,84% en la función de comparación de similitud recíproca, la más ajustada para las formas generadas por las unidades de paisajes (Almeida et al. 2008; Soares-Filho 2015) y una valoración superior al 57,40% para la similitud de las diferencias simple y del 61,78% para 11 píxeles de ventana multi-píxeles en las funciones de disminución exponencial y constante de múltiples ventanas. Además de la mejora en la valoración de la calibración, tenemos una mejora sustancial en el “ruido” generado. En los resultados de la calibración final ya tenemos agrupados espacialmente los cambios en los tipos de paisaje que nos permiten generar las unidades de paisaje del momento temporal con una fragmentación más ajustada a la real observada.

5.2.4. Escenarios del modelo de cambio

Una vez tenemos la calibración más ajustada y la simulación del momento más próximo al actual (año 2015) de la serie temporal, procedemos a la simulación de momentos temporales futuros mediante los escenarios. Para el área de estudio A1, se plantean dos escenarios, el primero de continuidad (escenario 1), sin cambios en las variables estáticas; y el segundo de cambio (escenario 2) en la variable espacial de planeamiento urbanístico.

Los cambios en los tipos de paisaje, en relación con su cuantificación y cálculo de las ratios de cambio, son invariables para todos los escenarios debido a mantener las matrices de transición ($M_{2015-30}$ y $M_{2030-50}$) definidas con la cadena de Markov ajustada en el software Dinamica EGO. Los tipos urbanos (U11, U12, U13, U14 y U16) continúan aumentando su superficie en los escenarios. Los tipos agrícolas de regadío (A21, A22, y A23) se reducen en

escenarios futuros, siendo sustituidos por los urbanos. Los agrícolas de secano (A26) reducen su superficie en todos los momentos, pero se estabilizan al final de los escenarios. Los agrícolas sin cultivo aparente (A25) aumentan a lo largo del tiempo. Los tipos forestales (N31, N32 y N33) aumentan en su conjunto ligeramente en el tiempo, por el aumento significativo del tipo boscoso, conífera con matorral en ladera (N31) (Tabla 5.08 y Figura 5.04).

Tabla 5.08. Tipos de paisaje (%) y ratio cambio por tipo de paisaje. Escenarios, área de estudio A1.

Tipo de paisaje	2015	2030	Ratio 2030/15	2050	Ratio 2050/30
U11	4,29%	5,82%	1,3	7,59%	1,3
U12	8,02%	10,17%	1,2	11,33%	1,1
U13	7,21%	9,98%	1,3	13,07%	1,3
U14	0,68%	1,14%	1,6	1,39%	1,2
U16	2,44%	3,30%	1,3	4,19%	1,3
A21	0,34%	0,27%	0,8	0,22%	0,8
A22	30,49%	26,11%	0,8	19,88%	0,8
A23	1,80%	1,84%	1,0	1,75%	0,9
A25	7,08%	8,16%	1,1	8,60%	1,1
A26	0,75%	0,48%	0,6	0,43%	0,9
N31	2,28%	3,36%	1,4	4,03%	1,2
N32	9,25%	8,68%	0,9	7,79%	0,9
N33	1,68%	1,83%	1,0	1,96%	1,1
H52	0,46%	0,48%	1,0	0,48%	1,0
H53	23,24%	18,38%	0,8	17,28%	0,9

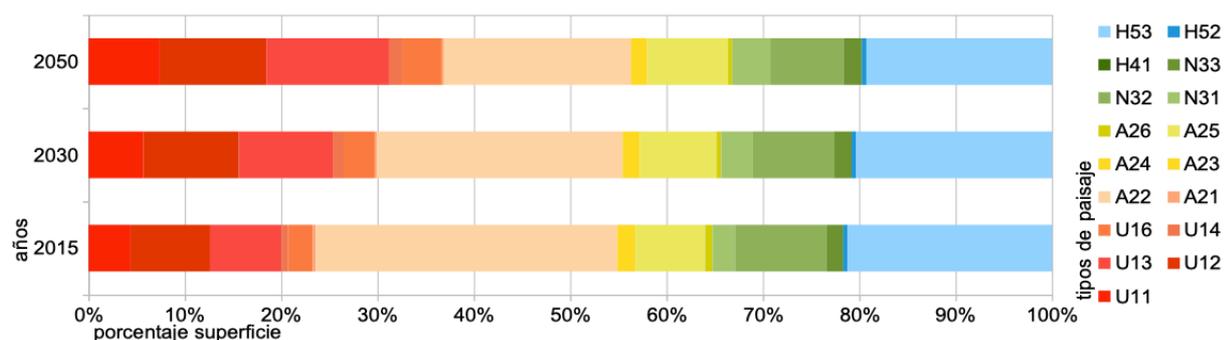


Figura 5.04. Gráfico de variabilidad de los tipos de paisaje (2015, 2030 y 2050). Escenarios, área de estudio A1.

Continuando con el análisis de las dinámicas de cambio en los paisajes en los escenarios, se observa la dinámica de los cambios en la superficie ocupada en el territorio para cada uno de los tipos de paisaje (Figuras 5.05 y 5.06). Además, se analiza el modelo de regresión polinómica que se explicita en la figura 5.07 con la curva de ajuste y sus residuales para la evolución de los tipos de paisaje en los escenarios.

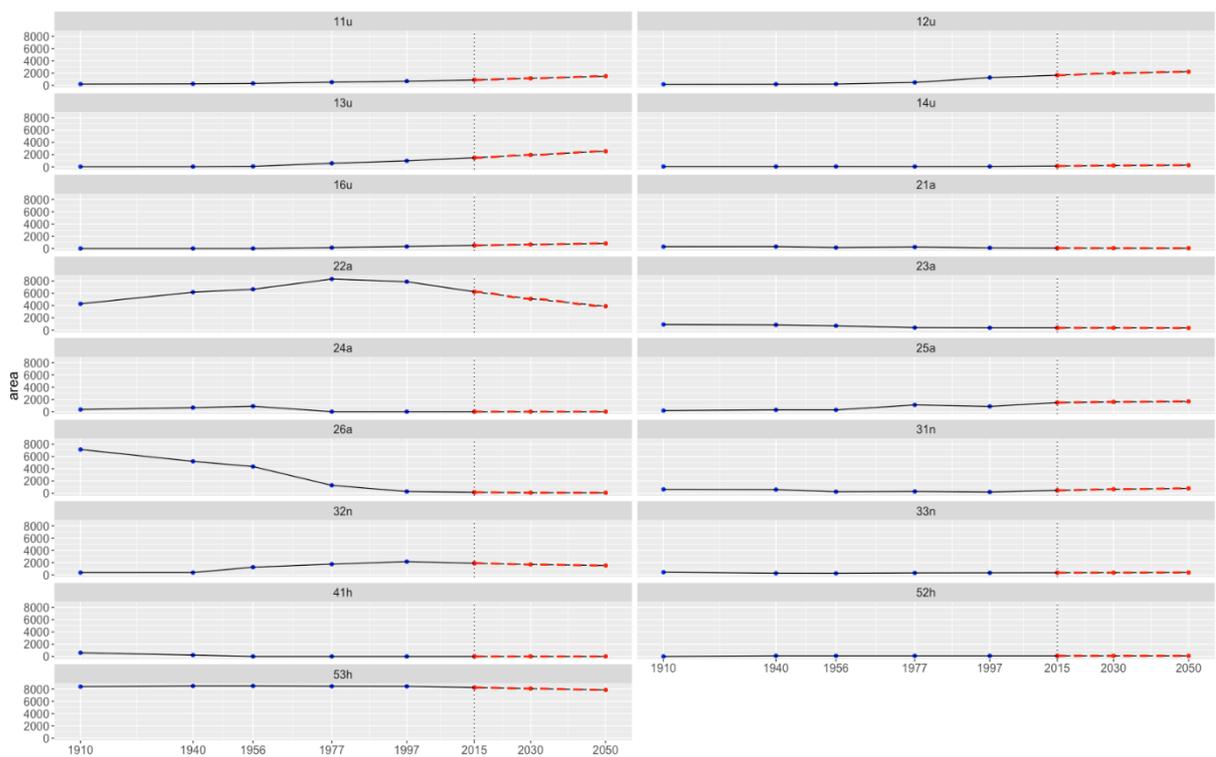


Figura 5.05. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje (1910, 1940, 1956, 1977, 1997, 2015, 2030 y 2050). Serie temporal y escenarios, área de estudio A1.

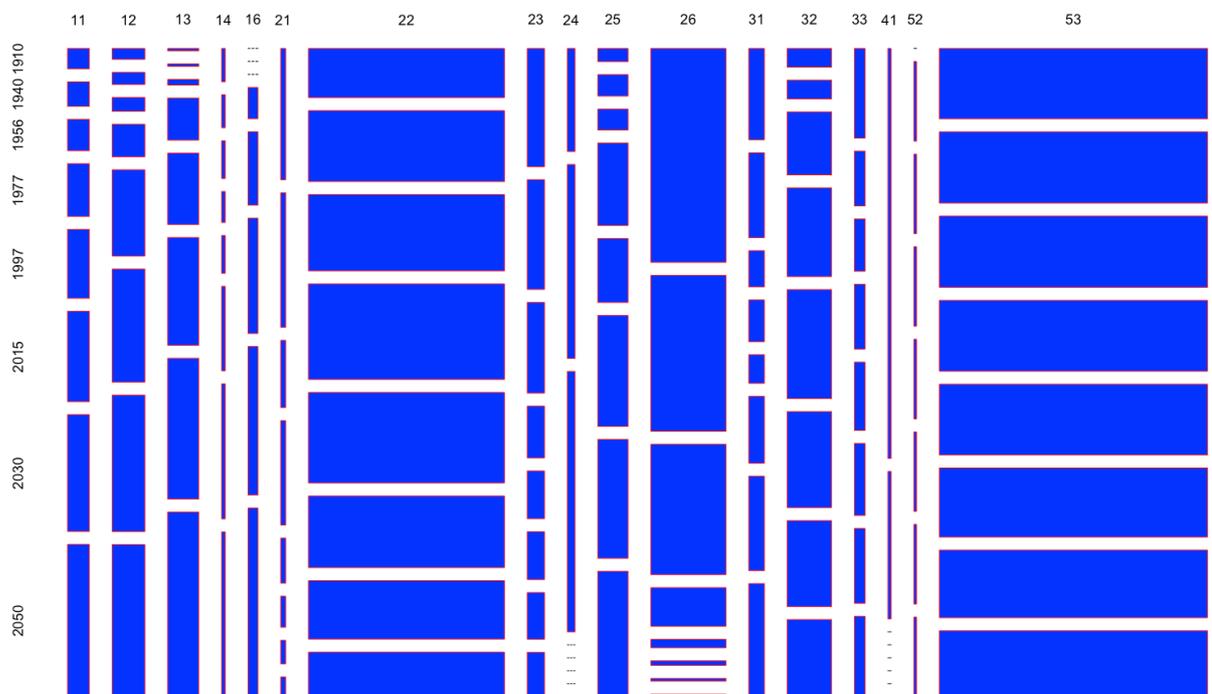


Figura 5.06. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje y su relación de proporciones en la serie temporal y escenarios (1910, 1940, 1956, 1977, 1997, 2015, 2030 y 2050). Área de estudio A1.

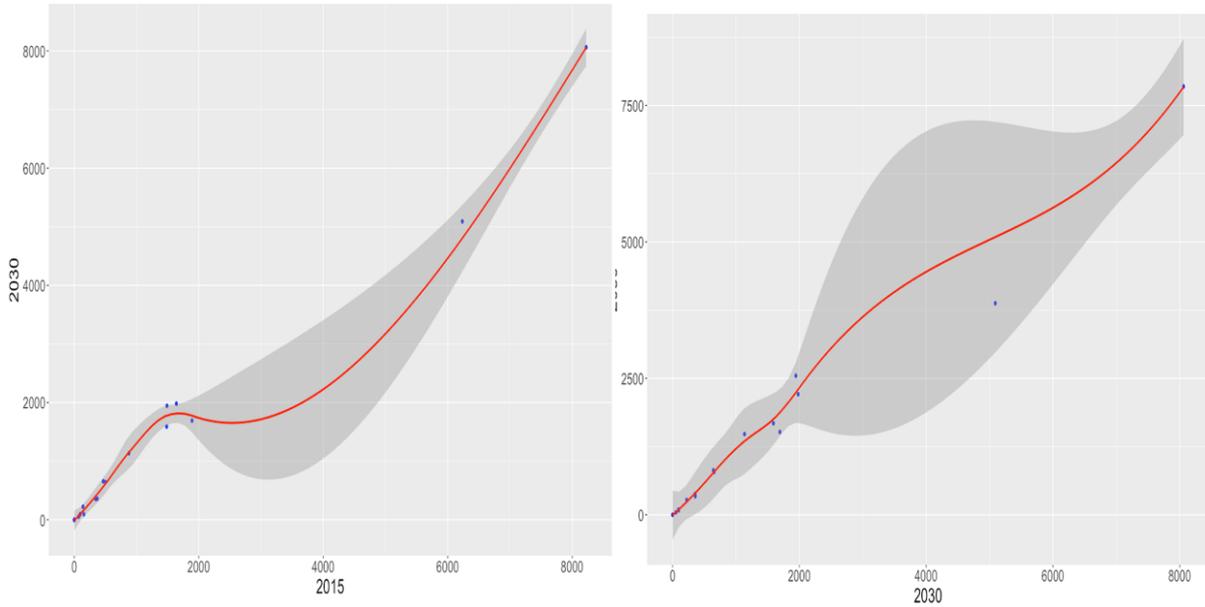


Figura 5.07. Gráfico del modelo de regresión polinómico (*loess*) de cambio de cada tipo de paisaje (2015-30 y 2030-50). Escenarios, área de estudio A1.

El análisis pCA, en concreto el análisis de correspondencia realizado con el software R (James et al. 2017) (Figura 5.08), muestra que los 2 primeros componentes principales X1 con el 80,5% y X2 con el 14,4%, acumulan el 94,9% del porcentaje de explicación del cambio en los tipos de paisaje.

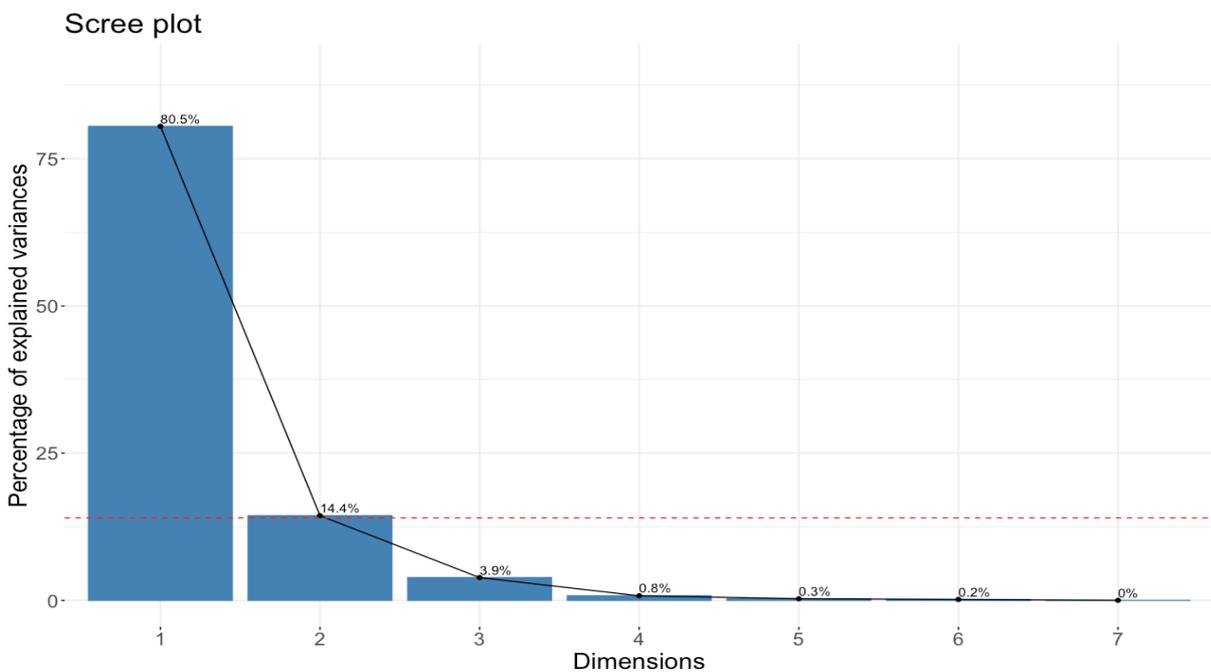


Figura 5.08. Componentes principales del cambio en los tipos de paisaje en la serie temporal y los escenarios (1910 a 2050). Área de estudio A1.

En la figura 5.09 se presenta el agrupamiento de los cambios en los tipos de paisaje, así como la relación entre la dinámica de estos y el momento temporal principal en el cambio, todo ello según el análisis de correspondencia realizado. Con este análisis se corroboran los resultados obtenidos en la serie temporal y se explicita que la mayor contribución a la dinámica del paisaje corresponde al mosaico de arbolado en seco (A26). Como siguiente grupo de contribución al cambio son el urbano industrial y terciario (U13) y el urbano disperso (U12).

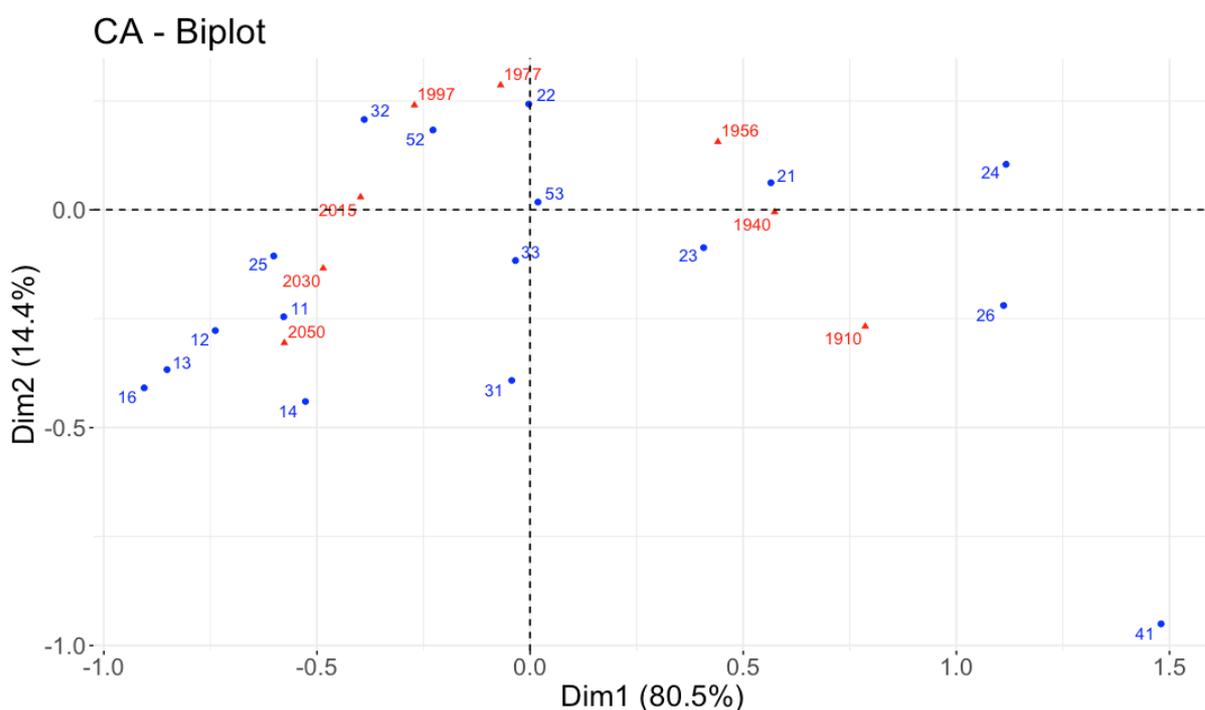


Figura 5.09. Análisis del agrupamiento de los tipos y los años de la serie temporal utilizando los componentes principales X1 y X2. Área de estudio A1.

Continuidad (escenario 1), manteniendo las variables

El escenario 1, de continuidad, asume que las tendencias observadas en el pasado continuarán a lo largo del tiempo, siguiendo el mismo recorrido y tendencia, sin elementos o variables espaciales que modifiquen la tendencia. Para su generación mantenemos el modelo programado con su matriz de transición y las variables espaciales con sus rangos y coeficientes. En este escenario sólo se modifican las unidades de paisaje de entrada, que serán el último momento temporal (t_{2015}) correspondiente al paisaje identificado en 2015 para el área de estudio, y el salto de la iteración en años para el momento temporal deseado. Con estos datos se ejecuta el modelo generando iteraciones (15 y 35 años) para obtener los escenarios en 2030a y 2050a (Figura 5.10).

tipos de paisaje

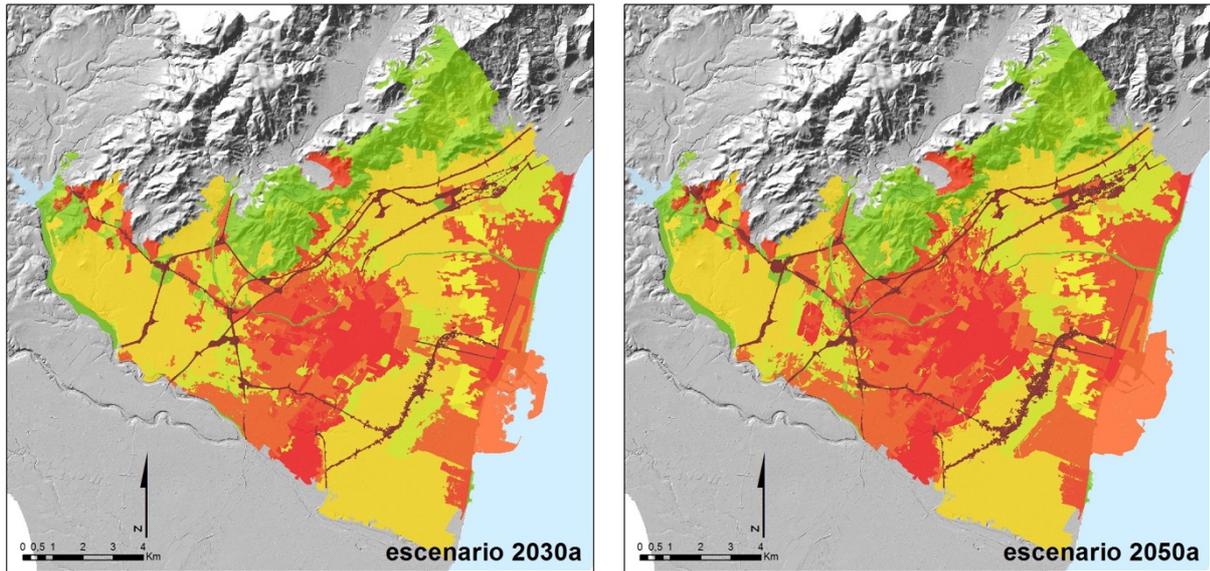


Figura 5.10. Mapas escenario 1, unidades de paisaje simuladas de 2030a y 2050a, tipos completos (17). Área de estudio A1.

Aunque no se producen cambios en la cuantificación y las ratios de los tipos de paisaje para todos los escenarios, cambia la distribución espacial de los tipos de paisajes y por ello la fragmentación. Para obtener la fragmentación, se calculan el número de manchas de tipos de paisaje (NP), la suma del perímetro de las manchas de cada tipo de paisaje (TE) y la densidad de bordes (ED) como ratio de longitud de bordes entre la superficie de las manchas (Tabla 5.09). Podemos observar en la evolución de las métricas de paisaje seleccionadas que la fragmentación de las unidades de paisaje se incrementa a lo largo del tiempo (Figura 5.11).

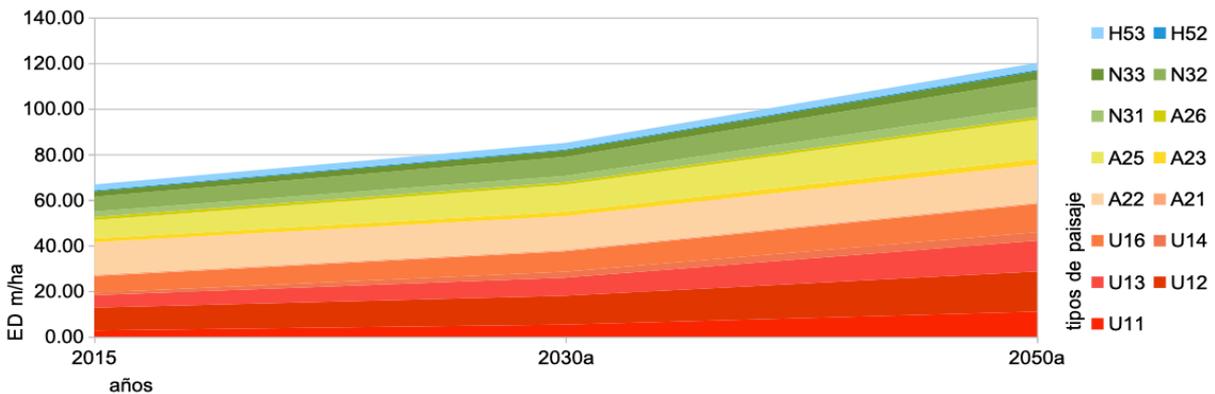


Figura 5.11. Fragmentación de tipos de paisaje: gráfico de variabilidad de densidad de bordes (ED), ratio m/ha, 2015-2030a/50a. Escenario 1, área de estudio A1.

Tabla 5.09. Métricas de paisaje por tipo: número de manchas (NP), bordes totales (TE) en Km y densidad de bordes (ED) ratio de m/ha. Escenario 1, área de estudio A1.

Tipo de paisaje	2015			2030a			2050a		
	NP	TE	ED	NP	TE	ED	NP	TE	ED
U11	15	65,22	2,721	69	127,48	5,318	135	263,37	10,987
U12	66	240,38	10,027	111	303,04	12,641	176	422,92	17,642
U13	31	130,39	5,439	86	190,19	7,934	158	323,94	13,513
U14	14	27,25	1,137	90	63,16	2,635	83	88,89	3,708
U16	1	172,71	7,205	26	214,01	8,927	37	297,02	12,390
A21	9	14,05	0,586	13	14,06	0,586	20	14,55	0,607
A22	70	341,78	14,257	194	355,42	14,826	189	398,40	16,619
A23	8	40,55	1,691	13	47,33	1,974	27	60,48	2,523
A25	67	192,63	8,036	185	282,72	11,794	245	412,74	17,218
A26	25	33,84	1,412	33	27,58	1,151	22	29,32	1,223
N31	17	56,91	2,374	31	66,86	2,789	43	103,39	4,313
N32	21	155,76	6,497	107	198,49	8,280	134	286,70	11,960
N33	12	58,36	2,435	31	70,08	2,924	36	92,92	3,876
H52	1	10,13	0,422	1	10,04	0,419	1	12,68	0,529
H53	1	60,10	2,507	7	68,01	2,837	6	72,65	3,031
Total	358	1.600,04		997	2.038,46		1312	2.879,97	

Cambio (escenario 2), modificando el planeamiento urbanístico

El escenario 2 de cambio, asume que parte de las tendencias observadas en el pasado se mantendrán a lo largo del tiempo, pero no todas tendrán esa continuidad temporal. En nuestro proyecto se incorpora el cambio en la variable espacial de planeamiento urbanístico y de infraestructura verde. Se modifican tanto la clasificación como la calificación de todo el suelo, y no sólo incidiendo sobre los suelos urbanos y urbanizables. Se incorpora la versión con aprobación inicial del Plan General Estructural y del Plan de Ordenación Pormenorizada de Castelló de la Plana versión del año 2018, para obtener el segundo escenario. Con estos datos se ha ejecutado el modelo generando iteraciones (15 y 35 años) para obtener los escenarios en 2030b y 2050b (Figura 5.12).

Al igual que antes, para obtener la fragmentación se calculan NP, TE y ED (Tabla 5.10). Podemos observar en la evolución de las métricas de paisaje seleccionadas que la fragmentación de las unidades de paisaje se incrementa a lo largo del tiempo, pero en el escenario 2 la consideración del planeamiento urbanístico municipal logra que su aumento sea menor. El planeamiento urbanístico reduce el aumento de la fragmentación respecto al escenario 1 en un 2,92% para el año 2030 y un 19,52% para el año 2050 (Figura 5.13).

tipos de paisaje

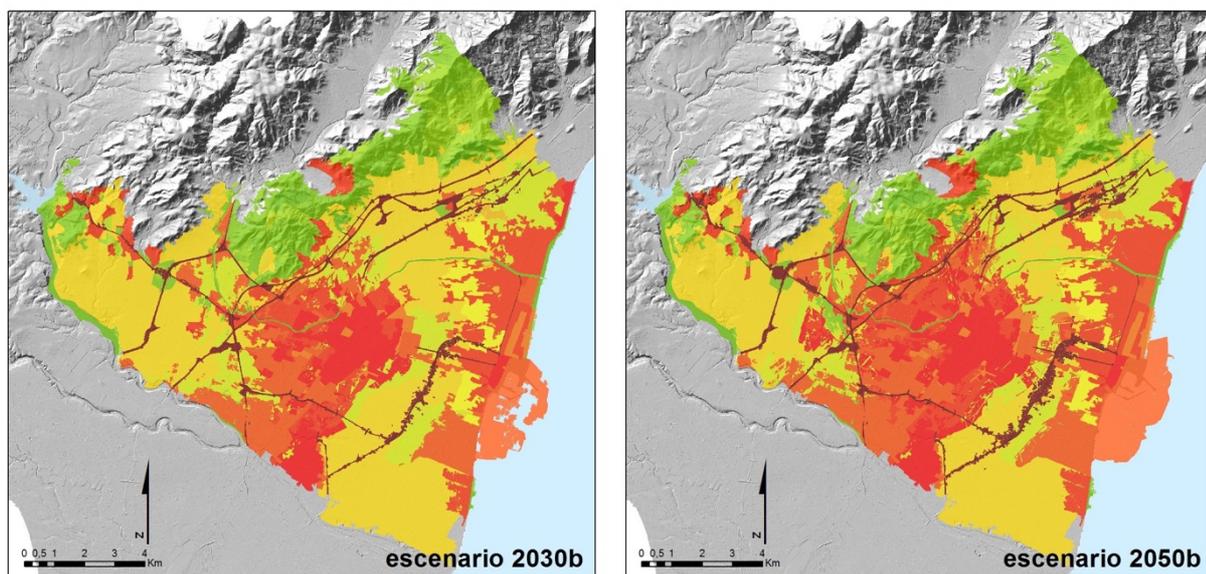


Figura 5.12. Mapas escenario 2, unidades de paisaje simuladas de 2030b y 2050b, tipos completos (17). Área de estudio A1.

Tabla 5.10. Métricas de paisaje por tipo: número de manchas (NP), bordes totales (TE) en Km y densidad de bordes (ED) ratio de m/ha. Escenario 2, área de estudio A1.

Tipo de paisaje	2015			2030b			2050b		
	NP	TE	ED	NP	TE	ED	NP	TE	ED
U11	15	65,22	2,721	69	123,92	5,169	154	227,61	9,495
U12	66	240,38	10,027	115	298,16	12,438	160	347,24	14,485
U13	31	130,39	5,439	88	189,33	7,898	144	239,98	10,011
U14	14	27,25	1.137	56	55,49	2,315	145	101,13	4,219
U16	1	172,71	7.205	46	214,23	8,937	52	234,81	9,795
A21	9	14,05	0,586	19	14,61	0,610	17	12,28	0,512
A22	70	341,78	14.257	175	349,26	14,569	176	302,23	12,608
A23	8	40,55	1.691	16	46,51	1,940	28	50,44	2,104
A25	67	192,63	8.036	166	257,76	10,752	293	339,17	14,149
A26	25	33,84	1.412	23	24,59	1,026	21	23,09	0,963
N31	17	56,91	2.374	26	63,77	2,660	43	77,15	3,218
N32	21	155,76	6.497	83	191,44	7,986	111	222,93	9,300
N33	12	58,36	2.435	24	68,51	2,858	26	73,25	3,055
H52	1	10,13	0,422	1	10,04	0,419	1	10,04	0,419
H53	1	60,10	2.507	10	71,34	2,976	6	56,57	2,360
Total	358	1.600,04		917	1.978,95		1377	2.317,92	

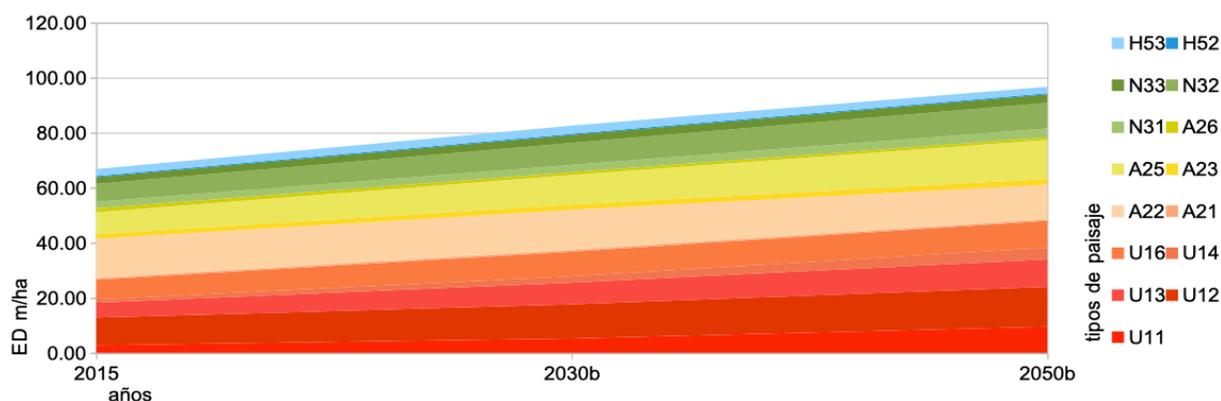


Figura 5.13. Fragmentación de tipos de paisaje: gráfico de variabilidad de densidad de bordes (ED), ratio m/ha, 2015-2030b/50b. Escenario 2, área de estudio A1.

5.3. Área de estudio A2, área metropolitana de Valencia

5.3.1. Transiciones

Se calculan las matrices de transición entre cada dos momentos temporales contiguos de la serie, momento inicial (más antiguo, t_1) y el momento final (más reciente, t_2). Obtenemos las matrices de transición por años (*multiple-step*), las únicas significativas para el modelo. Para el área de estudio A2 tenemos dos matrices correspondientes a $M_{1990-2000}$ y a $M_{2000-2012}$. La primera cuenta con los tipos de paisaje simplificados (8 tipos) y la segunda con los tipos de paisaje completos (11 tipos). Estas matrices se transforman en una tabla que recoge las transiciones entre cada par de momentos de la serie temporal (Tabla 5.11).

Tabla 5.11. Datos de las matrices de transición de tipos de paisaje (*multiple-step*) $M_{t_1-t_2}$ entre los años 1990-2000 y 2000-12. Área de estudio A2.

De	Hasta	M1990-2000	De	Hasta	M2000-12	De	Hasta	M2000-12
10	21	3,00E-04	11	12	8,30E-03	22	21	9,09E-03
10	22	1,55E-04	11	13	8,01E-03	22	24	3,44E-05
10	30	1,02E-04	11	14	5,99E-04	22	26	3,63E-03
21	10	4,10E-03	11	21	1,74E-03	22	30	3,01E-03
21	22	1,23E-02	11	22	1,25E-03	22	40	3,41E-05
21	24	2,91E-04	11	24	6,51E-05	22	50	2,87E-06
21	26	4,78E-05	11	26	7,87E-04	24	11	9,26E-05
21	30	4,44E-04	11	30	4,74E-04	24	12	1,16E-04
21	40	9,17E-05	11	40	1,04E-05	24	13	4,54E-04
22	10	4,33E-03	11	50	5,61E-05	24	14	1,93E-04
22	21	1,10E-03	12	11	1,81E-03	24	21	9,51E-04
22	24	7,98E-06	12	13	1,75E-03	24	22	6,58E-04

De	Hasta	M1990-2000	De	Hasta	M2000-12	De	Hasta	M2000-12
22	26	1,45E-04	12	14	7,63E-05	24	30	6,19E-05
22	30	5,93E-05	12	21	2,65E-03	24	40	1,22E-04
24	10	6,05E-05	12	22	4,94E-03	24	50	1,12E-03
24	21	5,28E-04	12	26	1,82E-03	26	11	2,35E-04
24	22	4,91E-04	12	30	3,20E-03	26	12	3,30E-03
26	10	5,36E-03	12	50	9,17E-05	26	13	1,73E-03
26	21	3,80E-03	13	11	4,54E-03	26	21	1,26E-02
26	22	7,38E-03	13	12	5,45E-03	26	22	2,41E-02
26	30	2,82E-04	13	14	1,86E-03	26	30	1,90E-02
30	10	1,70E-03	13	21	1,75E-03	30	11	1,06E-04
30	21	4,27E-04	13	22	1,74E-03	30	12	1,60E-03
30	22	1,04E-03	13	24	1,04E-04	30	13	8,89E-04
30	26	6,08E-04	13	26	1,46E-03	30	14	1,42E-04
30	50	3,00E-07	13	30	8,60E-04	30	21	1,99E-03
40	10	3,90E-03	13	50	3,05E-04	30	22	4,67E-03
40	21	4,33E-03	14	11	2,18E-03	30	24	4,78E-05
40	30	4,83E-03	14	12	4,47E-03	30	26	2,90E-03
50	10	8,84E-04	14	13	6,59E-03	30	40	1,75E-04
			14	21	5,24E-04	30	50	2,19E-04
			14	24	2,66E-04	40	12	1,40E-03
			14	26	1,48E-04	40	13	2,75E-03
			14	30	1,65E-02	40	21	5,27E-04
			14	40	4,15E-03	40	22	2,39E-03
			14	50	1,98E-03	40	24	3,81E-03
			21	11	2,04E-03	40	26	4,05E-03
			21	12	4,34E-03	40	30	2,62E-03
			21	13	4,89E-03	40	50	2,83E-02
			21	14	2,53E-04	50	11	1,13E-05
			21	22	4,82E-02	50	12	5,72E-05
			21	24	4,65E-04	50	13	5,77E-04
			21	26	1,00E-02	50	14	1,88E-07
			21	30	7,22E-03	50	21	1,17E-04
			21	40	1,07E-04	50	22	1,88E-07
			21	50	3,40E-04	50	24	4,66E-05
			22	11	7,15E-04	50	26	2,99E-05
			22	12	1,99E-03	50	30	4,53E-05
			22	13	4,12E-03	50	40	6,47E-05
			22	14	1,88E-05			

*E, notación científica correspondiente a $\times 10^{-n}$

5.3.2. Variables espaciales significantes

Al igual que para el área de estudio A1, categorizamos las variables espaciales con sus coeficientes y rango. De esta forma obtenemos la tabla de datos con cada transición de tipo

de paisaje (especificadas en la tabla 5.11) y la influencia de cada variable con su rango y coeficiente, únicamente las variables significativas para el modelo. Para el área de estudio A2 tenemos 8 variables estáticas significativas: altitudes, pendientes, orientaciones, litología, planeamiento, infraestructura verde, riegos de erosión e inundación (Tabla 5.12).

Tabla 5.12. Extracto de rangos y coeficientes de las variables estáticas “peligro de inundación” y “planeamiento urbanístico” para la transición de tipo de paisaje agrícola (A22) a urbano (U12). El propio procedimiento WoE obtiene los coeficientes y evalúa su significancia. Área de estudio A2.

From*	To*	Variable*	Low.	Upp.	Poss.Tr.	Exec.Tr.	W_Coefficient	Contrast	Sign.
22	12	staticVar/lito	41	43	5550	43	-1,5463	-1,5535	1
22	12	staticVar/lito	43	46	109	0	-14,6988	0,0000	0
22	12	staticVar/lito	46	47	0	0	0,0000	0,0000	0
22	12	staticVar/planea	1	2	1440	0	-17,2799	0,0000	0
22	12	staticVar/planea	2	4	93	0	-14,5401	0,0000	0
22	12	staticVar/planea	4	5	0	0	0,0000	0,0000	0
22	12	staticVar/planea	5	6	13266	8750	3,9677	4,4616	1
22	12	staticVar/planea	6	7	551	51	1,0235	1,0250	1
22	12	staticVar/planea	7	9	92	64	4,1330	4,1358	1
22	12	staticVar/planea	9	10	16	3	1,8399	1,8401	1

Para el área de estudio A2 tenemos también el mismo número de variables dinámicas, distancias de un tipo de paisaje a otro tipo, que de tipos de paisaje. Al ser una variable espacial de tipo continuo, en el procedimiento de ponderación de las pruebas (WoE) se procede a categorizarlas mediante la generación de rangos significativos. En nuestro procedimiento se define que el rango menor sea de 25 m para los tipos de paisaje urbano y de 100 m para cualquier otro tipo (Tablas 5.13a y b).

Tabla 5.13a. Extracto de rangos y coeficientes de la variable dinámica “distancia de tipo de paisaje agrícola (A22) a urbano (U10)”. Área de estudio A2.

Transition / Identifier	Categorical	Increment	Minimum Delta (# cells)	Maximum Delta (# cells)	Tolerance Angle (°)
22 -> 10					
distVar					
distance_to_10	<input type="checkbox"/>	25.0	1	500000	5.0
distance_to_21	<input type="checkbox"/>	100.0	1	500000	5.0
distance_to_24	<input type="checkbox"/>	100.0	1	500000	5.0
distance_to_26	<input type="checkbox"/>	100.0	1	500000	5.0
distance_to_30	<input type="checkbox"/>	100.0	1	500000	5.0
distance_to_40	<input type="checkbox"/>	100.0	1	500000	5.0
distance_to_50	<input type="checkbox"/>	100.0	1	500000	5.0
staticVar					
asp05	<input checked="" type="checkbox"/>				
hei05	<input checked="" type="checkbox"/>				
iVerde	<input checked="" type="checkbox"/>				
lito	<input checked="" type="checkbox"/>				
planea	<input checked="" type="checkbox"/>				
rEro	<input checked="" type="checkbox"/>				
rInun	<input checked="" type="checkbox"/>				
slp05	<input checked="" type="checkbox"/>				

Tabla 5.13b. Extracto de rangos y coeficientes de la variable dinámica “distancia de tipo de paisaje agrícola (A22) a urbano (U12)”. El propio procedimiento WoE obtiene los rangos de distancia, los coeficientes y evalúa su significancia. Área de estudio A2.

From*	To*	Variable*	Low.	Upp.	Poss.Tr.	Exec.Tr.	W_Coefficient	Contrast	Sign.
22	12	distVar/distance_to_12	660	670	1765	47	-0,2922	-0,2929	1
22	12	distVar/distance_to_12	670	2130	297056	4892	-0,7831	-1,1926	1
22	12	distVar/distance_to_12	2130	2140	1690	1	-4,1253	-4,1281	1
22	12	distVar/distance_to_12	2140	15290	183651	341	-2,9805	-3,3255	1
22	12	distVar/distance_to_13	0	100	5971	241	0,1379	0,1393	1
22	12	distVar/distance_to_13	100	700	98494	4749	0,3239	0,3966	1
22	12	distVar/distance_to_13	700	800	20981	1347	0,6272	0,6569	1
22	12	distVar/distance_to_13	800	1200	83259	4190	0,3690	0,4383	1
22	12	distVar/distance_to_13	1200	1900	131587	5519	0,1780	0,2305	1
22	12	distVar/distance_to_13	1900	2000	15181	429	-0,2311	-0,2362	1

5.3.3. Calibración del modelo

Al igual que para el área de estudio A1, utilizando el modelo programado, se procede a realizar las primeras calibraciones, incorporando únicamente el autómatas CA, *patcher*. Para ello, se utiliza un modelo con unidades de paisaje caracterizadas por únicamente 8 tipos (urbano U10, agrícola mosaico huerta regada A21, cítricos en regadío A22, arrozal en marjal A24, mosaico secano A26, forestal coníferas y matorral N30, marjal en humedal N40 y láminas de agua N50) y para el periodo de 1990 a 2000 de la serie temporal.

En esta primera calibración se incorporan como parámetros de transición una media y una varianza de 0,0001 ha; y una isometría de 1, para los polígonos simulados de cambio de tipo de paisaje (Tabla 5.14, Figura 5.14).

Tabla 5.14. Datos de las matrices de transición y calibración de tipos de paisaje (*multiple-step*) $M_{t_0-t_1}$ entre los años 1990-2000, tipos simplificados. Área de estudio A2.

De	Hasta	M1990-2000	Media (ha)	Varianza (ha)	Isometría	modulación
10	21	3,00E-04	0,000100	0,000100	1	100/0
10	22	1,55E-04	0,000100	0,000100	1	100/0
10	30	1,02E-04	0,000100	0,000100	1	100/0
21	10	4,10E-03	0,000100	0,000100	1	100/0
21	22	1,23E-02	0,000100	0,000100	1	100/0
21	24	2,91E-04	0,000100	0,000100	1	100/0
21	26	4,78E-05	0,000100	0,000100	1	100/0
21	30	4,44E-04	0,000100	0,000100	1	100/0
21	40	9,17E-05	0,000100	0,000100	1	100/0
22	10	4,33E-03	0,000100	0,000100	1	100/0
22	21	1,10E-03	0,000100	0,000100	1	100/0
22	24	7,98E-06	0,000100	0,000100	1	100/0
22	26	1,45E-04	0,000100	0,000100	1	100/0

De	Hasta	M1990-2000	Media (ha)	Varianza (ha)	Isometría	modulación
22	30	5,93E-05	0,000100	0,000100	1	100/0
24	10	6,05E-05	0,000100	0,000100	1	100/0
24	21	5,28E-04	0,000100	0,000100	1	100/0
24	22	4,91E-04	0,000100	0,000100	1	100/0
26	10	5,36E-03	0,000100	0,000100	1	100/0
26	21	3,80E-03	0,000100	0,000100	1	100/0
26	22	7,38E-03	0,000100	0,000100	1	100/0
26	30	2,82E-04	0,000100	0,000100	1	100/0
30	10	1,70E-03	0,000100	0,000100	1	100/0
30	21	4,27E-04	0,000100	0,000100	1	100/0
30	22	1,04E-03	0,000100	0,000100	1	100/0
30	26	6,08E-04	0,000100	0,000100	1	100/0
30	50	3,00E-07	0,000100	0,000100	1	100/0
40	10	3,90E-03	0,000100	0,000100	1	100/0
40	21	4,33E-03	0,000100	0,000100	1	100/0
40	30	4,83E-03	0,000100	0,000100	1	100/0
50	10	8,84E-04	0,000100	0,000100	1	100/0

*E, notación científica correspondiente a $\times 10^{-n}$

En las siguientes calibraciones, una vez comprobado que la calibración es muy similar a la realizada para el área de estudio A1, se reduce su número. Con ello hemos realizado una aproximación de calidad al modelo, un aprendizaje que nos permite pasar al último salto de la serie temporal para realizar las calibraciones más fiables y utilizar los tipos de paisaje completos definidos en la tabla 4.04.

tipos de paisaje

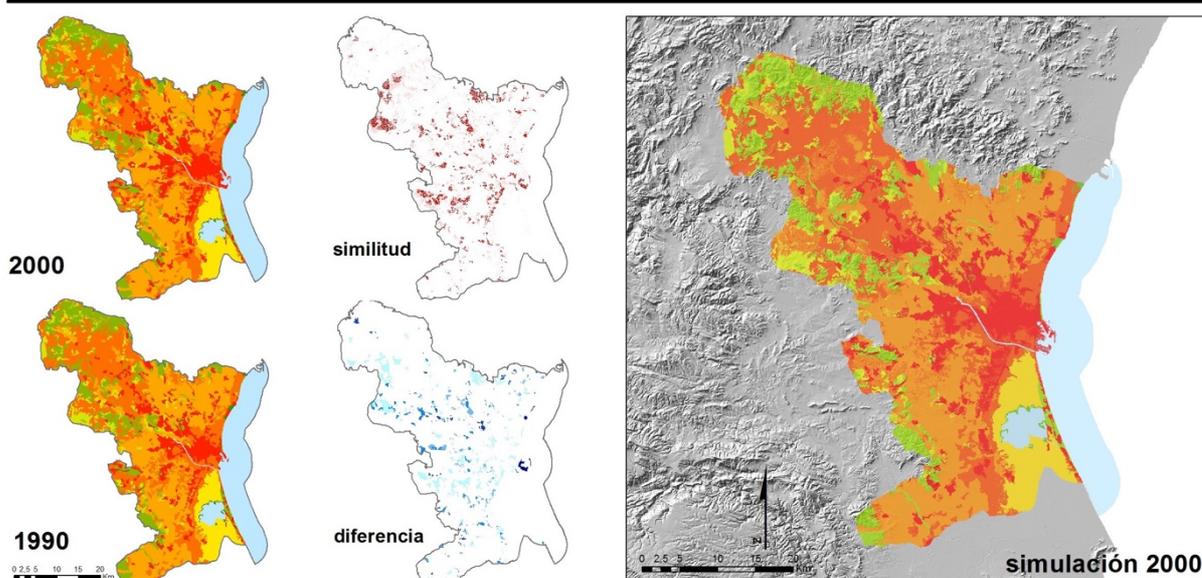


Figura 5.14. Mapas unidades de paisaje simplificadas de 1990 y 2000, diferencia y similitud entre 1990 y simulación 2000. Unidades de paisaje simuladas en 2000, tipos simplificados (8). Área de estudio A2.

A partir de estas calibraciones, que ya nos da unos ajustes superiores al 60% para la similitud de las diferencias simple y del 61% para 11 píxeles de ventana de similitud de las diferencias multi-píxeles, procedemos a ajustar las calibraciones para el periodo de 2000 a 2012 de la serie temporal. Para ello se realizan dos mejoras en el modelo de cambio en el paisaje. La primera es la incorporación del segundo autómatas CA, *expander*, y la segunda es el cálculo estadístico de las diferencias entre el estado inicial (t_{2000}) y el final (t_{2012}) mediante el álgebra de mapas, empleando la función *Landscape metrics* en Dinamica EGO. De este cálculo estadístico obtenemos una media y una varianza para cada una de las transiciones de tipo de paisaje, que previamente divididas entre el número de años del salto temporal incorporamos al cálculo. Además, se ajusta la modulación del cambio entre los dos autómatas CA, *expander* y *patcher* mediante la matriz de modulación para darle un porcentaje de este a cada uno de ellos (Tabla 5.15).

Tabla 5.15. Datos de entrada de la calibración final: matriz de transición y calibración de tipos de paisaje (*multiple-step*) Mt₁-t₂ entre los años 2000-2012. Área de estudio A2.

De	Hasta	M2000-2012	Media (ha)	Varianza (ha)	Isometría	modulación
11	12	8,30E-03	0,713013	20,208878	1,6	55/45
11	13	8,01E-03	0,378078	5,798655	1,6	55/45
11	14	5,99E-04	0,193947	2,144336	1,6	55/45
11	21	1,74E-03	0,095935	1,067274	1,6	55/45
11	22	1,25E-03	0,086249	0,392072	1,6	55/45
11	24	6,51E-05	0,060366	0,045119	1,6	55/45
11	26	7,87E-04	0,132854	0,993734	1,6	55/45
11	30	4,74E-04	0,140327	0,299389	1,6	55/45
11	40	1,04E-05	0,026020	0,005200	1,6	55/45
11	50	5,61E-05	0,067001	0,113939	1,6	55/45
12	11	1,81E-03	0,496164	12,497623	1,6	55/45
12	13	1,75E-03	0,145711	1,710396	1,6	55/45
12	14	7,63E-05	0,022303	0,019008	1,6	55/45
12	21	2,65E-03	0,195064	2,228537	1,6	55/45
12	22	4,94E-03	0,110995	0,573903	1,6	55/45
12	26	1,82E-03	0,157333	1,628433	1,6	55/45
12	30	3,20E-03	0,115240	1,044839	1,6	55/45
12	50	9,17E-05	0,219867	1,328713	1,6	55/45
13	11	4,54E-03	0,265871	4,004740	1,6	55/45
13	12	5,45E-03	0,322924	16,284602	1,6	55/45
13	14	1,86E-03	0,156899	2,986414	1,6	55/45
13	21	1,75E-03	0,092397	0,698707	1,6	55/45
13	22	1,74E-03	0,081910	0,340106	1,6	55/45
13	24	1,04E-04	0,196883	1,275889	1,6	55/45
13	26	1,46E-03	0,127297	1,564651	1,6	55/45
13	30	8,60E-04	0,216187	2,342802	1,6	55/45
13	50	3,05E-04	0,092345	0,349937	1,6	55/45
14	11	2,18E-03	0,079794	0,259357	1,6	55/45

De	Hasta	M2000-2012	Media (ha)	Varianza (ha)	Isometría	modulación
14	12	4,47E-03	0,131833	2,166559	1,6	55/45
14	13	6,59E-03	0,175585	2,594118	1,6	55/45
14	21	5,24E-04	0,028993	0,024313	1,6	55/45
14	24	2,66E-04	0,041632	0,000000	1,6	55/45
14	26	1,48E-04	0,033454	0,026542	1,6	55/45
14	30	1,65E-02	0,033826	0,006093	1,6	55/45
14	40	4,15E-03	1,797444	63,966993	1,6	55/45
14	50	1,98E-03	2,955843	0,000000	1,6	55/45
21	11	2,04E-03	0,913293	5,878844	1,6	55/45
21	12	4,34E-03	0,340289	4,433004	1,6	55/45
21	13	4,89E-03	0,369313	7,689749	1,6	55/45
21	14	2,53E-04	0,486902	22,734487	1,6	55/45
21	22	4,82E-02	0,814418	20,150815	1,6	55/45
21	24	4,65E-04	2,158793	3446,344321	1,6	55/45
21	26	1,00E-02	0,162908	1,002323	1,6	55/45
21	30	7,22E-03	1,159981	99,421574	1,6	55/45
21	40	1,07E-04	0,216500	4,614562	1,6	55/45
21	50	3,40E-04	0,331492	6,620614	1,6	55/45
22	11	7,15E-04	0,381071	21,558489	1,6	55/45
22	12	1,99E-03	0,230118	1,670567	1,6	55/45
22	13	4,12E-03	0,285932	13,454439	1,6	55/45
22	14	1,88E-05	0,728191	52,042452	1,6	55/45
22	21	9,09E-03	0,132180	0,096205	1,6	55/45
22	24	3,44E-05	1,445415	178,480268	1,6	55/45
22	26	3,63E-03	0,071344	0,169724	1,6	55/45
22	30	3,01E-03	0,924109	91,807318	1,6	55/45
22	40	3,41E-05	0,215068	4,657739	1,6	55/45
22	50	2,87E-06	0,237647	1,857329	1,6	55/45
24	11	9,26E-05	0,033305	0,015417	1,6	55/45
24	12	1,16E-04	0,239382	1,229915	1,6	55/45
24	13	4,54E-04	0,100877	0,102068	1,6	55/45
24	14	1,93E-04	0,119218	0,384618	1,6	55/45
24	21	9,51E-04	0,317441	5,356639	1,6	55/45
24	22	6,58E-04	0,160070	2,838278	1,6	55/45
24	30	6,19E-05	0,093454	0,417603	1,6	55/45
24	40	1,22E-04	0,112752	0,120384	1,6	55/45
24	50	1,12E-03	0,069771	0,079227	1,6	55/45
26	11	2,35E-04	0,324995	6,615148	1,6	55/45
26	12	3,30E-03	0,076758	0,339820	1,6	55/45
26	13	1,73E-03	0,240131	2,352107	1,6	55/45
26	21	1,26E-02	0,298313	2,703706	1,6	55/45
26	22	2,41E-02	0,734756	49,023767	1,6	55/45
26	30	1,90E-02	0,617505	40,335916	1,6	55/45
30	11	1,06E-04	0,373043	8,828461	1,6	55/45
30	12	1,60E-03	0,078989	0,425716	1,6	55/45
30	13	8,89E-04	0,139482	1,506002	1,6	55/45
30	14	1,42E-04	0,279752	2,861044	1,6	55/45
30	21	1,99E-03	0,411762	1,873505	1,6	55/45

De	Hasta	M2000-2012	Media (ha)	Varianza (ha)	Isometría	modulación
30	22	4,67E-03	0,129607	0,808521	1,6	55/45
30	24	4,78E-05	0,115280	1,090210	1,6	55/45
30	26	2,90E-03	0,105814	0,279910	1,6	55/45
30	40	1,75E-04	0,164211	3,307544	1,6	55/45
30	50	2,19E-04	0,321901	3,376231	1,6	55/45
40	12	1,40E-03	0,162870	0,823058	1,6	55/45
40	13	2,75E-03	0,171730	0,294426	1,6	55/45
40	21	5,27E-04	0,759777	2,347930	1,6	55/45
40	22	2,39E-03	0,036428	0,022228	1,6	55/45
40	24	3,81E-03	0,112595	0,289774	1,6	55/45
40	26	4,05E-03	0,068068	0,159027	1,6	55/45
40	30	2,62E-03	0,303316	2,054917	1,6	55/45
40	50	2,83E-02	0,330451	3,727522	1,6	55/45
50	11	1,13E-05	0,248489	3,525694	1,6	55/45
50	12	5,72E-05	0,052039	0,129753	1,6	55/45
50	13	5,77E-04	0,026598	0,018122	1,6	55/45
50	14	1,88E-07	0,303371	10,161470	1,6	55/45
50	21	1,17E-04	0,170739	4,697675	1,6	55/45
50	22	1,88E-07	0,046836	0,000000	1,6	55/45
50	24	4,66E-05	0,099851	0,561847	1,6	55/45
50	26	2,99E-05	0,144670	0,865650	1,6	55/45
50	30	4,53E-05	0,064074	0,284665	1,6	55/45
50	40	6,47E-05	0,049120	0,082068	1,6	55/45

*E, notación científica correspondiente a $\times 10^{-n}$

Con estos datos de entrada, las unidades de paisaje de 2000, la matriz de transición múltiple de 2000 a 2012, las variables estáticas y las variables dinámicas categorizadas con su rango y los coeficientes de la ponderación de las pruebas (WoE); y aplicando el modelo completo programado y ajustado según la figura 3.19, evaluamos el rendimiento del modelo. Para ello utilizamos las funciones de disminución exponencial y constante de múltiples ventanas y la función de comparación de similitud recíproca (Almeida et al. 2008; Soares-Filho et al. 2009) (Tabla 5.16, figura 5.15). El método de comparación de similitud recíproca entre el estado final y el modelizado, ha resultado ser el más adecuado para comparar los cambios en elementos de paisaje dada la forma de polígonos continuos y discretos de las unidades de paisaje (Almeida et al. 2008; Soares-Filho 2015).

Tabla 5.16. Datos de la evaluación de la calibración modelo transición Mt_1-t_2 entre los años 2000-2012, tipos completos. Variación de la isometría. En negrita valores significativos a comparar. Área de estudio A2.

Simple	M2000-2012 (modul 50/50, isometría: 1,6)		M2000-2012 (según tabla 5.11)	
	2 media	1 media	2 media	1 media
	0.625292	0.532165	0.629315	0.530977

Multi-píxeles	M2000-2012 (modul 50/50, isometría: 1,6)		M2000-2012 (según tabla 5.11)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
1	0.399578	0.530995	0.402691	0.535442
3	0.508772	0.598123	0.507628	0.602766
5	0.568221	0.646364	0.566226	0.650776
7	0.612467	0.684346	0.609075	0.688035
9	0.648448	0.715403	0.643261	0.718205
11	0.678215	0.741389	0.671772	0.743365
13	0.703129	0.763239	0.696216	0.765120
15	0.724425	0.782165	0.717372	0.784132
17	0.742657	0.798847	0.735893	0.800953
19	0.758649	0.813620	0.752299	0.815712
21	0.772973	0.826906	0.766972	0.829024
23	0.785623	0.838826	0.780248	0.841086
25	0.796957	0.849450	0.792117	0.851822
Recíproca	2 media	1 media	2 media	1 media
	0.758681	0.758787	0.760834	0.760950

tipos de paisaje

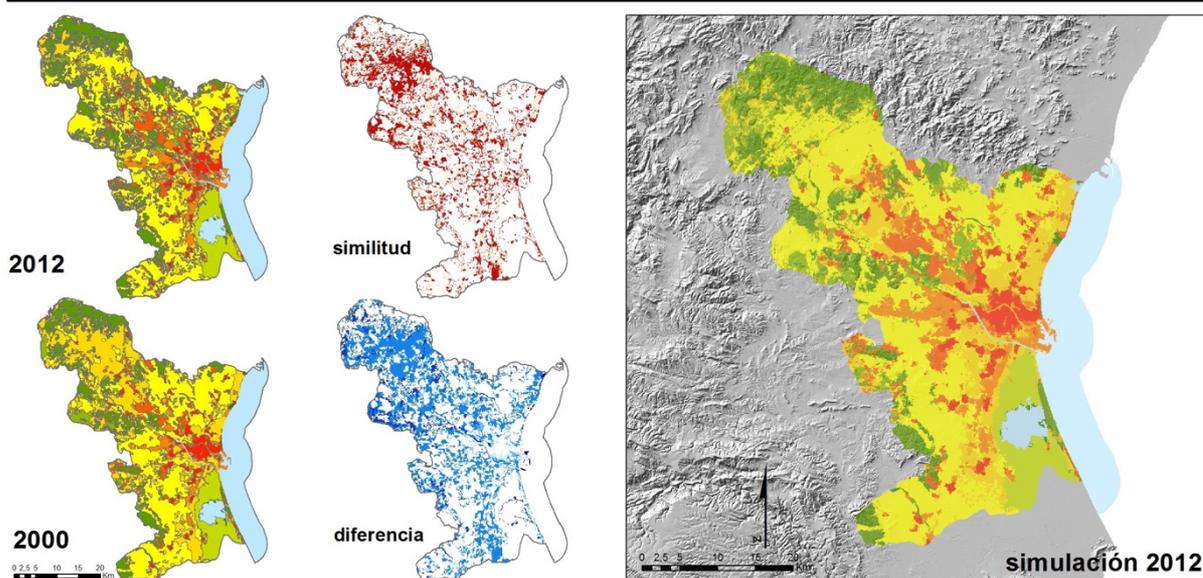


Figura 5.15. Mapas unidades de paisaje completas de 2000 y 2012, diferencia y similitud entre 2000 y simulación 2012. Unidades de paisaje simuladas en 2012, tipos completos (11).

Esta última calibración, en la validación de la simulación, nos da una valoración de 76,08% en la función de comparación de similitud recíproca, la más ajustada para las formas generadas por las unidades de paisajes (Almeida et al. 2008; Soares-Filho 2015) y una valoración superior al 62,93% para la similitud de las diferencias simple y del 67,18% para 11 píxeles de ventana multi-píxeles en las funciones de disminución exponencial y constante de

múltiples ventanas. Además de la mejora en la valoración de la calibración, tenemos una mejora sustancial en el “ruido” generado. En los resultados de la calibración final ya tenemos agrupados espacialmente los cambios en los tipos de paisaje que nos permite generar las unidades de paisaje del momento temporal con una fragmentación más ajustada a la real observada.

5.3.4. Escenarios del modelo de cambio

Una vez tenemos la calibración más ajustada y la simulación del momento más próximo al actual (año 2012) de la serie temporal, procedemos a la simulación de momentos temporales futuros mediante los escenarios. Para el área de estudio A2, se plantean un único escenario, de continuidad sin cambios en las variables estáticas, buscando validar la metodología para la escala de trabajo.

Los cambios en los tipos de paisaje, en relación con su cuantificación y cálculo de las ratios de cambio, son invariables para todos los escenarios debido a mantener las matrices de transición definidas con la cadena de Markov ajustada en el *software* Dinamica EGO. Los tipos urbanos (U11, U12, U13 y U14) continúan aumentando su superficie en los escenarios. El tipo agrícola mosaico de huerta en regadío (A21) continúa con su descenso acusado y el resto de los tipos agrícolas (A22, A24 y A26) se reducen moderadamente con el tiempo, siendo sustituidos por los urbanos. El tipo forestal (N30) aumenta moderadamente en el tiempo, por el aumento significativo del tipo boscoso, conífera con matorral en ladera. Por último, el tipo de marjal en humedal (N40) continua su descenso a pesar de su inclusión dentro de la infraestructura verde de la Comunitat Valenciana (Tabla 5.17 y Figura 5.16).

Tabla 5.17. Tipos de paisaje (%) y ratio cambio por tipo de paisaje. Escenario, área de estudio A2.

Tipo de paisaje	2012	2030	Ratio 2030/12	2050	Ratio 2050/30
U11	4,12%	4,23%	1,0	4,41%	1,0
U12	5,56%	7,36%	1,3	8,72%	1,2
U13	6,41%	9,33%	1,5	11,54%	1,2
U14	0,42%	0,47%	1,1	0,59%	1,3
A21	11,75%	6,93%	0,6	5,54%	0,8
A22	32,89%	31,53%	1,0	28,55%	0,9
A24	4,85%	4,72%	1,0	4,55%	1,0
A26	5,10%	4,66%	0,9	4,21%	0,9
N30	13,49%	15,28%	1,1	16,26%	1,1
H40	0,26%	0,20%	0,8	0,17%	0,8
H50	15,14%	15,33%	1,0	15,51%	1,0

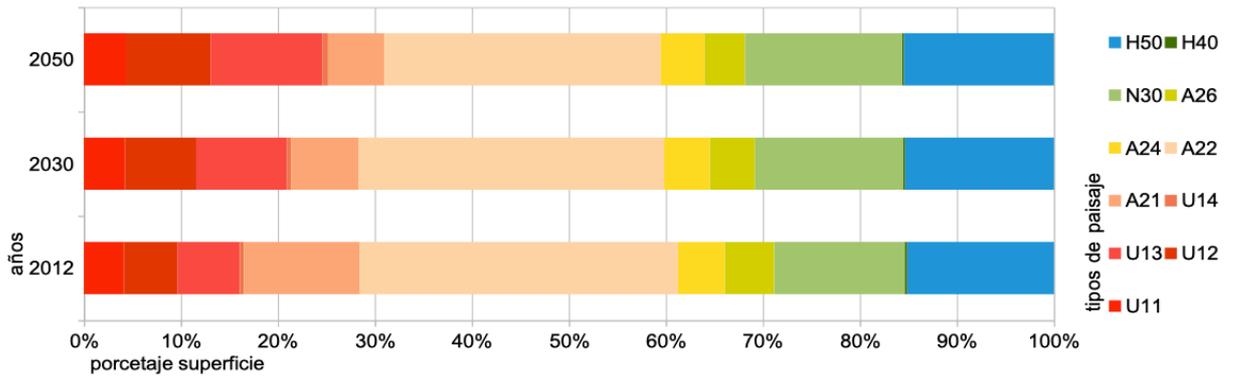


Figura 5.16. Gráfico de variabilidad de los tipos de paisaje (2012, 2030 y 2050). Escenario, área de estudio A2.

Continuando con el análisis de las dinámicas de cambio en los paisajes, al igual que lo realizado para el área de estudio A1, se explicita la dinámica de los cambios en la superficie ocupada en el territorio para cada uno de los tipos de paisaje (Figuras 5.17 y 5.18). En los tipos urbanos, dentro de su crecimiento continuo, se explicita el mayor crecimiento del urbano disperso (U12) y del industrial y terciario en llanura (U13). En los tipos agrícolas la reducción continuada hasta el final de la serie y el mantenimiento del tipo arrozal en marjal (A24). Además, se analiza el modelo de regresión polinómica que se explicita en la figura 5.19 con la curva de ajuste y sus residuales para la evolución de los tipos de paisaje en los escenarios.

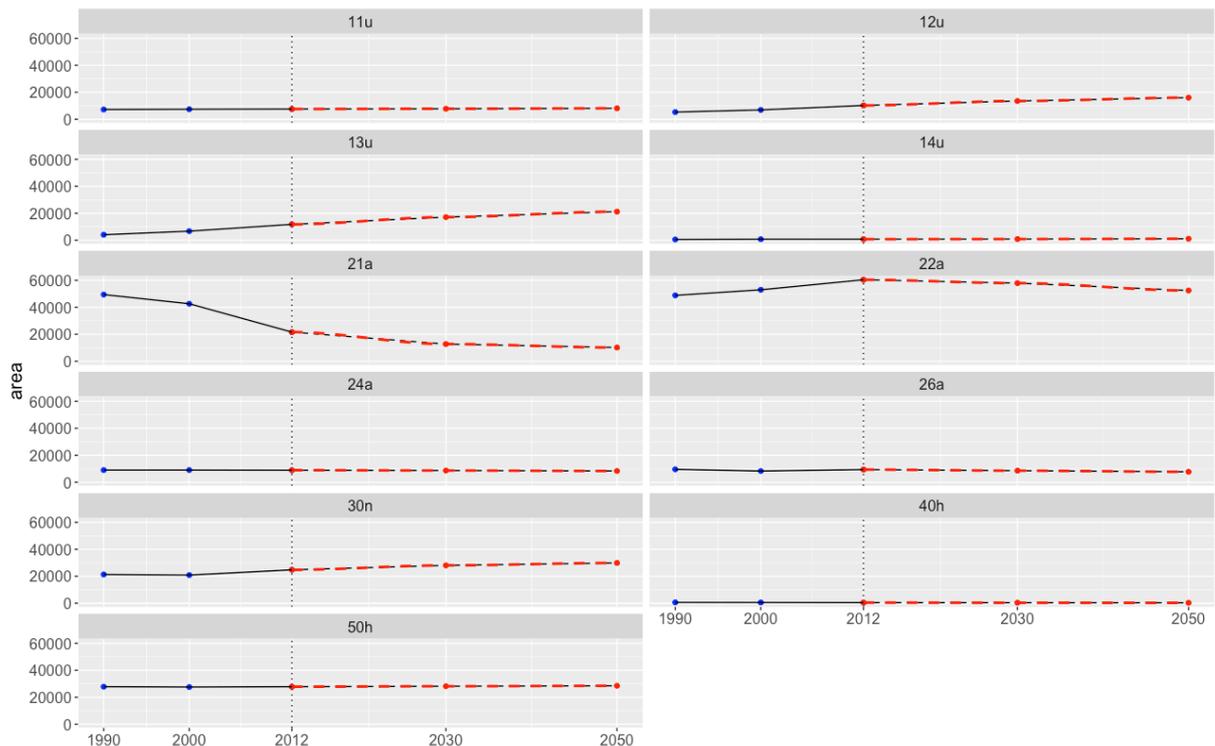


Figura 5.17. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje (1990, 2000, 2012, 2030 y 2050). Escenario, área de estudio A2.

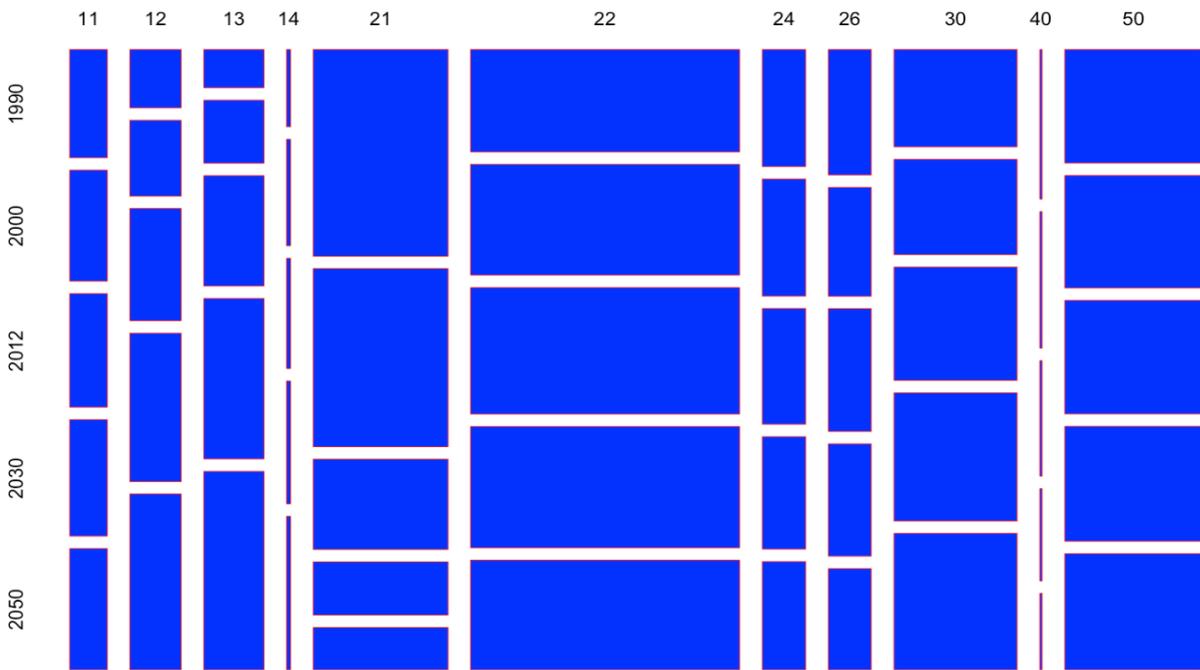


Figura 5.18. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje y su relación de proporciones en la serie temporal y escenario (1990, 2000, 2012, 2030 y 2050). Área de estudio A2.

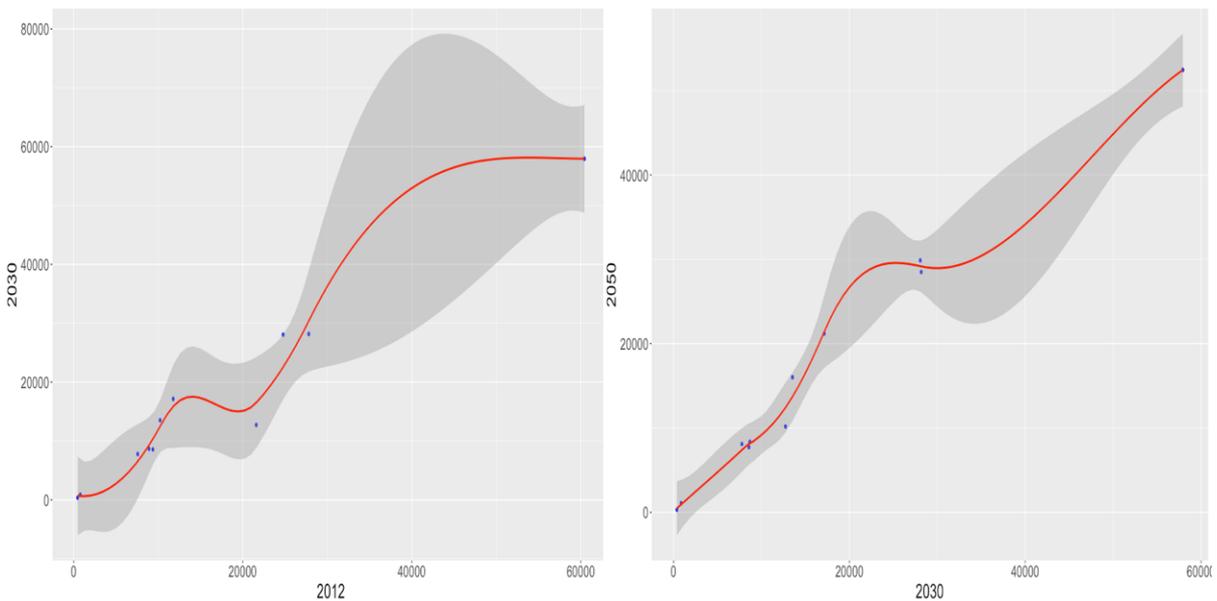


Figura 5.19. Gráfico del modelo de regresión polinómico (loess) de cambio de cada tipo de paisaje (2012 a 2050). Escenario, área de estudio A2.

El análisis pCA (Figura 5.20), muestra que los 2 primeros componentes principales X1 con el 96,6% y X2 con el 3,1%, acumulan el 99,7% del porcentaje de explicación del cambio en los tipos de paisaje. Ello da evidencia de la fuerte dominancia que tienen algunos tipos de paisaje en el cambio ocurrido a lo largo del tiempo.

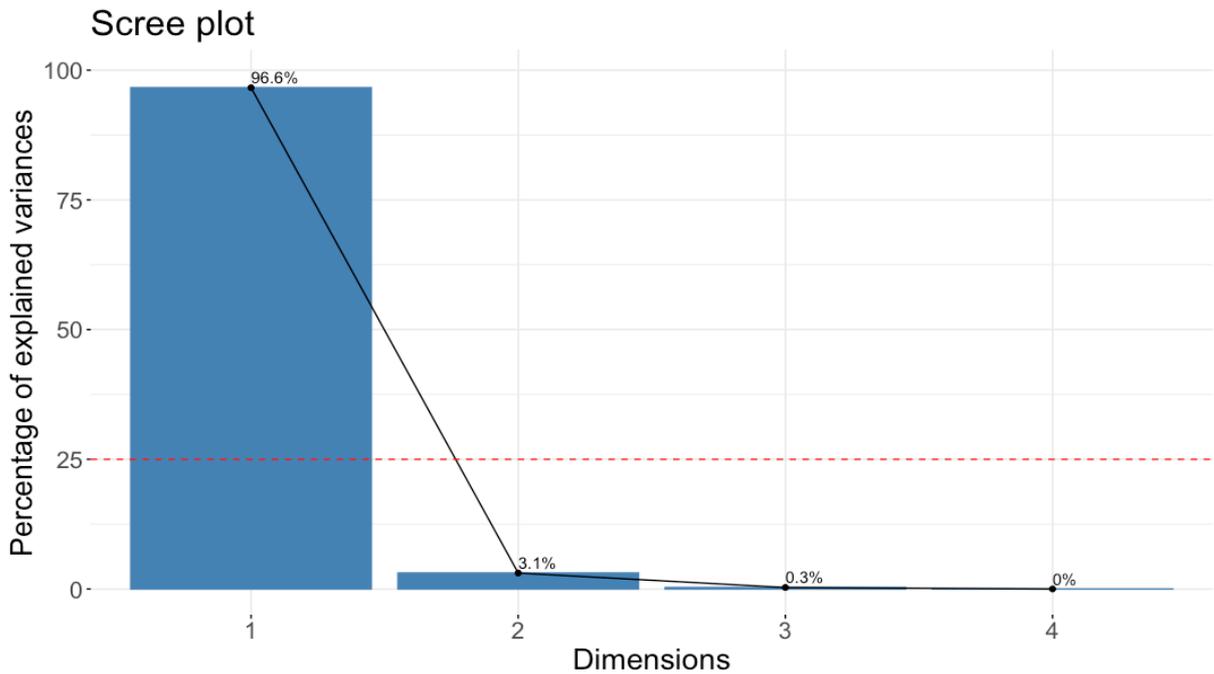


Figura 5.20. Componentes principales del cambio en los tipos de paisaje en la serie temporal y el escenario (1990 a 2050). Área de estudio A2.

En la figura 5.21 se presenta el agrupamiento de los cambios en los tipos de paisaje, así como la relación entre la dinámica de estos y el momento temporal principal en el cambio, todo ello según el análisis de correspondencia realizado. Con este análisis queda patente que la mayor contribución a la dinámica del paisaje corresponde a las huertas en regadío (A21). Como siguiente grupo de contribución al cambio son los tipos urbano industrial y terciario (U13) y urbano disperso (U12).

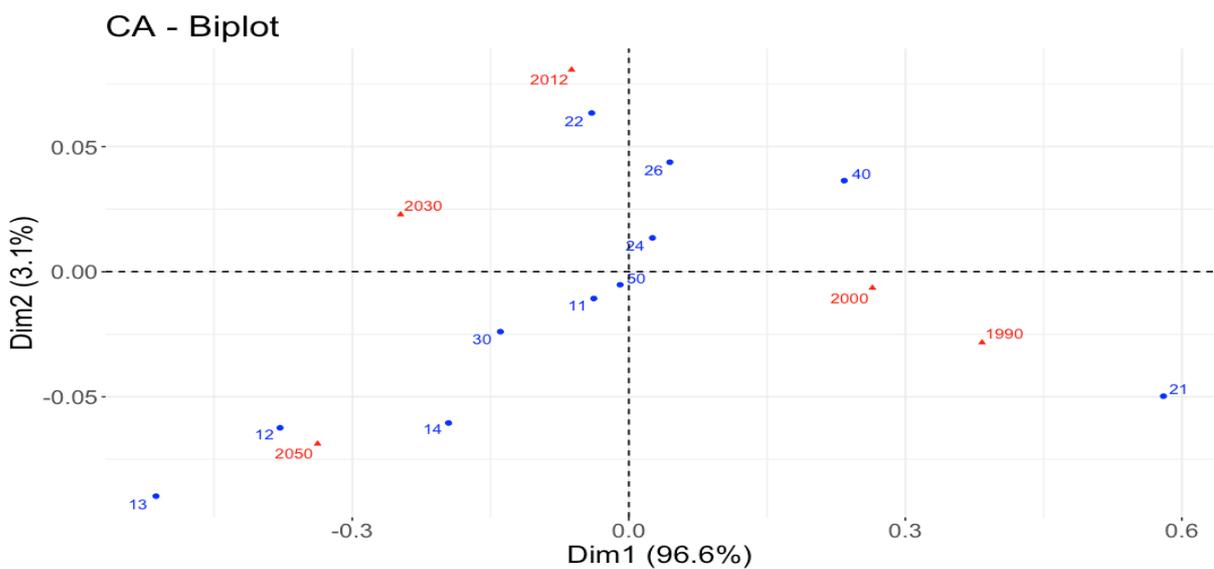


Figura 5.21. Análisis del agrupamiento de los tipos y los años de la serie temporal y el escenario utilizando los componentes principales X1 y X2. Área de estudio A2.

Continuidad (escenario 1), manteniendo las variables

El escenario de continuidad asume que las tendencias observadas en el pasado continuarán a lo largo del tiempo, siguiendo el mismo recorrido y tendencia, sin elementos o variables espaciales que modifiquen la tendencia. Para su generación mantenemos el modelo programado con su matriz de transición y las variables espaciales con sus rangos y coeficientes. En este escenario sólo se modifican las unidades de paisaje de entrada, que serán el último momento temporal (t_{2012}) correspondiente al paisaje identificado en 2012 para el área de estudio y el salto de la iteración en años para el momento temporal deseado. Con estos datos se ejecuta el modelo generando iteraciones (18 y 38 años) para obtener los escenarios en 2030a y 2050a (Figura 5.22).

tipos de paisaje

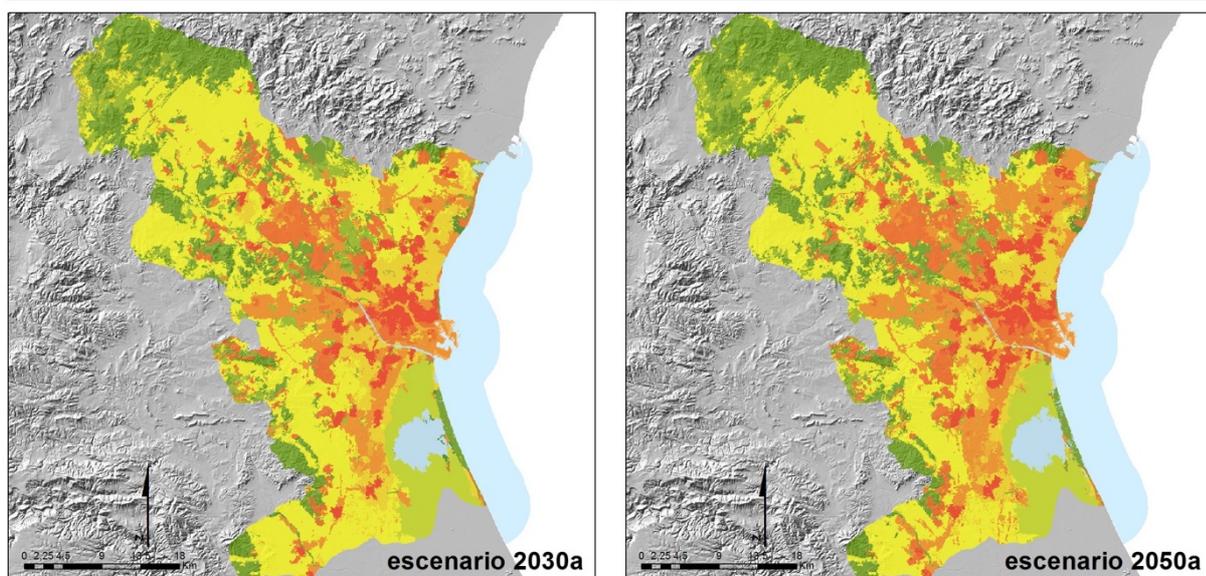


Figura 5.22. Mapas escenario 1, unidades de paisaje simuladas de 2030a y 2050a, tipos completos (11). Área de estudio A2.

Al igual que en los escenarios del área de estudio A1, para obtener la fragmentación, se calculan NP, TE y ED (Tabla 5.18). Podemos observar en la evolución de las métricas de paisaje seleccionadas que la fragmentación de las unidades de paisaje se mantiene con ligeros incrementos menores del 5% a lo largo del tiempo, aunque los resultados del modelo den un aumento considerable del número de manchas por la metodología de generación de los escenarios. La fragmentación se reduce respecto a 2012 en un 3,89% para el año 2030 y aumenta un 0,84% para el año 2050, con aumentos en la fragmentación de los tipos urbanos y reducción de esta en los tipos agrícolas (Figura 5.23).

Tabla 5.18. Métricas de paisaje por tipo: número de manchas (NP), bordes totales (TE) en Km y densidad de bordes (ED) ratio de m/ha. Escenario 1, área de estudio A2.

Tipo de paisaje	2012			2030a			2050a		
	NP	TE	ED	NP	TE	ED	NP	TE	ED
U11	47	445,79	2,426	173	565,01	3,075	247	656,47	3,573
U12	121	931,74	5,071	483	1.179,26	6,418	649	1.462,26	7,959
U13	98	846,72	4,608	433	1.250,99	6,809	543	1.565,49	8,521
U14	13	67,69	0,368	38	88,59	0,482	88	143,28	0,780
A21	201	1.974,00	10,744	603	1.118,00	6,085	369	833,17	4,535
A22	165	3.180,67	17,312	663	2.806,20	15,273	780	2.794,18	15,208
A24	2	144,37	0,786	17	155,69	0,847	31	175,70	0,956
A26	163	1.187,79	6,465	707	1.171,88	6,378	729	1.104,22	6,010
N30	155	1.916,76	10,432	619	1.896,63	10,323	809	1.981,92	10,787
H40	9	55,49	0,302	23	50,87	0,277	30	49,10	0,267
H50	4	217,26	1,182	38	258,60	1,407	61	294,98	1,606
Total	978	10.968,29		3797	10.541,71		4336	11.060,77	

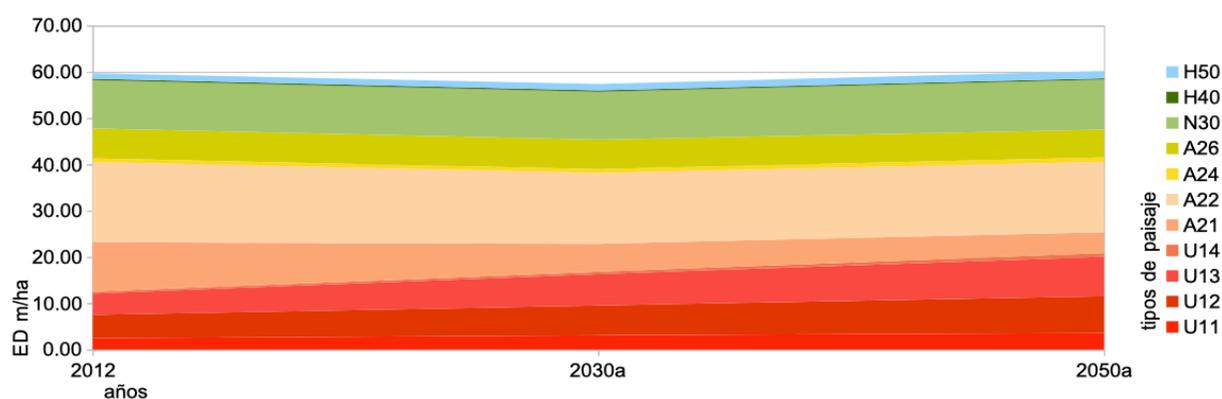


Figura 5.23. Fragmentación de tipos de paisaje: gráfico de variabilidad de densidad de bordes (ED), ratio m/ha, 2012-2030a/50a. Área de estudio A2.

C6. EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS PAISAJES

6.1. Evaluación de la capacidad de uso

La capacidad de uso de los suelos se clasifica según las características del suelo, pero también según componentes ecológicos extrínsecos como los climáticos. Nuestro trabajo toma como referencia la clasificación de la capacidad del suelo publicada en la obra “El suelo como recurso natural de la Comunidad Valenciana” (Antolín Tomás 1998). En ella, que clasifica la capacidad de uso de los suelos en 5 categorías, se ha caracterizado a la clase muy elevada capacidad (A) como el mejor suelo, sin factores limitantes y susceptible de cualquier uso en la planificación territorial, constituyendo el 3,9% del suelo de la Comunitat Valenciana. El resto de las clases tienen cada vez más factores limitantes hasta llegar a la de muy baja capacidad (E) (Antolín Tomás 1998).

En nuestro proyecto hemos relacionado la capacidad de uso con las unidades de paisaje, para conocer la capacidad de uso del suelo sobre el que se asienta principalmente cada tipo de paisaje en cada momento de la serie temporal. De esta forma obtenemos las tendencias y evaluamos la idoneidad.

6.1.1. Área de estudio A1, Castelló de la Plana

En la figura 6.01 hemos representado la unión de las unidades de paisaje y de la capacidad de uso para la serie temporal. Mediante esta unión obtenemos los ratios de superficie que cada tipo de paisaje tiene en cada capacidad de uso del suelo para cada uno de los años de la serie temporal (1910-2015). En el área de estudio A1, los suelos de muy alta capacidad de uso (A) representan el 47,18% y los de elevada (B) el 31,41%, siendo los mayoritarios al encontrarnos en una llanura litoral. El resto de los suelos representan, para los de moderada capacidad de uso (C) el 5,66%, los de baja (D) el 9,68% y los de muy baja capacidad de uso (E) el 9,76%.

tipos de paisaje



capacidad de uso

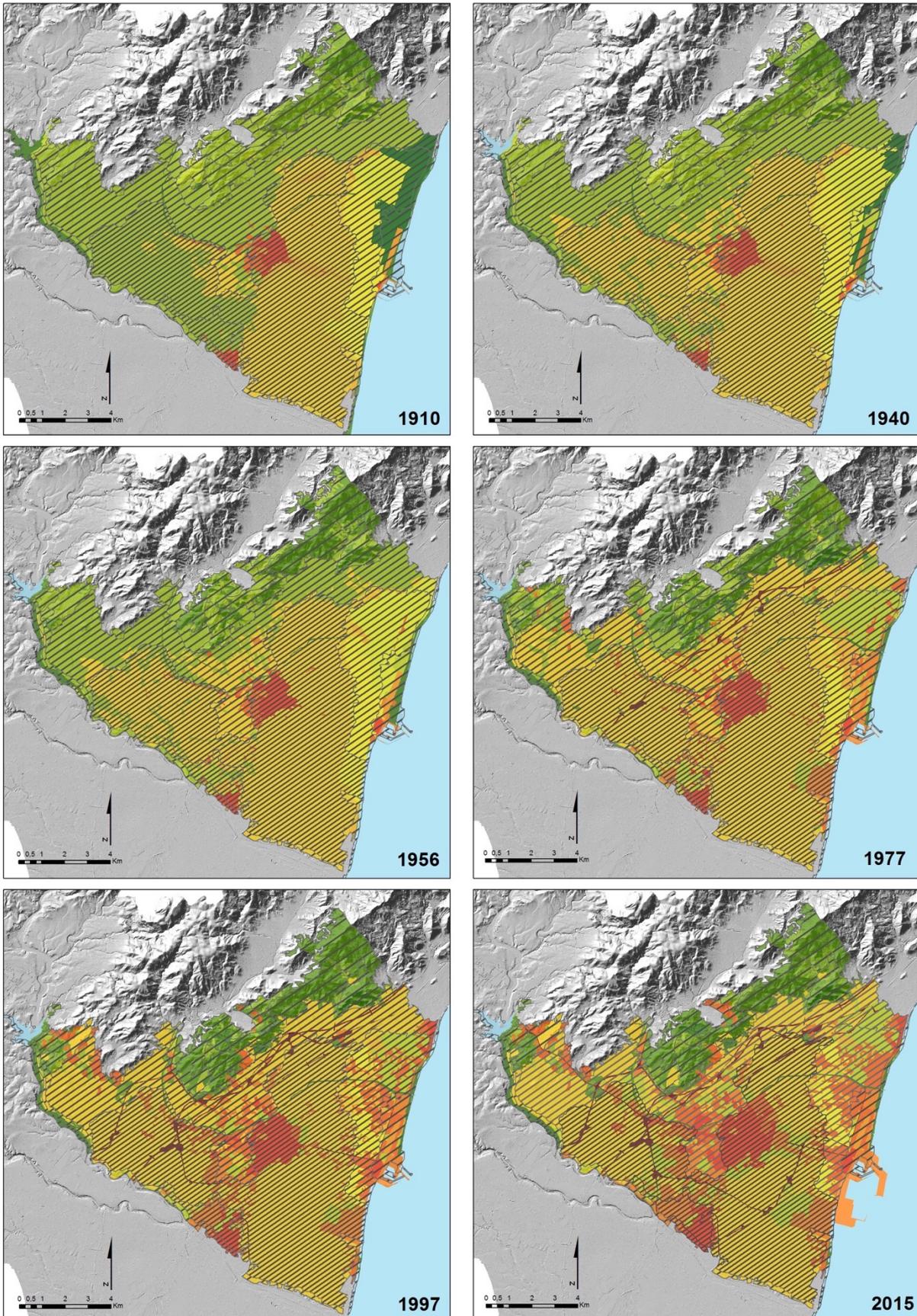


Figura 6.01. Mapa de unión de unidades de paisaje y capacidad de uso. Área de estudio A1, 1910-2015.

Se puede observar que a lo largo la serie temporal los tipos de paisaje urbanos (U11, U12, U13, U14 y U16) se asientan principalmente sobre suelos de capacidad de uso muy elevada (A), pero sus sucesivos crecimientos se realizan en su mayoría sobre suelos de capacidad de uso elevada (B). Los tipos agrícolas, y principalmente los de regadío huerta y cítricos (A21 y A22) se ubican también sobre suelos de capacidad de uso muy elevada (A), mientras que los que se ubican en el entorno del marjal, mosaico de huerta regada y arrozal (A23 y A24) son sobre capacidad de uso elevada (B). Los tipos agrícolas de secano (A26), al reducir su superficie por ser sustituidos principalmente por el de cítricos (A22), quedan recluidos en los suelos de menor capacidad de uso, llegando en 2015 a ubicarse principalmente en los suelos de baja capacidad de uso (D). Debido a este proceso de ocupación del suelo, los tipos forestales se ubican preferentemente sobre suelos con capacidad de uso baja (D), a excepción del tipo de paisaje de marjal en humedal (H41) (Tabla 6.01).

Tabla 6.01. Ratio de superficie de capacidad de uso del suelo por tipo de paisaje y año: muy elevada (A), elevada (B), moderada (C), baja (D) y muy baja (E). Ratio principal en negrita. Área de estudio A1.

Tipo	1910					1940					1956				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
U11	0,97	0,00	0,03	0,00	0,00	0,94	0,00	0,06	0,00	0,00	0,92	0,02	0,06	0,00	0,00
U12	0,62	0,38	0,00	0,00	0,00	0,57	0,43	0,00	0,00	0,00	0,51	0,45	0,03	0,00	0,01
U13	0,39	0,03	0,35	0,00	0,23	0,34	0,16	0,31	0,00	0,19	0,31	0,26	0,31	0,00	0,12
U14	0,16	0,00	0,84	0,00	0,00	0,16	0,00	0,84	0,00	0,00	0,14	0,00	0,86	0,00	0,00
A21	0,74	0,17	0,09	0,00	0,00	0,75	0,16	0,08	0,00	0,01	0,49	0,36	0,14	0,00	0,01
A22	0,91	0,06	0,01	0,00	0,02	0,87	0,11	0,01	0,00	0,01	0,84	0,14	0,00	0,00	0,01
A23	0,27	0,67	0,06	0,00	0,01	0,24	0,70	0,06	0,00	0,00	0,27	0,68	0,05	0,00	0,00
A24	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,08	0,00	0,01	0,00	0,88	0,10	0,00	0,02
A25	0,05	0,04	0,09	0,33	0,49	0,27	0,03	0,20	0,20	0,30	0,52	0,14	0,18	0,03	0,13
A26	0,31	0,44	0,05	0,16	0,04	0,12	0,53	0,07	0,22	0,06	0,11	0,55	0,08	0,19	0,06
N31	0,00	0,02	0,01	0,16	0,81	0,00	0,02	0,01	0,16	0,81	0,00	0,28	0,72	0,00	0,00
N32	0,00	0,01	0,00	0,26	0,73	0,00	0,01	0,00	0,22	0,77	0,00	0,05	0,03	0,36	0,56
N33	0,14	0,07	0,13	0,36	0,30	0,19	0,10	0,28	0,25	0,17	0,13	0,09	0,31	0,24	0,22
H41	0,01	0,64	0,27	0,00	0,08	0,00	0,60	0,23	0,00	0,17					
H52						0,00	0,00	0,03	0,97	0,00	0,00	0,00	0,03	0,97	0,00
H53	0,00	0,00	0,01	0,00	0,99	0,00	0,00	0,01	0,00	0,99	0,00	0,00	0,01	0,00	0,99
Tipo	1977					1997					2015				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
U11	0,85	0,10	0,05	0,00	0,00	0,77	0,17	0,04	0,00	0,02	0,73	0,21	0,04	0,00	0,01
U12	0,23	0,53	0,17	0,05	0,03	0,17	0,59	0,14	0,08	0,01	0,21	0,56	0,14	0,07	0,01
U13	0,55	0,19	0,19	0,00	0,07	0,61	0,22	0,12	0,00	0,06	0,56	0,18	0,09	0,00	0,17
U14	0,17	0,00	0,83	0,00	0,00	0,18	0,14	0,68	0,00	0,00	0,40	0,16	0,44	0,00	0,00
U16	0,32	0,67	0,00	0,00	0,01	0,40	0,56	0,03	0,00	0,01	0,48	0,48	0,02	0,01	0,01
A21	0,01	0,85	0,13	0,00	0,00	0,00	0,86	0,14	0,00	0,00	0,13	0,87	0,01	0,00	0,00
A22	0,68	0,30	0,00	0,00	0,02	0,65	0,31	0,01	0,02	0,02	0,64	0,30	0,02	0,02	0,03

Tipo	1977					1997					2015				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
A23	0,09	0,86	0,04	0,00	0,00	0,10	0,88	0,02	0,00	0,00	0,08	0,90	0,02	0,00	0,00
A25	0,22	0,62	0,07	0,03	0,05	0,29	0,58	0,06	0,01	0,06	0,48	0,49	0,01	0,00	0,02
A26	0,02	0,36	0,21	0,34	0,07	0,00	0,22	0,23	0,48	0,07	0,00	0,24	0,21	0,45	0,09
N31	0,00	0,02	0,00	0,11	0,87	0,00	0,35	0,02	0,42	0,22	0,00	0,13	0,08	0,41	0,38
N32	0,01	0,11	0,06	0,43	0,39	0,01	0,07	0,09	0,39	0,44	0,01	0,10	0,08	0,39	0,42
N33	0,15	0,19	0,12	0,36	0,18	0,13	0,17	0,13	0,42	0,15	0,11	0,16	0,08	0,47	0,18
H52	0,00	0,00	0,03	0,97	0,00	0,00	0,00	0,03	0,97	0,00	0,00	0,00	0,03	0,97	0,00
H53	0,00	0,00	0,01	0,00	0,99	0,00	0,00	0,01	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99

Los escenarios modelizados, tanto el de continuidad como el cambio, mantienen la tendencia en gran medida. Dado que ambos escenarios tienen un comportamiento similar respecto a la capacidad de uso del suelo, indica que el planeamiento urbanístico no utiliza la capacidad de uso como factor limitante o no incide en ello (Figuras 6.02a y b, tablas 6.02a y b). En los escenarios, el modelo de crecimiento de los suelos urbanos (U12, U13, U14 y U16) se materializa básicamente sobre los suelos clase B y en menor medida de clase C. En el caso del tipo de paisaje urbano compacto (U11) crece sobre los suelos de clase A y C, algo que se amplifica en el escenario 2 con el planeamiento urbanístico propuesto por el ayuntamiento de Castelló de la Plana.

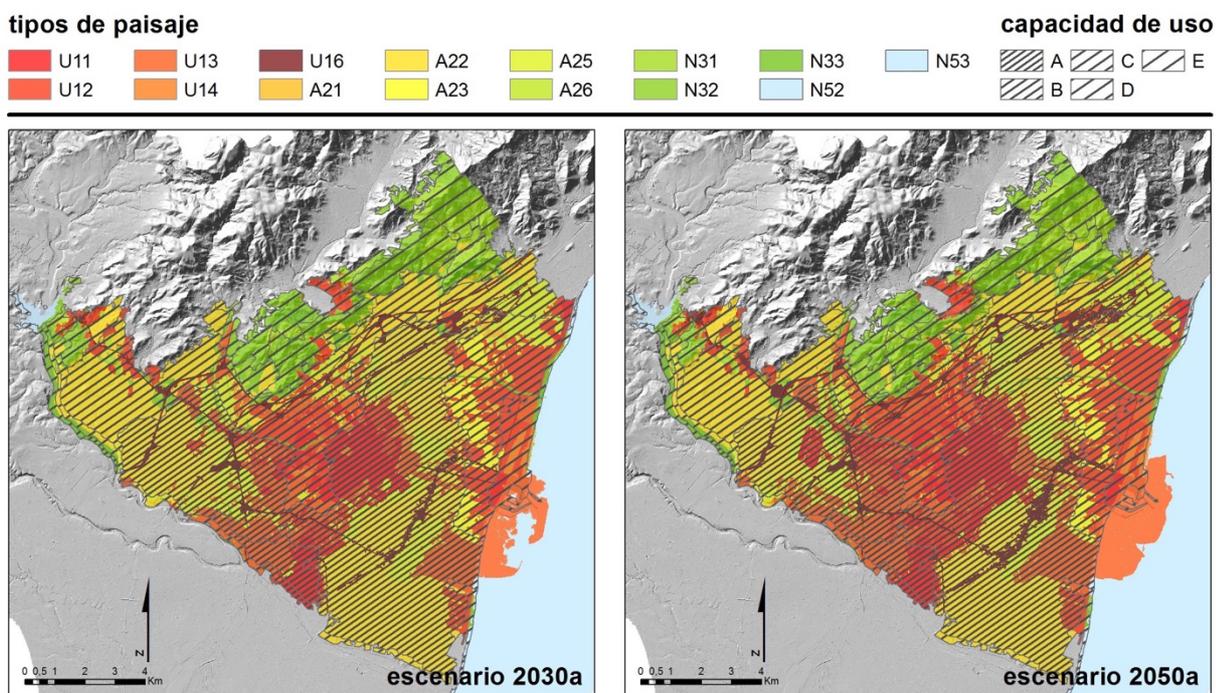


Figura 6.02a. Mapa de unión de unidades de paisaje y capacidad de uso. Escenario 1, área de estudio A1, 2030a-50a.

Tabla 6.02a. Ratio de superficie de capacidad de uso del suelo por tipo de paisaje y año: muy elevada (A), elevada (B), moderada (C), baja (D) y muy baja (E). Ratio principal en negrita. Escenario 1, área de estudio A1.

Tipo	2015					2030 a					2050 a				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
U11	0,73	0,21	0,04	0,00	0,01	0,73	0,23	0,03	0,00	0,01	0,73	0,24	0,03	0,00	0,01
U12	0,21	0,56	0,14	0,07	0,01	0,25	0,54	0,14	0,06	0,01	0,26	0,53	0,13	0,06	0,01
U13	0,56	0,18	0,09	0,00	0,17	0,54	0,18	0,07	0,00	0,21	0,53	0,17	0,06	0,00	0,25
U14	0,40	0,16	0,44	0,00	0,00	0,42	0,25	0,29	0,00	0,03	0,43	0,27	0,24	0,00	0,05
U16	0,48	0,48	0,02	0,01	0,01	0,50	0,46	0,02	0,02	0,01	0,50	0,45	0,01	0,03	0,00
A21	0,13	0,87	0,01	0,00	0,00	0,03	0,97	0,01	0,00	0,00	0,03	0,97	0,00	0,00	0,00
A22	0,64	0,30	0,02	0,02	0,03	0,61	0,30	0,02	0,03	0,03	0,57	0,33	0,02	0,04	0,04
A23	0,08	0,90	0,02	0,00	0,00	0,09	0,89	0,01	0,00	0,00	0,14	0,86	0,00	0,00	0,00
A25	0,48	0,49	0,01	0,00	0,02	0,57	0,41	0,00	0,00	0,01	0,62	0,37	0,00	0,00	0,01
A26	0,00	0,24	0,21	0,45	0,09	0,00	0,31	0,16	0,40	0,13	0,00	0,31	0,17	0,38	0,14
N31	0,00	0,13	0,08	0,41	0,38	0,00	0,07	0,02	0,37	0,53	0,00	0,06	0,03	0,37	0,53
N32	0,01	0,10	0,08	0,39	0,42	0,03	0,11	0,10	0,40	0,36	0,04	0,12	0,10	0,38	0,35
N33	0,11	0,16	0,08	0,47	0,18	0,10	0,15	0,07	0,48	0,21	0,09	0,13	0,07	0,51	0,20
H52	0,00	0,00	0,03	0,97	0,00	0,00	0,00	0,03	0,96	0,00	0,00	0,00	0,03	0,96	0,00
H53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

tipos de paisaje



capacidad de uso

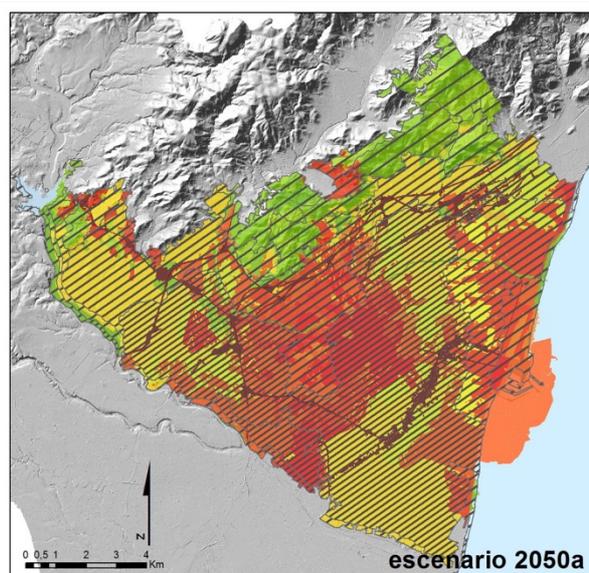
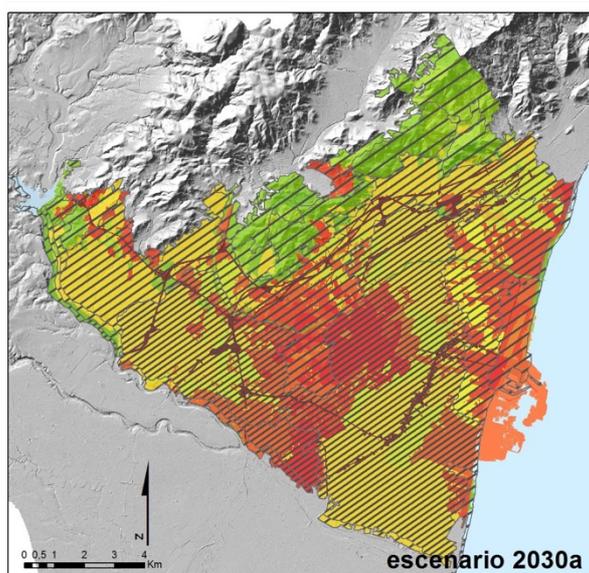


Figura 6.02b. Mapa de unión de unidades de paisaje y capacidad de uso. Escenario 2, área de estudio A1, 2030a-50a.

Tabla 6.02b. Ratio de superficie de capacidad de uso del suelo por tipo de paisaje y año: muy elevada (A), elevada (B), moderada (C), baja (D) y muy baja (E). Ratio principal en negrita. Escenario 2, área de estudio A1.

Tipo	2015					2030 b					2050 b				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
U11	0,73	0,21	0,04	0,00	0,01	0,73	0,23	0,03	0,00	0,01	0,73	0,24	0,03	0,00	0,01
U12	0,21	0,56	0,14	0,07	0,01	0,25	0,54	0,14	0,06	0,01	0,27	0,53	0,13	0,06	0,01
U13	0,56	0,18	0,09	0,00	0,17	0,53	0,18	0,07	0,00	0,22	0,52	0,17	0,07	0,00	0,25
U14	0,40	0,16	0,44	0,00	0,00	0,45	0,22	0,29	0,00	0,04	0,50	0,26	0,20	0,00	0,04
U16	0,48	0,48	0,02	0,01	0,01	0,50	0,45	0,02	0,02	0,01	0,51	0,43	0,01	0,03	0,00
A21	0,13	0,87	0,01	0,00	0,00	0,06	0,93	0,01	0,00	0,00	0,03	0,97	0,00	0,00	0,00
A22	0,64	0,30	0,02	0,02	0,03	0,61	0,31	0,02	0,03	0,03	0,57	0,33	0,02	0,04	0,04
A23	0,08	0,90	0,02	0,00	0,00	0,09	0,90	0,02	0,00	0,00	0,10	0,89	0,00	0,00	0,00
A25	0,48	0,49	0,01	0,00	0,02	0,57	0,41	0,00	0,00	0,01	0,62	0,37	0,00	0,01	0,01
A26	0,00	0,24	0,21	0,45	0,09	0,00	0,32	0,16	0,39	0,13	0,00	0,31	0,17	0,38	0,14
N31	0,00	0,13	0,08	0,41	0,38	0,00	0,08	0,03	0,35	0,54	0,00	0,06	0,04	0,38	0,52
N32	0,01	0,10	0,08	0,39	0,42	0,03	0,12	0,09	0,41	0,36	0,05	0,12	0,09	0,38	0,36
N33	0,11	0,16	0,08	0,47	0,18	0,10	0,14	0,07	0,49	0,20	0,09	0,13	0,06	0,50	0,21
H52	0,00	0,00	0,03	0,97	0,00	0,00	0,00	0,03	0,96	0,00	0,00	0,00	0,03	0,96	0,00
H53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

6.1.2. Área de estudio A2, área metropolitana de Valencia

Al igual que en el área de estudio A1, en la figura 6.03 hemos representado la superposición de las unidades de paisaje y de la capacidad de uso para la serie temporal, obteniendo las ratios de superficie que cada tipo de paisaje tiene en cada clase para cada uno de los años de la serie temporal (1990-2012). En el área de estudio A2, los suelos de clase A representan el 23,36% y los B el 33,15%, siendo los mayoritarios al encontrarnos en una llanura litoral. El resto de los suelos representan, para la clase C el 19,75%, la D el 20,90% y la E el 2,89%.

Se puede observar que a lo largo la serie temporal los tipos de paisaje urbanos densos (U11, U13 y U14) se asientan principalmente sobre suelos de clase A, a excepción del urbano disperso (U12) que se asienta en suelos de clase D. Todos los urbanos, sus crecimientos se realizan en su mayoría sobre suelos de clase A. Los tipos agrícolas, tanto de regadío como de seco (A21, A22 y A26) se ubican sobre suelos de clase B, mientras que el tipo arrozal que se ubica en el entorno del marjal (A24) es sobre clase C. Debido al proceso de ocupación del suelo y de generación de los paisajes urbanos y agrícolas, los tipos forestales (N30 y N40) se ubican preferentemente sobre suelos de clase D (Tabla 6.03).

tipos de paisaje



capacidad de uso

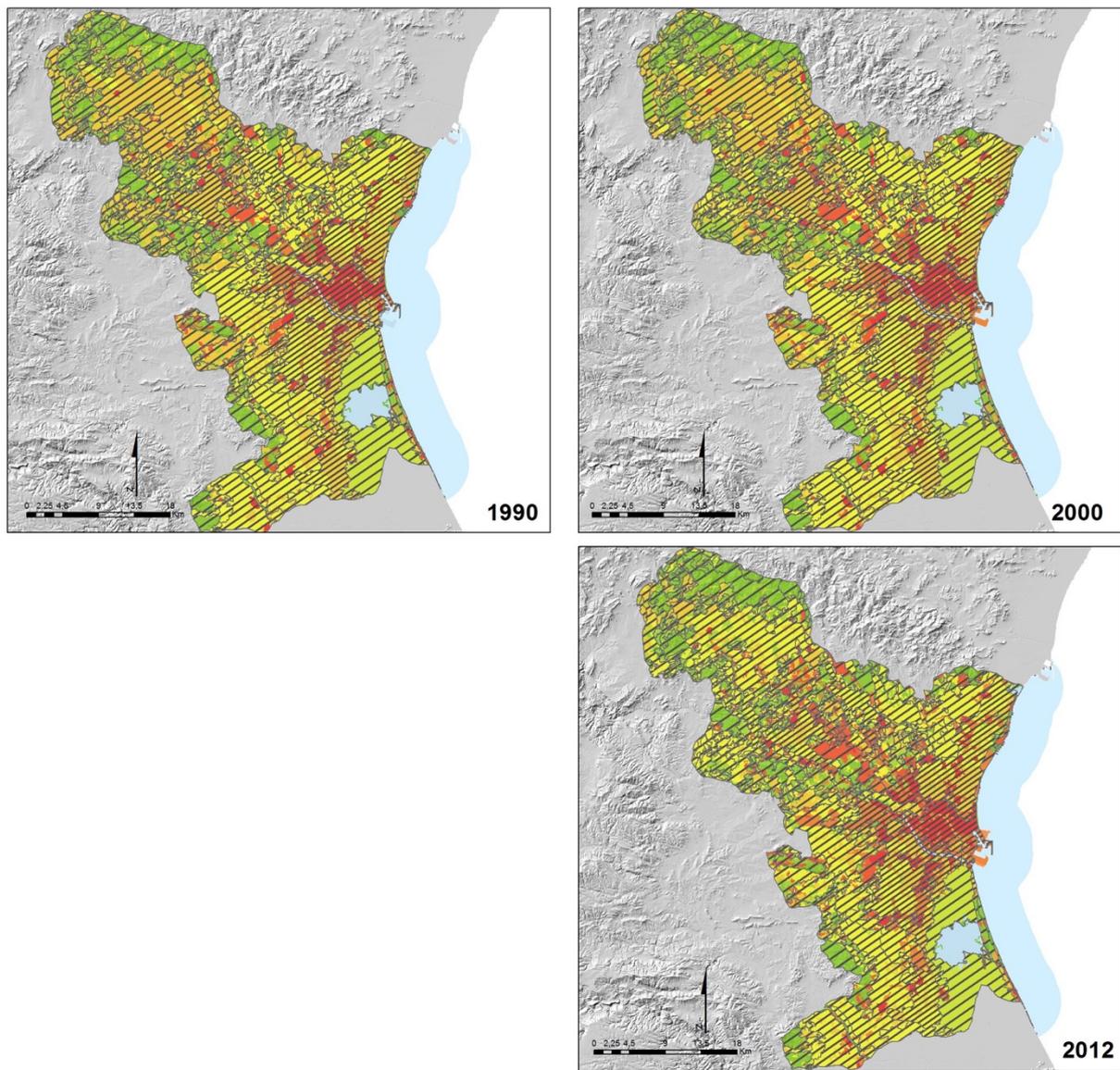


Figura 6.03. Mapa de unión de unidades de paisaje y capacidad de uso. Área de estudio A2, 1990-2012.

Tabla 6.03. Ratio de superficie de capacidad de uso del suelo por tipo de paisaje y año: muy elevada (A), elevada (B), moderada (C), baja (D) y muy baja (E). Ratio principal en negrita. Área de estudio A2.

Tipo	1990					2000					2012				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
U11	0,72	0,12	0,08	0,07	0,01	0,72	0,11	0,07	0,08	0,01	0,77	0,12	0,04	0,06	0,00
U12	0,04	0,10	0,30	0,54	0,02	0,08	0,13	0,30	0,52	0,02	0,13	0,17	0,26	0,42	0,02
U13	0,67	0,12	0,10	0,07	0,04	0,51	0,18	0,09	0,06	0,06	0,45	0,31	0,09	0,10	0,06
U14	0,48	0,04	0,00	0,32	0,16	0,66	0,09	0,00	0,28	0,13	0,66	0,14	0,01	0,15	0,03
A21	0,31	0,37	0,23	0,08	0,01	0,33	0,36	0,22	0,08	0,01	0,45	0,30	0,18	0,07	0,01
A22	0,25	0,58	0,07	0,09	0,01	0,23	0,58	0,10	0,09	0,01	0,20	0,58	0,14	0,07	0,01

Tipo	1990					2000					2012				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
A24	0,03	0,01	0,94	0,02	0,00	0,03	0,01	0,94	0,02	0,00	0,03	0,01	0,94	0,02	0,00
A26	0,04	0,35	0,34	0,26	0,01	0,03	0,32	0,37	0,27	0,01	0,11	0,33	0,30	0,24	0,02
N30	0,02	0,03	0,09	0,73	0,13	0,01	0,04	0,08	0,74	0,14	0,02	0,06	0,13	0,67	0,12
H40	0,05	0,04	0,26	0,61	0,04	0,05	0,04	0,28	0,56	0,04	0,15	0,11	0,18	0,50	0,06
H50	0,01	0,00	0,00	0,08	0,90	0,01	0,00	0,00	0,08	0,90	0,01	0,00	0,01	0,09	0,89

El escenario modelizado, de continuidad, mantiene la tendencia en gran medida (Figura 6.04, tabla 6.04). En el escenario, el modelo de crecimiento de los suelos urbanos densos (U11, U13 y U14) se materializa básicamente sobre los suelos de clase A y en menor medida de clase C. En el caso del tipo de paisaje urbano disperso (U12) crece sobre los suelos de clase A y B.

tipos de paisaje



capacidad de uso

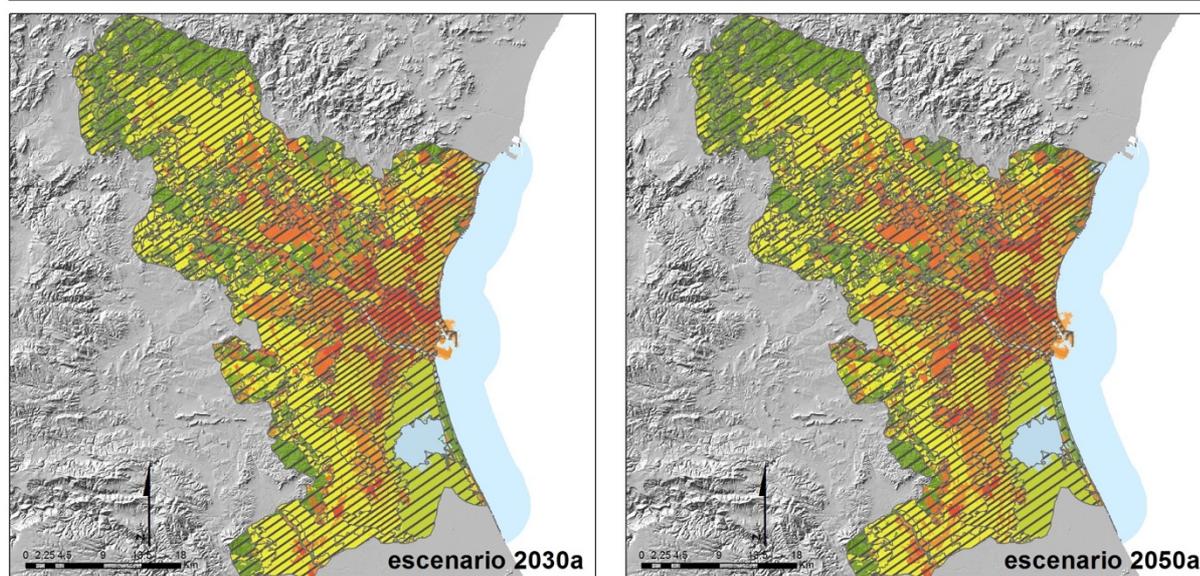


Figura 6.04. Mapa de unión de unidades de paisaje y capacidad de uso. Escenario, área de estudio A2, 2030a-50a.

Tabla 6.04. Ratio de superficie de capacidad de uso del suelo por tipo de paisaje y año: muy elevada (A), elevada (B), moderada (C), baja (D) y muy baja (E). Ratio principal en negrita. Escenario, área de estudio A2.

Tipo	2012					2030					2050				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
U11	0,77	0,12	0,04	0,06	0,00	0,79	0,13	0,03	0,05	0,00	0,80	0,15	0,03	0,03	0,00
U12	0,13	0,17	0,26	0,42	0,02	0,17	0,20	0,22	0,39	0,01	0,22	0,23	0,19	0,36	0,01
U13	0,45	0,31	0,09	0,10	0,06	0,40	0,40	0,08	0,08	0,05	0,36	0,46	0,07	0,07	0,04
U14	0,66	0,14	0,01	0,15	0,03	0,67	0,26	0,04	0,02	0,00	0,62	0,35	0,02	0,01	0,00

Tipo	2012					2030					2050				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
A21	0,45	0,30	0,18	0,07	0,01	0,79	0,13	0,06	0,02	0,00	0,84	0,13	0,03	0,00	0,00
A22	0,20	0,58	0,14	0,07	0,01	0,15	0,60	0,18	0,06	0,01	0,15	0,58	0,20	0,06	0,01
A24	0,03	0,01	0,94	0,02	0,00	0,04	0,01	0,94	0,01	0,00	0,04	0,01	0,94	0,01	0,00
A26	0,11	0,33	0,30	0,24	0,02	0,11	0,39	0,29	0,20	0,00	0,10	0,46	0,28	0,15	0,01
N30	0,02	0,06	0,13	0,67	0,12	0,02	0,06	0,16	0,65	0,11	0,02	0,07	0,18	0,62	0,10
H40	0,15	0,11	0,18	0,50	0,06	0,34	0,14	0,13	0,32	0,06	0,51	0,20	0,05	0,17	0,07
H50	0,01	0,00	0,01	0,09	0,89	0,01	0,00	0,02	0,09	0,88	0,01	0,00	0,02	0,10	0,87

6.2. Evaluación de la capacidad de retención de agua

La evaluación de la capacidad de retención de agua del suelo se efectúa según las características del suelo: la agregación, la textura y la estructura con el volumen de poros, las fases líquidas y gaseosas y su movilidad. Se parte del concepto del suelo como acumulador de agua, capaz de retener el agua en su interior como un depósito abierto y generar una reserva de agua (Ingelmo Sánchez y Cuadrado Sánchez 1986).

Utilizando el concepto de potencial de agua en el suelo, y en concreto la capacidad de campo entendida como la humedad retenida en un suelo que tras la saturación pierde por drenaje el agua gravitacional. Esta humedad retenida es muy variable, dependiendo de la asociación de suelos y su composición textural (arena, limo, arcilla). Con la retención de humedad en porcentaje de cada asociación de suelos y el perfil de cada una de ellas, obtenemos la acumulación de agua de este suelo en mm como retención ponderada (l/m^2), este valor se pondera según la incidencia del sellado, así obtenemos la capacidad de retención de agua afectiva (Añó Vidal, Pascual Aguilar y Sánchez Díaz 2005; Pascual Aguilar 2002; Pascual Aguilar, Andreu y Gimeno-García 2017).

En nuestro proyecto superponemos la capacidad de retención de agua, con el sellado del suelo y con las unidades de paisaje, para obtener la retención de agua total del suelo sobre la que se asienta cada tipo de paisaje en cada momento de la serie temporal. De esta forma obtenemos las tendencias y evaluamos la idoneidad (Pascual Aguilar 2002; Pascual Aguilar, Sanz García y de Bustamante Gutierrez 2011).

6.2.1. Área de estudio A1, Castelló de la Plana

Para el área de estudio A1, se obtienen las asociaciones de suelos, los perfiles y la retención de humedad que corresponden al territorio del área de estudio, a partir de los

trabajos realizados sobre los cítricos y los suelos de naranjos (Hernando Fernández et al. 1971; C.E.B.A.S 1975) (Tabla 6.05).

Tabla 6.05. Asociación de suelos (WRB), potencia media del perfil (cm), capacidad de retención de agua (%) y la retención de humedad ponderada (mm). Área de estudio A1.

Asociación suelos Tipos (WRB)	Potencia media (cm)	Capacidad retención agua (%)	Ret. humedad ponderada (mm)
Calcisol Petric	78,40	0,18339	143,78
Cambisol Calcaric	58,33	0,18168	105,97
Fluvisol Calcaric	101,83	0,16090	163,84
Gleysol Calcic	95,00	0,06221	59,10
Luvisol Calcic	106,25	0,20212	214,75
Regosol Eutric	60,00	0,11906	71,43

Para obtener la capacidad de retención de agua efectiva del suelo, tenemos que obtener el suelo no sellado. Para ello, obtenemos la ratio por tipos de paisajes de suelo no sellado, según los datos de HRL- *High Resolution Layer* (Copernicus 2017). En el caso del área de estudio A1 obtenemos los valores que se muestran en la tabla 6.06.

Tabla 6.06. Ratio de superficie de suelo sellado y no sellado según los tipos de paisaje. Área de estudio A1.

	U11	U12	U13	U14	U16	A21	A22	A23	A24	A25	A26	N31	N32	N33	H41
sellado	0,72	0,21	0,63	0,18	0,36	0,05	0,04	0,05	0,05	0,08	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
no sellado	0,279	0,789	0,368	0,815	0,645	0,952	0,963	0,945	0,950	0,924	0,966	0,972	0,970	0,958	0,975

Se puede observar a lo largo la serie temporal que la capacidad de retención de agua efectiva del suelo se reduce paulatinamente por el sellado del suelo, producido principalmente en los tipos de paisaje urbanos densos (U11, U13, U14 y U16), teniendo el urbano disperso (U12) una importancia menor. Esta reducción de la capacidad de retención se acelera a partir de 1956 y no se ralentiza hasta el momento más próximo al actual (2015) por los crecimientos de los tipos urbanos densos (Figura 6.05).

Como es evidente, los tipos de paisaje agrícolas y forestales, al tener una ratio de sellado muy bajo y mayor cantidad de superficie, son los suelos sobre los que produce la mayor parte de la retención de agua efectiva. A ellos se suma el tipo de paisaje urbano disperso (U12) debido a su relativamente baja ratio de sellado y su importante crecimiento en superficie ocupada en los últimos momentos de la serie temporal (Tabla 6.07).

capacidad retención agua

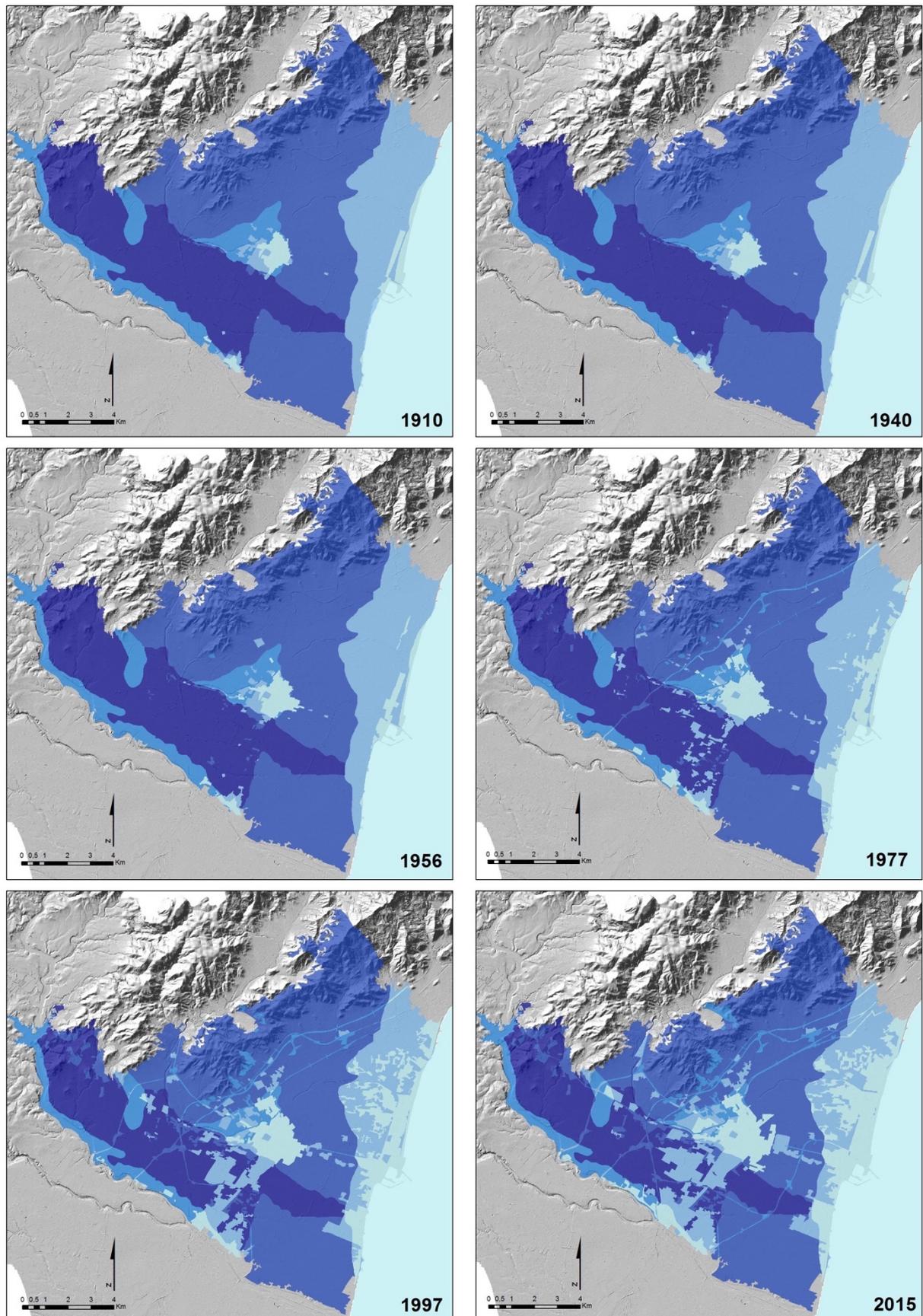
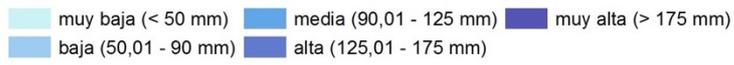


Figura 6.05. Mapa de capacidad de retención de agua efectiva (mm). Área de estudio 1.

Tabla 6.07. Capacidad de retención de agua efectiva del suelo (m³) por tipo de paisaje y año y ratio de cambio (1910-2015). Área de estudio A1.

Tipo	1910	1940	1956	1977	1997	2015
U11	65.442,44	78.792,14	107.163,80	198.408,04	264.126,95	358.507,12
U12	167.233,94	195.553,20	223.855,48	454.300,96	1.152.661,18	1.515.169,62
U13	10.094,61	12.973,04	29.230,48	252.576,42	523.069,32	717.976,75
U14	29.602,01	29.602,01	33.240,48	27.881,94	46.539,70	128.682,72
U16	0,00	0,00	0,00	135.526,90	323.672,03	510.354,47
A21	395.589,11	440.866,63	192.043,18	136.280,34	56.520,76	48.895,72
A22	6.981.552,33	10.385.829,05	11.071.002,62	13.385.844,27	12.624.881,85	10.047.884,98
A23	597.652,69	513.139,71	427.839,76	237.713,22	223.429,68	220.251,96
A24	196.718,10	369.462,96	498.609,57	0,00	0,00	0,00
A25	246.116,51	381.799,40	337.047,66	1.049.685,03	914.027,44	1.963.872,29
A26	11.333.169,56	7.814.520,96	6.586.411,03	2.016.474,54	455.314,94	247.974,11
N31	887.024,01	825.536,30	1.221,80	415.747,42	305.955,82	663.370,84
N32	512.379,21	515.582,26	2.117.046,28	2.512.940,01	3.059.749,40	2.741.871,11
N33	332.815,67	249.253,23	196.756,52	283.274,68	316.775,64	336.909,91
H41	305.514,04	106.244,46	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	22.060.904,23	21.919.155,36	21.821.468,64	21.106.653,76	20.266.724,72	19.501.721,60
Ratio		0,994	0,996	0,967	0,960	0,962

En los escenarios modelizados, tanto en el de continuidad (1) como en el de cambio (2), se estabiliza la reducción de la capacidad de retención de agua efectiva en el suelo. Aunque siguen aumentando en superficie los tipos de paisaje urbano, el mayor crecimiento de los tipos urbano disperso (U12) y espacio libre urbano (U14) con menores ratios de sellado del suelo hacen que no disminuya significativamente la capacidad de retención de agua efectiva para el área de estudio A1 (Figura 6.06 y tabla 6.08).

Tabla 6.08. Capacidad de retención de agua efectiva del suelo (m³) por tipo de paisaje y año y ratio de cambio (2015-2050). Escenarios 1 y 2, área de estudio A1.

Tipo	2015	E1 2030a	E1 2050a	E2 2030b	E2 2050b
U11	358.507,12	491.579,04	665.116,04	493.733,79	666.606,80
U12	1.515.169,62	1.878.749,16	2.096.475,47	1.887.074,13	2.165.949,40
U13	717.976,75	913.264,74	1.159.757,70	902.939,16	1.139.497,57
U14	128.682,72	215.903,53	266.695,17	220.888,67	339.648,03
U16	510.354,47	664.851,84	849.635,61	661.726,92	846.069,54
A21	48.895,72	30.400,60	26.513,55	31.907,40	25.740,53
A22	10.047.884,98	8.196.199,92	6.275.255,22	8.230.396,02	6.303.580,14
A23	220.251,96	220.593,24	219.947,33	216.607,06	206.203,67
A24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A25	1.963.872,29	2.159.739,09	2.282.087,18	2.132.236,94	2.139.149,63

Tipo	2015	E1 2030a	E1 2050a	E2 2030b	E2 2050b
A26	247.974,11	155.533,50	137.494,91	158.880,51	141.157,62
N31	663.370,84	925.239,88	1.106.131,62	926.209,65	1.102.934,32
N32	2.741.871,11	2.476.273,27	2.218.656,38	2.472.918,21	2.236.638,36
N33	336.909,91	358.894,76	401.410,95	361.281,52	404.956,20
Total	19.501.721,60	18.687.222,56	17.705.177,15	18.696.799,98	17.718.131,79
Ratio		0,958	0,947	0,959	0,948

capacidad retención agua

■ muy baja (< 50 mm)
 ■ media (90,01 - 125 mm)
 ■ muy alta (> 175 mm)
■ baja (50,01 - 90 mm)
■ alta (125,01 - 175 mm)

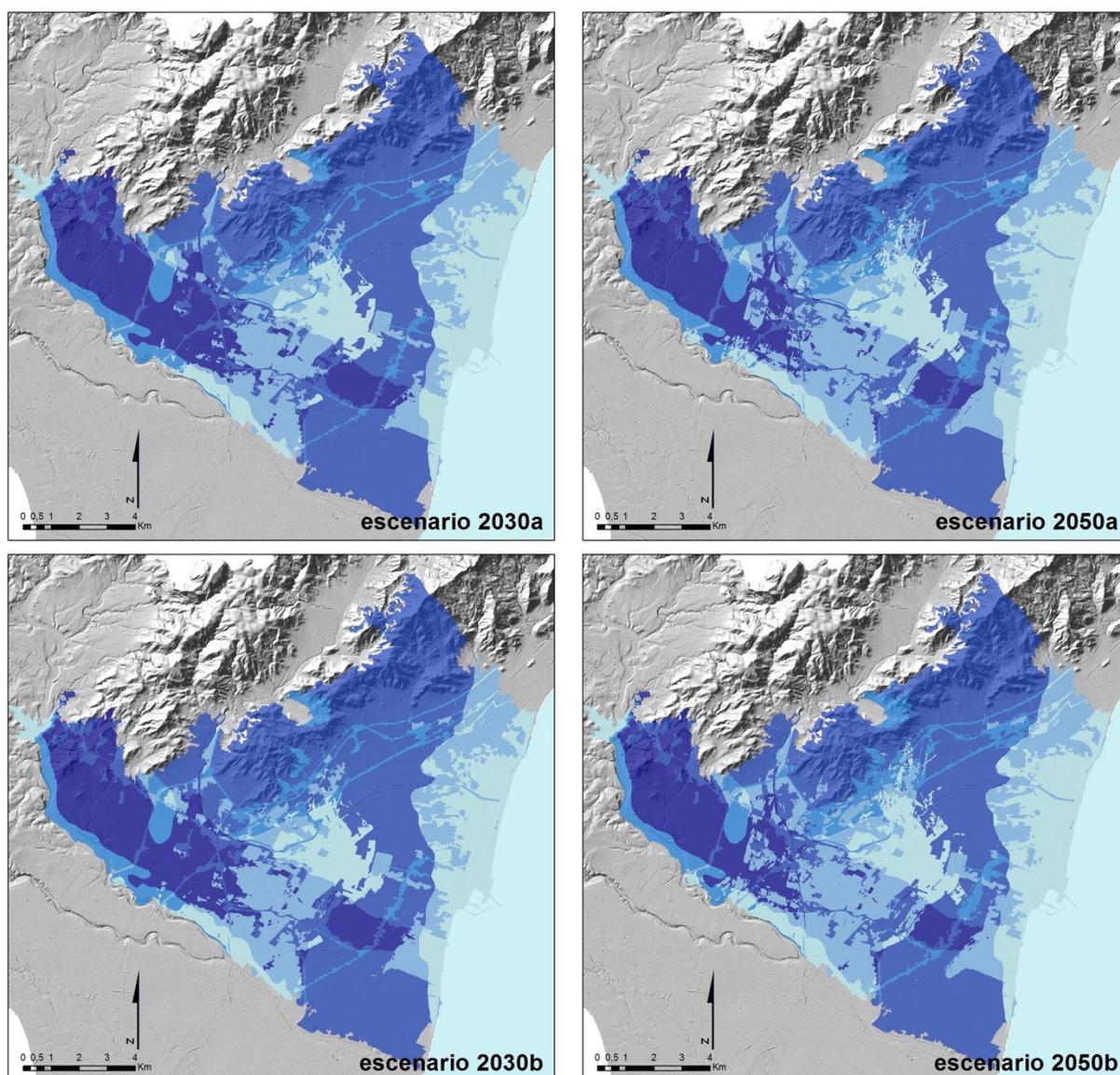


Figura 6.06. Mapa de capacidad de retención de agua efectiva. Escenarios 1 y 2, área de estudio A1, 2030-2050.

6.2.2. Área de estudio A2, área metropolitana de Valencia

En el área de estudio 2, se obtienen las asociaciones de suelos, los perfiles y la retención de humedad que corresponden al territorio analizado a partir de los estudios sobre los cítricos y los suelos de naranjos (Hernando Fernández et al. 1971; C.E.B.A.S 1975) y del proyecto LUCDEME (Rubio Delgado, Sánchez Díaz y Forteza Bonnin 1996) (Tabla 6.09)

Tabla 6.09. Asociación de suelos (WRB), potencia media del perfil (cm), capacidad de retención de agua (%) y la retención de humedad ponderada (mm). Área de estudio 1.

Asociación suelos Tipos (WRB)	Potencia media (cm)	Cap. retención agua (%)	Ret. humedad ponderada (mm)
Anthrosol Hortic	107,50	0,153084	164,57
Arenosol Albic	40,00	0,068700	27,48
Calcisol Haplic	70,43	0,194609	137,06
Calcisol Haplic/Anthrosol Terric	75,26	0,185966	139,95
Calcisol Haplic/Calcisol Petric	73,62	0,190121	139,96
Calcisol Haplic /Calcisol Petric/Fluvisol Calcaric	79,10	0,184500	145,94
Calcisol Haplic /Calcisol Petric/Regosol Calcaric	68,90	0,186504	128,50
Calcisol Haplic /Fluvisol Calcaric	82,99	0,181124	150,32
Calcisol Haplic /Leptosol Lithic	49,26	0,240306	118,37
Calcisol Haplic /Luvisol Calcic	84,76	0,197614	167,49
Calcisol Haplic/Regosol Calcaric	62,59	0,185132	115,88
Calcisol Petric	78,40	0,183388	143,78
Calcisol Petric/Antrosol árico	80,04	0,179233	143,46
Calcisol Petric/Antrosol Hortic	90,04	0,171266	154,21
Calcisol Petric/Calcisol Haplic	75,21	0,187876	141,30
Calcisol Petric/Calcisol Haplic/Fluvisol Calcaric	80,70	0,182256	147,07
Calcisol Petric/Calcisol lúvico	108,84	0,204936	223,05
Calcisol Petric/Leptosol Lithic	54,04	0,233573	126,22
Calcisol Petric/Regosol Calcaric	67,37	0,178399	120,19
Cambisol Calcaric/Calcisol Haplic	63,17	0,186852	118,04
Cambisol Calcaric/Cambisol Chromic	54,20	0,191953	104,04
Cambisol Calcaric/Leptosol Lithic	42,00	0,232548	97,67
Cambisol Calcaric/Calcisol Petric	66,36	0,182363	121,02
Cambisol Chromic/Leptosol Lithic	35,80	0,247957	88,77
Cambisol Chromic/Luvisol Chromic	60,80	0,214249	130,26
Cambisol Eutric/Leptosol Lithic	34,60	0,278997	96,53
Cambisol Gleyic/Solonchak Calcic	82,80	0,342980	283,99
Fluvisol Calcaric	101,83	0,160895	163,84
Fluvisol Calcaric/Calcisol Haplic	89,27	0,174381	155,67
Fluvisol Calcaric/Calcisol Haplic/Antrosol árico	88,55	0,173431	153,56
Fluvisol Calcaric/Calcisol Petric	92,46	0,169892	157,08
Fluvisol Calcaric/Regosol Calcaric	81,43	0,164904	134,29
Fluvisol Calcaric/Regosol Calcaric/Antrosol árico	82,67	0,166323	137,49
Gleisol Calcic/Fluvisol Calcaric Gleyic/Antrosol Hortic	88,00	0,182191	160,33
Gleisol Calcic/Fluvisol Calcaric Gleyic	89,00	0,192641	171,45
Gleisol Calcic/Solonezt Gleyic	79,80	0,184735	147,42

Asociación suelos Tipos (WRB)	Potencia media (cm)	Cap. retención agua (%)	Ret. humedad ponderada (mm)
Leptosol Eutric/Leptosol Lithic	23,05	0,278445	64,18
Leptosol Eutric/Luvisol Chromic/Leptosol Rendzic	43,42	0,256583	111,41
Leptosol Eutric/Regosol Calcaric	36,38	0,223272	81,23
Leptosol Lithic	17,50	0,308850	54,05
Leptosol Lithic/Cambisol Calcaric	33,83	0,257982	87,28
Leptosol Lithic/Cambisol Eutric	28,90	0,288948	83,51
Leptosol Lithic/Leptosol Eutric	21,20	0,288580	61,18
Leptosol Lithic/Leptosol Rendzic	22,59	0,305553	69,03
Leptosol Lithic/Luvisol Chromic	42,50	0,275141	116,94
Leptosol Lithic/Regosol Calcaric	30,83	0,253677	78,22
Leptosol Rendzic	30,23	0,300608	90,88
Leptosol Rendzic/Leptosol Lithic	25,14	0,303905	76,40
Leptosol Rendzic/Leptosol Lithic/Luvisol Chromic Lithic	30,81	0,294250	90,64
Leptosol Rendzic/Regosol Calcaric	38,47	0,248731	95,69
Luvisol Calcic	106,25	0,202122	214,75
Luvisol Calcic/Calcisol lúvico	125,55	0,216176	271,41
Luvisol Chromic/Calcisol Haplic	76,17	0,212591	161,93
Luvisol Chromic/Calcisol Petric	79,36	0,208102	165,15
Luvisol Chromic/Cambisol Chromic	67,20	0,217692	146,29
Luvisol Chromic/Luvisol Albic	74,00	0,175808	130,10
Luvisol Chromic/Regosol Calcaric	68,33	0,203114	138,79
Luvisol Chromic-Lithic/Leptosol Lithic	38,32	0,277412	106,30
Luvisol Chromic-Lithic/Leptosol Lithic/Luvisol Chromic	47,35	0,265798	125,86
Luvisol Haplic	45,00	0,324840	146,18
Regosol Calcaric	50,83	0,170916	86,88
Regosol Calcaric/Calcisol Haplic	58,67	0,180393	105,84
Regosol Calcaric/Calcisol Haplic/Antrosol árico	63,73	0,221210	140,97
Regosol Calcaric/Calcisol Haplic/Leptosol Eutric	52,58	0,238245	125,27
Regosol Calcaric/Calcisol Petric	62,68	0,227227	142,43
Regosol Calcaric/Cambisol Calcaric	54,65	0,226544	123,81
Regosol Calcaric/Leptosol Lithic	38,32	0,277412	106,30
Regosol Calcaric/Leptosol Rendzic	43,41	0,274115	119,00
Regosol Eutric/Arenosol Albic	45,25	0,098914	44,76
Regosol Eutric/Luvisol Haplic	47,25	0,201370	95,15

Al igual que para el área de estudio A1, obtenemos la capacidad de retención de agua efectiva considerando la ratio de suelo no sellado para los tipos de paisaje según. HRL (Copernicus 2017) (Tabla 6.10).

Tabla 6.10. Ratio de superficie de suelo sellado y no sellado según los tipos de paisaje. Área de estudio A2.

	U11	U12	U13	U14	A21	A22	A24	A26	N30	H40
sellado	0,63	0,25	0,48	0,22	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,01
no sellado	0,366	0,745	0,520	0,782	0,926	0,940	0,948	0,932	0,946	0,990

Al igual que en el área de estudio A1, se observa que a lo largo la serie temporal la capacidad de retención de agua efectiva del suelo se reduce paulatinamente por el sellado del suelo producido fundamentalmente en los tipos de paisaje urbanos densos (U11, U13 y U14). Los tipos de paisaje agrícolas y forestales, al tener una ratio de sellado muy bajo y mayor cantidad de superficie, son los suelos sobre los que produce la mayoría de la retención de agua efectiva. A ellos se suma el tipo de paisaje urbano disperso (U12) debido a su relativamente baja ratio de sellado y su importante crecimiento en superficie ocupada en los últimos momentos de la serie temporal (Figura 6.07 y tabla 6.11).

capacidad retención agua

 muy baja (< 50 mm)	 media (90,01 - 125 mm)	 muy alta (> 175 mm)
 baja (50,01 - 90 mm)	 alta (125,01 - 175 mm)	

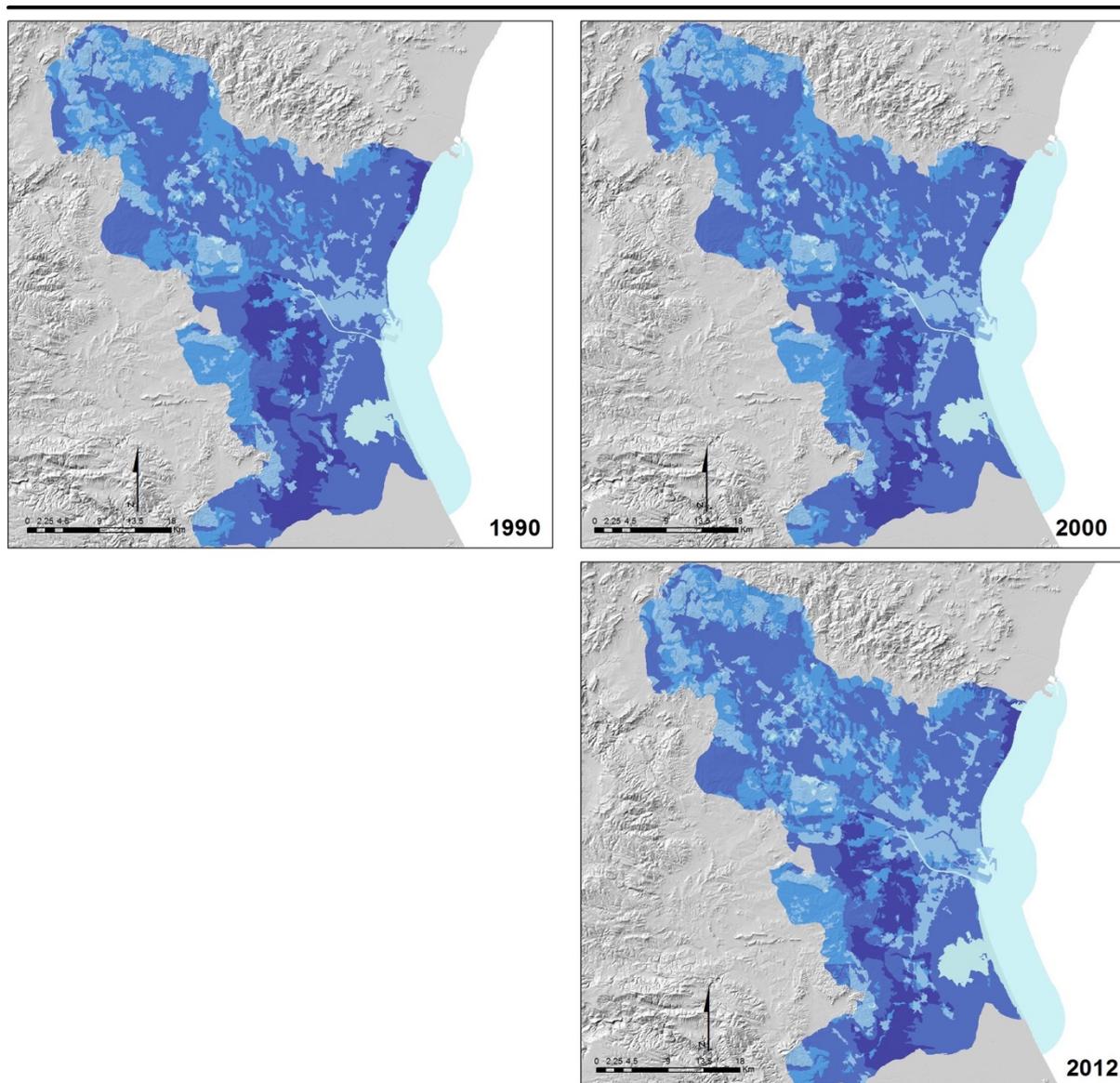


Figura 6.07. Mapa de capacidad de retención de agua efectiva. Área de estudio A2, 1990-2012.

En el escenario modelizado, de continuidad, se mantiene la reducción en el primer estadio, pero después se estabiliza la reducción de la capacidad de retención de humedad efectiva en el suelo. Aunque siguen aumentando en superficie los tipos de paisaje urbano, el mayor crecimiento de los tipos urbano disperso (U12) y espacio libre urbano (U14) con menores ratios de sellado del suelo hacen que no disminuya significativamente la capacidad de retención de agua efectiva para el área de estudio A2. (Figura 6.08 y tabla 6.11)

capacidad retención agua

muy baja (< 50 mm) media (90,01 - 125 mm) muy alta (> 175 mm)
 baja (50,01 - 90 mm) alta (125,01 - 175 mm)

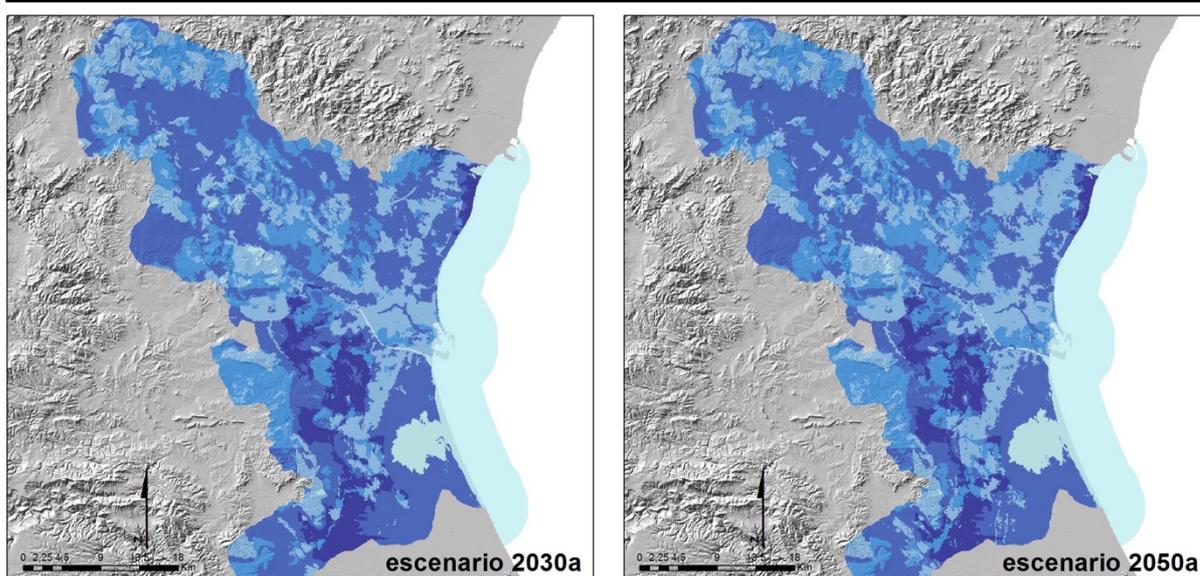


Figura 6.08. Mapa de capacidad de retención de agua efectiva. Escenario, área de estudio A2, 2030-2050.

Tabla 6.11. Capacidad de retención de agua efectiva del suelo (m³) por tipo de paisaje y año y ratio de cambio (1990-2050). Área de estudio A2.

Tipo de paisaje	1990	2000	2012	E1 2030a	E1 2050a
U11	4.384.154,22	4.521.272,49	4.712.856,72	4.888.964,82	5.152.354,24
U12	5.192.173,61	6.784.973,19	10.306.279,74	14.140.120,68	17.208.571,39
U13	3.784.328,61	6.203.089,65	10.497.369,41	14.842.230,42	18.498.561,80
U14	477.154,29	738.864,97	895.016,72	1.140.914,27	1.398.767,46
A21	68.057.535,37	58.303.208,84	31.495.332,61	20.417.090,06	17.137.552,25
A22	75.745.892,10	81.272.422,95	88.860.941,96	83.461.774,26	74.322.865,77
A24	13.510.526,29	13.545.863,41	13.412.467,97	13.048.919,03	12.579.591,85
A26	11.527.925,27	9.820.461,71	11.798.689,82	10.687.042,47	9.746.831,76
N30	20.476.781,09	19.986.384,49	24.739.586,42	27.999.223,88	30.053.580,47
H40	811.559,90	685.721,00	597.656,54	508.150,41	500.171,06
Total	203.968.030,76	201.862.262,70	197.316.197,91	191.134.430,30	186.598.848,04
Ratio		0,990	0,977	0,969	0,976

6.3 Métricas espaciales de los servicios ecosistémicos

Con los datos obtenidos de los servicios ecosistémicos, tanto de la capacidad de uso como la de acumulación de agua a lo largo de las series temporales, se ha obtenido una relación entre ambas capacidades y la pérdida de una parte de las mismas con la dinámica de los paisajes y la impermeabilización del suelo (Pascual Aguilar, Sanz García y de Bustamante Gutierrez 2011).

6.3.1. Área de estudio A1, Castelló de la Plana

Hemos relacionado las clases de capacidad de uso del suelo con su superficie y la capacidad de almacenamiento de agua en el momento inicial teórico, existentes en cada momento temporal analizado y resultantes de la dinámica del sellado en el conjunto del área de estudio (Tabla 6.12).

Tabla 6.12. Superficie capacidad de uso (SCU, m²) y capacidad acumulación de agua (CAA, m³) en el momento inicial, así como su relación (CAA/SCU), respecto a las clases de capacidad de uso. Área de estudio A1.

	A	B	C	D	E
SCU (m ²)	69.356.191,67	49.319.158,91	8.884.988,18	14.403.733,44	13.428.461,11
CAA (m ³)	11.905.298,71	6.289.596,12	848.537,32	2.230.268,91	1.775.780,22
CAA/SCU	0,172	0,128	0,096	0,155	0,132

A partir de estos datos se calcula la pérdida de superficie de suelo de cada clase de capacidad de uso y la pérdida de acumulación de agua para cada una de las clases (Tablas 6.13 y 6.14). Con estas métricas se observa que la pérdida de capacidad de uso total en 2015 es de 3,34 veces de la de 1910, y al final de los escenarios en 2050 es de 5,01 veces. Pero la pérdida de capacidad de uso no es homogénea para todas las clases, produciéndose la mayor pérdida para la clase C (moderada) seguida por la clase A (muy alta). Por último, en su conjunto la pérdida de capacidad de uso de las clases A y B es de un 17,70% en 2015 y de un 26,30 en 2050 con los escenarios (Tabla 6.13, figura 6.09).

Tabla 6.13. Métricas de pérdida acumulada de capacidad de uso del suelo (% pSCU) por clase de capacidad de uso (1910-2050). Área de estudio A1.

Clase	1910	1940	1956	1977	1997	2015	E1	E1	E2	E2
							2030a	2050a	2030b	2050b
A	5,93%	6,34%	7,00%	11,27%	15,19%	19,64%	24,33%	30,15%	24,24%	30,00%
B	3,99%	4,20%	4,66%	7,81%	12,11%	14,97%	17,99%	20,96%	17,93%	21,06%
C	5,17%	6,19%	7,89%	15,44%	17,87%	21,03%	22,89%	23,69%	22,84%	24,86%
D	3,76%	3,66%	3,42%	3,70%	4,57%	4,85%	5,10%	5,64%	5,08%	5,59%
E	4,99%	4,73%	4,79%	6,52%	7,69%	17,21%	24,59%	34,61%	24,96%	34,58%
Total	4,99%	5,26%	5,78%	9,30%	12,73%	16,66%	20,47%	24,98%	20,45%	25,00%
Ratio		1,056	1,099	1,607	1,370	1,308	1,229	1,220	1,228	1,223

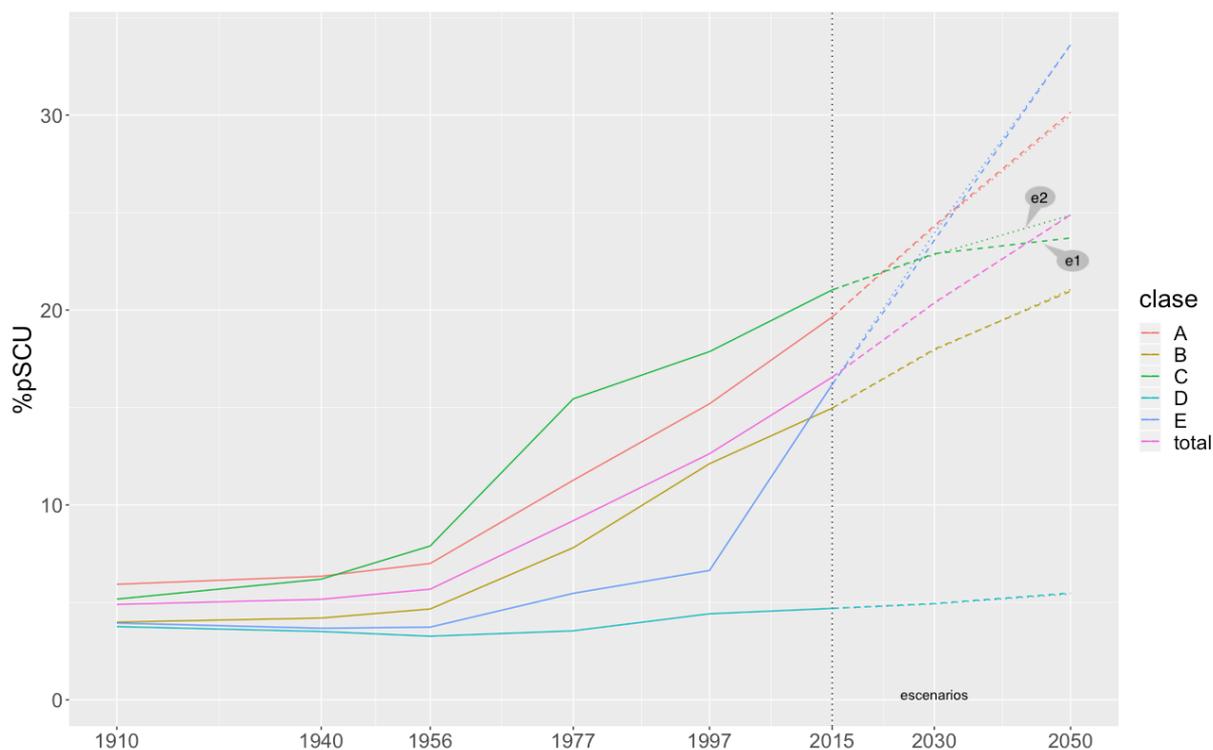


Figura 6.09. Gráfico métricas de pérdida acumulada de capacidad de uso del suelo (% pSCU) por clase de capacidad de uso (1910-2050). Área de estudio A1.

Respecto a las métricas de la pérdida de capacidad de almacenamiento de agua efectiva se observa que la pérdida total en 2015 es de 3,59 veces de la de 1910, y al final de los escenarios en 2050 es de 5,40 veces. Pero la pérdida de capacidad de almacenamiento de agua no es homogénea para todas las clases, produciéndose la mayor pérdida para la clase A (muy alta) seguida por la clase C (moderada). Por último, en su conjunto la pérdida de capacidad de almacenamiento de agua en las clases A y B es de un 17,55% en 2015 y de un 27,10% en 2050 con los escenarios (Tabla 6.14, figura 6.10).

Tabla 6.14. Métricas de pérdida acumulada capacidad de retención de agua efectiva del suelo (% pCAA) por clase de capacidad de uso (1910-2050). Área de estudio A1.

Clase	1910	1940	1956	1977	1997	2015	E1 2030a	E1 2050a	E2 2030b	E2 2050b
A	5,25%	5,63%	6,30%	10,07%	14,42%	19,01%	23,95%	30,29%	23,87%	30,06%
B	3,94%	4,11%	4,48%	7,79%	12,15%	14,84%	18,05%	21,15%	18,03%	21,22%
C	8,43%	7,23%	7,54%	12,36%	13,77%	16,54%	18,07%	18,90%	18,15%	20,61%
D	3,48%	3,46%	3,28%	3,62%	4,70%	5,05%	6,88%	7,57%	6,87%	7,45%
E	3,38%	3,38%	3,27%	3,86%	4,48%	5,67%	6,14%	6,70%	6,19%	6,61%
Total	4,29%	4,29%	5,33%	8,43%	12,07%	15,39%	18,93%	23,19%	18,88%	23,13%
Ratio		1,000	1,242	1,582	1,432	1,275	1,230	1,225	1,227	1,225

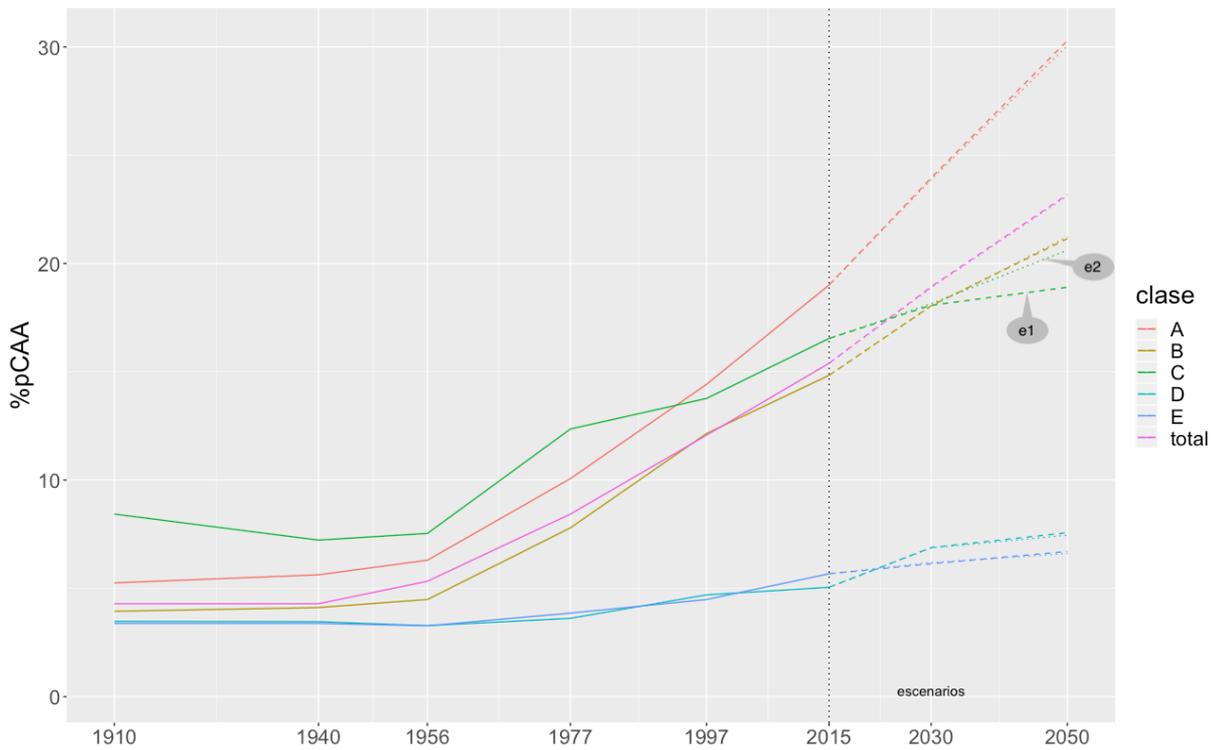


Figura 6.10. Métricas de pérdida acumulada capacidad de retención de agua efectiva del suelo (% pCAA) por clase de capacidad de uso (1910-2050). Área de estudio A1.

Como síntesis final se analiza la ratio entre la capacidad restante de almacenamiento de agua y de uso para cada clase de capacidad de uso y año (Tabla 6.15, figura 6.11).

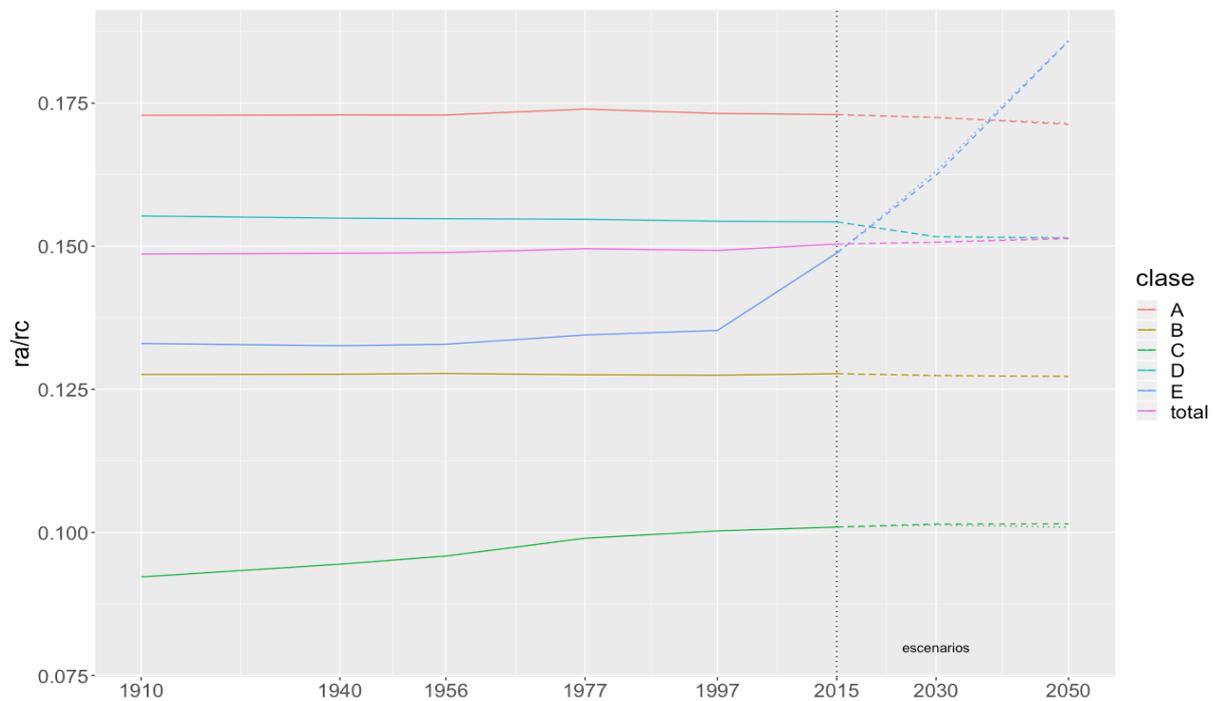


Figura 6.11. Gráfico ratio de capacidad restante de retención de agua efectiva (m^3) y capacidad de uso del suelo (m^2) (rAA/rCU) por clase de capacidad de uso (1910-2050). Área de estudio A1.

Tabla 6.15. Ratio de capacidad restante de retención de agua efectiva (m³) y capacidad de uso del suelo(m²) (rCAA/rCSU) por clase de capacidad de uso (1910-2050). Área de estudio A1.

Clase	1910	1940	1956	1977	1997	2015	E1 2030a	E1 2050a	E2 2030b	E2 2050b
A	0,173	0,173	0,173	0,174	0,173	0,173	0,173	0,171	0,173	0,172
B	0,128	0,128	0,128	0,128	0,127	0,128	0,127	0,127	0,127	0,127
C	0,092	0,094	0,096	0,099	0,100	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101
D	0,155	0,155	0,155	0,155	0,154	0,154	0,152	0,151	0,152	0,152
E	0,133	0,133	0,133	0,134	0,135	0,149	0,162	0,186	0,163	0,186
Total	0,149	0,149	0,149	0,150	0,149	0,150	0,151	0,152	0,151	0,152
Ratio		0,996	1,001	1,005	0,998	1,007	1,004	1,004	1,004	1,005

6.2.2. Área de estudio A2, área metropolitana de Valencia

Al igual que para el área de estudio A1, hemos relacionado las clases de capacidad de uso del suelo con su superficie y la capacidad de almacenamiento de agua en el momento inicial teórico (Tabla 6.16)

Tabla 6.16. Superficie capacidad de uso (SCU, m²) y capacidad acumulación de agua (CAA, m³) en el momento inicial, así como su relación (CAA/SCU), respecto a las clases de capacidad de uso. Área de estudio A2.

	A	B	C	D	E
SCU (m ²)	371.223.363,59	524.743.982,82	313.843.023,21	306.694.780,87	40.304.871,47
CAA (m ³)	120.585.977,33	83.544.166,78	41.995.126,48	34.589.253,59	4.066.714,56
CAA/SCU	0,32	0,16	0,13	0,11	0,10

Con estas métricas se observa que la pérdida de capacidad de uso total en 2011 es de 1,23 veces de la de 1990, y al final de los escenarios en 2050 es de 1,54 veces. Pero la pérdida de capacidad de uso no es homogénea para todas las clases, siendo mayor para la clase A (muy alta) seguida por la clase B (alta). Por último, en su conjunto la pérdida de capacidad de uso de las clases A y B es de un 15,55% en 2015 y de un 21,05 en 2050 con el escenario de futuro (Tabla 6.17, figura 6.12).

Tabla 6.17. Métricas de pérdida acumulada de capacidad de uso del suelo (% pSCU) por clase de capacidad de uso (1990-2050). Área de estudio A2.

Clase	1990	2000	2012	E1 2030a	E1 2050a
A	17,87%	19,54%	22,20%	25,06%	27,01%
B	8,12%	8,82%	10,85%	13,83%	16,84%
C	5,36%	5,64%	5,76%	5,95%	6,01%
D	5,46%	5,88%	6,55%	6,81%	6,89%
E	1,20%	1,44%	1,59%	1,67%	1,69%
Total	11,05%	12,00%	13,64%	15,50%	17,03%
Ratio		1,086	1,136	1,137	1,099

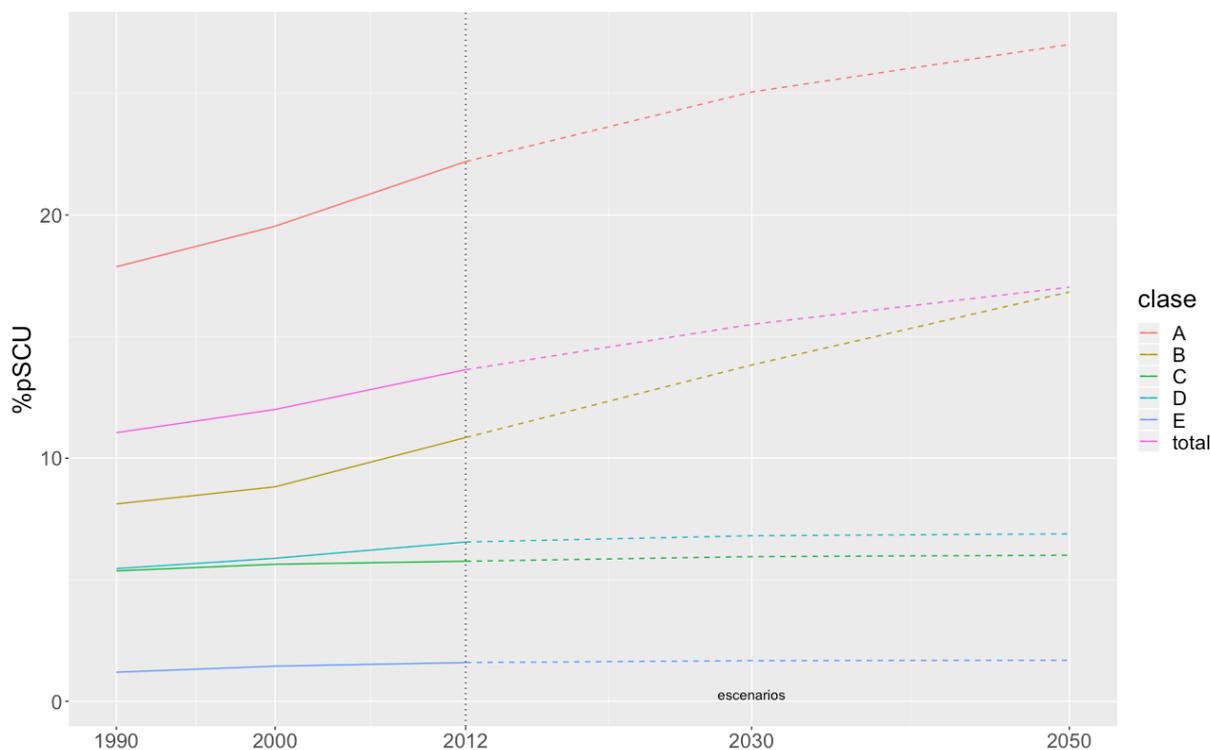


Figura 6.12. Gráfico métricas de pérdida acumulada de capacidad de uso del suelo (% pSCU) por clase de capacidad de uso (1990-2050). Área de estudio A2.

Respecto a las métricas de la pérdida de capacidad de almacenamiento de agua efectiva se observa que la pérdida total en 2015 es de 1,26 veces de la de 1990, y al final de los escenarios en 2050 es de 1,68 veces. Pero la pérdida de capacidad de retención de agua por clase es mayor para la clase A (muy alta) seguida por la clase B (alta). Por último, en su conjunto la pérdida de capacidad de almacenamiento de agua en las clases A y B es de un 16,06% en 2012 y de un 21,97% en 2050 con los escenarios de futuro (Tabla 6.18, figura 6.13).

Tabla 6.18. Métricas de pérdida acumulada capacidad de retención de agua efectiva del suelo (% pCAA) por clase de capacidad de uso (1990-2050). Área de estudio A2.

Clase	1990	2000	2012	E1 2030a	E1 2050a
A	18,09%	19,72%	22,56%	25,74%	27,90%
B	8,12%	8,92%	10,96%	14,19%	17,32%
C	9,01%	9,50%	10,24%	11,47%	12,39%
D	10,68%	11,58%	13,44%	14,51%	14,71%
E	7,38%	8,38%	9,67%	10,73%	10,07%
Total	11,19%	12,10%	14,08%	16,78%	18,75%
Ratio		1,082	1,164	1,191	1,118

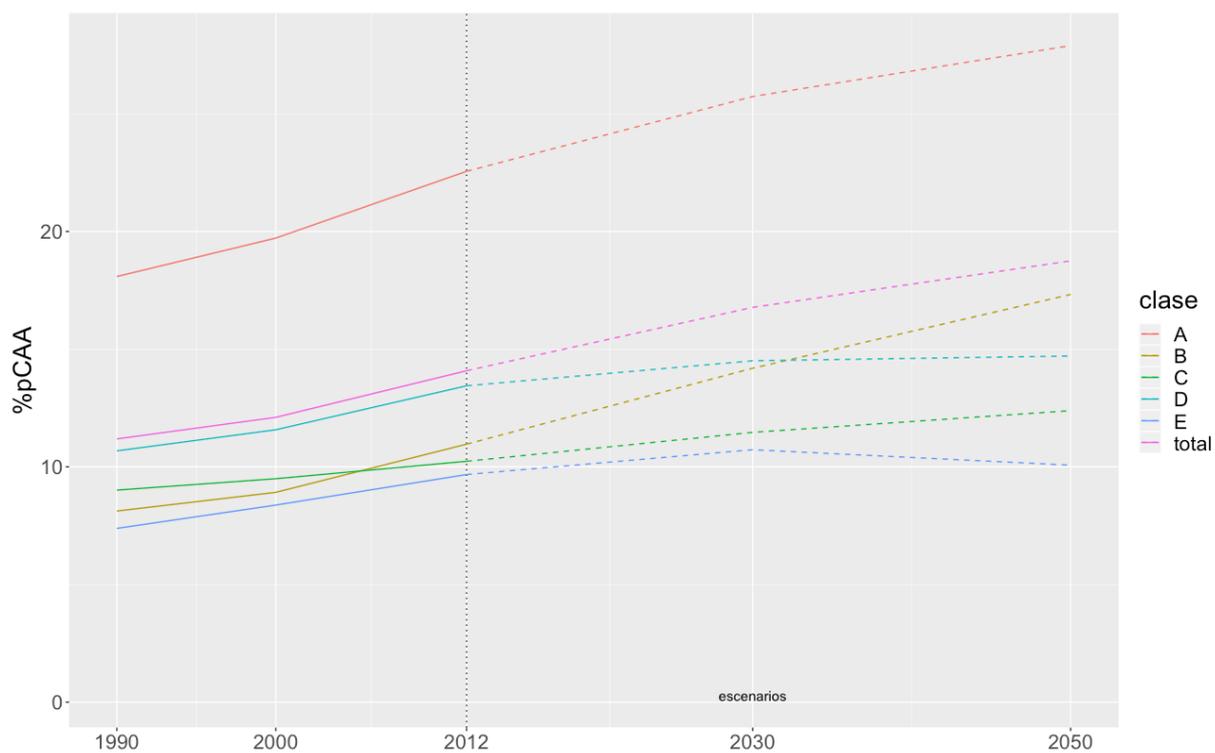


Figura 6.13. Métricas de pérdida acumulada capacidad de retención de agua efectiva del suelo (% pCAA) por clase de capacidad de uso (1910-2050). Área de estudio A2.

Como síntesis final se analiza la ratio entre la capacidad restante de almacenamiento de agua y de uso para cada clase de capacidad de uso y año (Tabla 6.19 y figura 6.14).

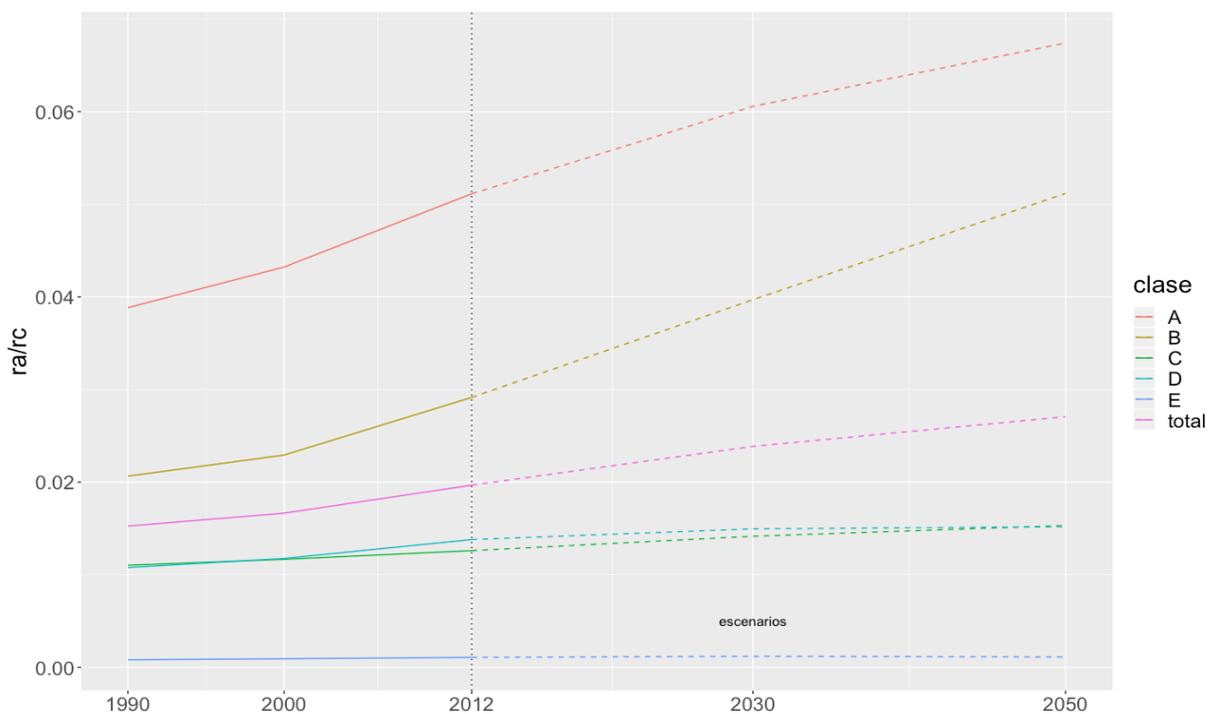


Figura 6.14. Gráfico ratio de capacidad restante de retención de agua efectiva (m^3) y capacidad de uso del suelo (m^2) ($rAA/rCSU$) por clase de capacidad de uso (1990-2050). Área de estudio A2.

Tabla 6.19. Ratio de capacidad restante de retención de agua efectiva (m³) y capacidad de uso del suelo(m²) (rCAA/rCSU) por clase de capacidad de uso (1990-2050). Área de estudio A2.

Clase	1990	2000	2012	E1 2030a	E1 2050a
A	0,039	0,043	0,051	0,061	0,067
B	0,021	0,023	0,029	0,040	0,051
C	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015
D	0,011	0,012	0,014	0,015	0,015
E	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Total	0,015	0,017	0,020	0,024	0,027
Ratio		1,092	1,182	1,213	1,134

C7. DISCUSIÓN

7.1. Dinámica del paisaje

Para realizar el análisis y la dinámica espacio temporal de los paisajes se han utilizado diferentes metodologías en función del periodo estudiado. Las metodologías seguidas se han visto condicionadas por las características de la información de base y por los medios tecnológicos disponibles para su análisis y modelización. Esta multiplicidad de metodologías es debida a que cualquier clasificación en tipos y unidades implica la generación de polígonos y bordes con una definición clara y concisa que contrasta con la naturaleza continua y de cambios difusos en el paisaje (Antrop y Van Eetvelde 2017).

Desde la existencia y disponibilidad generalizada de los SIG y los métodos de análisis estadísticos, se han convertido ambos en herramientas obligatorias para la identificación y caracterización de los paisajes. Su utilización, sin embargo, ha llevado a diferentes metodologías dependiendo de la aproximación al concepto de paisaje, del grado de independencia del observador y de los factores utilizados en la caracterización del paisaje (Simensen, Halvorsen y Erikstad 2018). Los procedimientos más utilizados, dentro de las holísticas, han sido la valoración del carácter del paisaje (LCA), la Pirámide taxonómica del paisaje (LTP) como sistema multi-nivel y sistemas multi-variable como el LANMAP y la clasificación del paisaje ABC (Bolós Capdevila y Bofarull Amat 2007; Gómez-Zotano et al. 2018; Iranzo-García 2009; Serrano Giné 2018; Wascher et al. 2005).

En la aplicación práctica, estas metodologías se pueden dividir en tres grupos según la revisión sistemática de Simensen y su análisis estadístico (Simensen, Halvorsen y Erikstad 2018). El primer grupo con una consideración holística del paisaje y un acercamiento interpretativo del mismo, el segundo con una consideración holística y biofísica del paisaje y el tercero con una consideración biofísica del paisaje. Nuestro trabajo se incluiría en el

segundo grupo al realizar el análisis y caracterización de los paisajes a partir de la selección de unas variables espaciales y el uso de las teorías del paisaje y de la tradición científica. Esta aproximación nos parece la más adecuada al incorporar no sólo los elementos biofísicos, sino también, los culturales y la percepción del paisaje. De esta manera se obtiene una visión global, pero al mismo tiempo se permite una calificación y cuantificación de los tipos y las unidades de paisaje, que ofrecen una detallada caracterización de sus elementos constitutivos a lo largo del tiempo y el espacio.

El conjunto de las metodologías se aplica en unas escalas espaciales y temporales específicas para las áreas de estudio. Según la revisión sistemática de Plieninger, en cuanto a las escalas espaciales lo más habitual es tener una única escala de trabajo (91% de los trabajos analizados) y una única área de estudio (81%); y para las escalas temporales, lo más común es tener escala temporal entre 20 y 99 años (53%) con un número de momentos temporales de entre 2 y 4 (85%) (Plieninger et al. 2016).

Respecto al uso de la escala espacial en los estudios sobre la evolución de los paisajes, se han realizado trabajos caracterizados tanto por su escala suprarregional y regional de la LPT (Gómez-Zotano et al. 2018), como por su escala subregional y supralocal. Ejemplos del primer grupo son los elaborados por el Plan Bleu (Benoit, Coudert y Moriconi-Ebrard 2001), por Mediterranean Commission on Sustainable Development (MCSD) (UNEP/MAP 2016) y los trabajos a nivel europeo o de país (Gómez-Zotano y Riesco-Chueca 2010; Meneses et al. 2017; Múcher et al. 2010; Tieskens, Schulp, et al. 2017; Vallés, Galiana y Bru 2013; van der Zanden et al. 2016; Wascher et al. 2005). Ejemplos del segundo grupo, desarrollados en sectores del Mediterráneo occidental, se han centrado en las áreas rurales de las regiones montañosas de España e Italia (Amici et al. 2017; Iranzo-García 2009; Geri, Amici y Rocchini 2010; Modica, Praticò y Di Fazio 2017; Serrano Giné 2018; Statuto, Cillis y Picuno 2016; Tortora, Statuto y Picuno 2015). Respecto a los trabajos estudios de detalle, en la escala local de la LTP, se han realizado trabajos relacionados con las tendencias del paisaje en las zonas húmedas, tanto costeras como continentales Mediterráneas y sus entornos agrícolas. Ejemplos de estos estudios son la investigación centrada en los paisajes del área de huerta tradicional entorno a la ciudad de Murcia (Mata Olmo y Fernández Muñoz 2004; García Martín y Ros Sempere 2016) y los humedales continentales del interior de Andalucía (Vega-Pozuleo, Torres-Márquez y Naranjo-Ramírez 2017).

Respecto al uso de la escala temporal en los estudios sobre la dinámica de los paisajes, los trabajos se pueden agrupar en dos grandes grupos según el número de momentos temporales. Los que disponen de 3 o menos momentos temporales se centran en una escala de años relativamente corta y próxima al momento temporal, utilizan métodos de análisis

relacionados con la cartografía digital y la teledetección (Geri, Amici y Rocchini 2010; Mas et al. 2017; Meneses et al. 2017; Tieskens, Shaw, et al. 2017; Valera Lozano, Añó Vidal y Sánchez Díaz 2017). Los trabajos que incorporan más de 3 momentos temporales buscan el medio y el largo plazo, según la disponibilidad de información, llegando a abarcar ámbitos temporales de más de 100 años (Amici et al. 2017; Modica, Praticò y Di Fazio 2017; Statuto, Cillis y Picuno 2019; Troupin y Carmel 2016; Vigl et al. 2016)

Estos trabajos, sin embargo, no incorporan el estudio holístico del paisaje como elemento cultural en continua transformación en el espacio y en el tiempo. Esta falta de escala temporal larga e interacción en los estudios de los tipos de paisaje urbano, periurbano, agrícolas, forestal y de agua, hace más difícil analizar la dinámica del cambio en los paisajes. Además, nuestro trabajo incorpora dos áreas de estudio con dos escalas espaciales y dos escalas temporales, una de ellas de más de 100 años, y homogeneiza el análisis de los tipos de paisajes para estudiar los modelos de cambio de ámbito geográfico local y supralocal (escalas de trabajos T3 y T4 de la LPT).

7.2. Modelización de escenarios

Los modelos de simulación para el análisis de procesos espaciales, como la dinámica de paisajes, son una de las herramientas más importantes para obtener escenarios alternativos y analizar la evolución futura de la dinámica espacial (Paegelow y Camacho Olmedo 2008). Estos modelos de simulación parten de procesos matemáticos como los estocásticos y la cadena de Markov, pero al mismo tiempo, incorporan procesos usados en el aprendizaje automático (ML, *Machine Learning*) e incluso la inteligencia artificial (AI) como redes neuronales (NN, *Neural Networks*), sistemas de agentes múltiples (MAS, *Multi-Agent Systems*) o autómatas celulares (CA).

Al igual que para el análisis de la dinámica de los paisajes, para los modelos de simulación es importante la escala espacial y temporal. La escala a la que se concibe el modelo limita generalmente su utilización, ya que tradicionalmente era difícil que el modelo se ajustase a nuevas escalas tanto espaciales como temporales (Paegelow y Camacho Olmedo 2008). Uno de los propósitos que buscamos con nuestro trabajo precisamente es validar satisfactoriamente la utilización del modelo de simulación que proponemos a diferentes escalas espaciales (supralocal y local) e incluso temporales.

Para implementar los modelos de simulación se utilizan diferentes herramientas informáticas específicas. Las más comúnmente utilizadas son IDRISI (con los módulos CA

Markov y Land Change Modeller), *CLUE-S*, *GEOMOD*, *SLEUTH*, *MOLAND*, *LTM* y *Dinamica EGO*. En nuestro trabajo nos decantamos por utilizar *Dinamica EGO* debido a los procesos de modelado geoespacial y análisis específicos para los paisajes que incorpora y a las conclusiones de los análisis comparativos realizados durante los últimos años para evaluar sus posibilidades y limitaciones (Camacho Olmedo et al. 2015; Mas et al. 2013; Nti y Sallis 2013; Paegelow y Camacho Olmedo 2008; Lang et al. 2008; Stan y Sanchez-Azofeifa 2017).

Dinamica EGO evalúa la cantidad de cambio mediante la cadena de Markov, que además se puede ajustar entre la simulación y los escenarios. Asimismo, mediante la ponderación de las pruebas (WoE) incorpora la aproximación estadística al modelo. En el modelo de simulación utiliza los procesos estocásticos para la localización de los cambios y los autómatas celulares (CA) como aprendizaje automático para la simulación de los cambios de paisaje. Permite utilizar variables estáticas y dinámicas en el mismo modelo. Al mismo tiempo, es muy fácil incorporar la variable temporal al utilizar las matrices de salto múltiple y el número de iteraciones del modelo. Por último, incorpora herramientas para evaluar la calidad del modelo y su calibración (Mas et al. 2013; Nti y Sallis 2013). Todas estas características junto con la mayor flexibilidad y adaptación a diferentes escalas espaciales y temporales, así como a ambientes tanto urbanos, periurbanos, forestales o agrícolas, lo diferencian de todas las demás herramientas.

La mayoría de los modelos de simulación generados se realizan con cartografía de usos del suelo y no con tipos y unidades de paisajes. Además, generalmente tienen un carácter específico respecto al tipo de área de estudio, centrándose no sólo en los ambientes, sino principalmente en los usos tipo que les interesan (Gallardo 2018). Por ello, se pueden clasificar en modelos que se centran principalmente en usos de tipo forestal (Carvalho Lima, Carvalho Ribeiro y Soares-Filho 2018; Martín et al. 2018; Nti, Sallis y Shanamuganathan 2009; Soares-Filho, Coutinho-Cerqueirab y Lopes-Pennachinc 2002; Soares-Filho, Rodrigues y Follador 2013), usos de tipo agrícola (Mitchell et al. 2016; Stan y Sanchez-Azofeifa 2017) y uso de tipo urbano (Troupin y Carmel 2016).

En cuanto a los tipos de unidades presentes en los modelos de simulación, la mayoría tienen cuatro o menos tipos de unidades, llegando incluso a disponer de dos para realizar la simulación entre uno u otro tipo (Carvalho Lima, Carvalho Ribeiro y Soares-Filho 2018; Mirkatouli, Hosseini y Neshat 2015; Soares-Filho, Rodrigues y Follador 2013; Stan y Sanchez-Azofeifa 2017; Troupin y Carmel 2016). Solo unos pocos de los trabajos revisados tienen hasta 10 tipos de unidades (Gago-Silva, Ray y Lehmann 2017; Han, Yang y Song 2015; Martín et al. 2018; Meneses et al. 2017).

Nuestro trabajo tiene un cierto carácter global al incorporar tipos de paisajes tanto urbanos, agrícolas, forestales y del agua. Identificamos 17 tipos de paisajes para el área de estudio A1 y 11 tipos para el área de estudio A2. El modelo de simulación generado permite realizar escenarios diferentes según los datos que se incorporen como variables espaciales. En nuestro caso hemos considerado el cambio en el planeamiento urbanístico como variable y, de esta forma obtener dos escenarios para las fechas de 2030 y 2050 en el área A1. De alguna manera, lo que se pretende es llevar a cabo una simulación que represente, lo más ajustadamente posible, la realidad de los paisajes en su conjunto para los entornos litorales del Mediterráneo occidental.

7.3. Evaluación de los servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos (ES), así como el capital natural y cultural, evalúan los servicios y funciones de los ecosistemas incorporando, además, su valor económico. Por ello, los ES deben jugar un papel fundamental en la toma de decisiones sobre el territorio y los paisajes (MillenniumEcosystemAssessment 2005). Pero al mismo tiempo, las dinámicas de los paisajes a lo largo del tiempo influyen claramente en la evaluación y cuantificación de los ES, generalmente reduciendo los beneficios que el conjunto de la sociedad obtiene de su entorno (Costanza 2008).

Ligar la dinámica de los paisajes a lo largo del tiempo y del espacio con los ES nos permite analizar y entender mejor su evolución, debido a la capacidad de los paisajes para suministrarlos (Bastian, Grunewald y Khoroshev 2015; Bürgi et al. 2015). De esta forma, tanto con la dinámica histórica de los paisajes como con los escenarios podemos obtener un marco de referencia para la evaluación de los patrones, procesos y funciones (Iverson et al. 2014), así como las tendencias y la cuantificación futura de los ES.

Al igual que para el análisis de la dinámica de los paisajes y para los modelos de simulación, la escala espacial y temporal también es importante para los ES. La escala a la que se concibe la dinámica de los paisajes se tiene que relacionar con la que evalúan los ES, ya que servicios específicos se suministran a determinadas escalas espaciales y temporales pero no a otras (Bastian, Grunewald y Syrbe 2012; Costanza 2008).

Para analizar los ES se han realizado trabajos en el entorno de las llanuras litorales que evalúan la capacidad de uso del suelo, incluso relacionándola con la impermeabilización, aunque no la incorporan específicamente como un ES (Antolín Tomás et al. 1997; Año Vidal, Pascual Aguilar y Sánchez Díaz 2005; Sánchez Díaz et al. 2000). También se han realizado

trabajos que evalúan las capacidades del suelo, tanto de uso como de almacenamiento de agua (Pascual Aguilar 2002; Pascual Aguilar, Sanz García y de Bustamante Gutierrez 2011). Estos estudios, aunque con una escala espacial y temporal amplia, vinculan la capacidad de uso del suelo y de almacenamiento de agua con las distintas categorías de usos del suelo y no con tipos y unidades de paisaje.

En nuestro trabajo se han relacionado los ES con las dinámicas de paisaje obtenidas con el análisis, la caracterización y la simulación de los escenarios futuros, a diferentes escalas espacio-temporales para cada una de las dos áreas de estudio. Nos centramos en los ES de abastecimiento, apoyo y regulación. Para ello hemos evaluado, además de los paisajes y su fragmentación, la capacidad de uso y la capacidad de almacenamiento de agua efectiva en el suelo. Con este estudio hemos obtenidos las tendencias de los servicios ecosistémicos, relacionándolas con los tipos y unidades de paisaje a lo largo de la dinámica histórica y las posibles consecuencias en cada uno de los escenarios.

C8. CONCLUSIONES / CONCLUSIONS

En el presente trabajo se ha propuesto y aplicado una metodología para el análisis, caracterización y simulación de escenarios para los tipos y unidades de paisajes en dos áreas de estudio, representativas de la dinámica de los paisajes en el Mediterráneo occidental. Con ello se obtiene una forma de proceder aplicable a estos entornos territoriales que nos permite alcanzar un conocimiento profundo de la dinámica de los paisajes históricos hasta el momento actual; y con la generación de escenarios, disponer de las posibles tendencias futuras según la toma de decisiones actuales.

Independientemente de las diferencias metodológicas existentes, en las dos áreas de estudio se dan características similares en la dinámica de los paisajes: los tipos urbanos aumentan su superficie en todos los momentos de la serie temporal, siendo mayor el crecimiento de los tipos infraestructuras lineales, disperso e industrial y terciario en llanura. Los tipos agrícolas de regadío se mantienen en el tiempo, aunque cambiando su

In this work it has been proposed and applied a methodology for analysis, characterization and simulation of scenarios for landscape types and units in two areas of study. This methodology reflects landscape dynamics in Western Mediterranean. This provides a way of proceeding applicable to these territorial environments. It enables us to achieve a thorough understanding of historical landscapes dynamics and with the generation of scenarios to have possible future trends on current making-decisions.

Regardless of the existing methodological differences, similar characteristics are given in landscape dynamics in the two study areas. Urban types increase their surface at every moment of the time series, with a higher growth of linear infrastructure, scattered and industrial and tertiary types on coastal and lowlands. Irrigated agricultural types are maintained over time, although changing their spatial position, to be replaced by urban

posición espacial, al ser sustituidos por los urbanos y suplantar a los tipos agrícolas de secano. Los agrícolas de secano reducen su superficie en todos los momentos, pero de forma más acusada a partir de la segunda mitad del siglo XX. Los tipos forestales aumentan ligeramente en el tiempo. Por último, tenemos dos tipos de paisaje que, o han desaparecido completamente como el caso de los marjales y el arrozal en Castelló, o han reducido su importancia, en el caso de los arrozales en Valencia.

Mediante la aplicación de métodos estadísticos hemos observado que existe una alta relación en los cambios del paisaje entre los distintos momentos temporales, siendo los tipos agrícolas de secano y los urbanos disperso e industrial y terciario los que más contribuyen al cambio. Además, la fragmentación es un proceso que se incrementa durante toda la serie temporal, siendo los tipos urbanos disperso, infraestructura lineal e industrial y terciario, y el tipo agrícola cítricos en regadío en donde se manifiesta principalmente. El tipo de paisaje infraestructuras lineales es el mayor generador de fragmentación de las unidades de paisaje.

En los escenarios modelizados se mantienen las tendencias en la dinámica de los paisajes para ambas áreas de estudio, con la salvedad del cambio de tendencia en los tipos agrícolas de regadío, pasando del mantenimiento a la reducción moderada y el aumento significativo del crecimiento del tipo urbano industrial y terciario en llanura. Para el

and supplanted by rainfed agricultural types. Rainfed agriculture reduce its surface at all times, but more markedly from the second half of the twentieth century. Forest types increase slightly over time. Finally, we have two types of landscape, or have completely disappeared as the case of the marshes and rice fields in Castelló, or have reduced their importance in the case of rice fields in Valencia.

Through the application of statistical methods, we have observed that there is a high relationship in landscape changes between the different temporal moments. Rainfed agricultural types and scattered and industrial and tertiary urban types are main contributors to change. In addition, fragmentation is a process that increases throughout the time series. It is mainly manifested in the scattered, linear infrastructure and industrial and tertiary urban types, and irrigated citrus agricultural type. Linear infrastructure type is the largest generator of fragmentation of landscape units.

In modelled scenarios, trends in landscape dynamics are maintained for both areas of study, with the exception of changing trends in irrigated agricultural types, moving from maintenance to moderate reduction and the significant growth in industrial and tertiary urban type. For area A1 of study, in scenario 2, which incorporates urban

área de estudio A1, en el escenario 2, que incorpora la modificación del planeamiento urbanístico, se reduce significativamente el aumento de la fragmentación de las unidades de paisaje, hasta un 19,52%.

Con la dinámica del paisaje y sus escenarios, se evalúa los ES de abastecimiento. Para ello evaluamos la capacidad de uso del suelo en las unidades de paisaje. Obtenemos que los tipos de paisaje urbanos se asientan principalmente sobre suelos de capacidad de uso muy elevada (A), pero sus sucesivos crecimientos se realizan en su mayoría sobre suelos de capacidad de uso elevada (B). Los tipos agrícolas de regadío se ubican también sobre suelos de capacidad de uso A, mientras que los agrícolas en marjal lo hacen sobre capacidad de uso B. El tipo agrícola de secano con su sustitución por los cítricos de regadío va cambiando su ubicación desde capacidad B en los primeros momentos a capacidad de uso baja (D) a partir finales del siglo XX. Debido a este proceso de ocupación del suelo, los tipos forestales se ubican preferentemente sobre suelos con capacidad de uso D. Existe una diferencia importante entre las dos áreas de estudio para el tipo de paisaje urbano disperso. En la de Castelló se asienta y crece principalmente sobre suelos de capacidad de uso B, en la zona de marjal, mientras que en la de Valencia lo hace sobre suelos de capacidad D debido a que estos paisajes se ubican en el área A2 principalmente fuera de la llanura litoral.

planning modification, the increase in fragmentation of landscape units is significantly reduced up to 19.52%.

With landscape dynamics and scenarios, supply ES is evaluated. To do this, we evaluate the land use capacity in landscape units. We find that landscape urban types are mainly seat on very high capacity use soils (A), but successive growths are made mostly on high capacity use soils (B). Irrigated agricultural types are also located on A capacity of use soils, while agricultural on marsh do so on B capacity of use soils. Rainfed agriculture type, replaced with irrigated citrus type, is changing its initial location from B capacity to low capacity of use soils (D) from the late twentieth century. Due to this process of land occupation, forest types are preferably located on D capacity of use soils. There is an important difference between the two study areas for the scattered urban type. In Castelló (A1) it settles and grows mainly on B capacity of use soils, in the marsh area, while in Valencia (A2) it settles on D capacity soils because these landscapes are located mainly outside the coastal and lowlands.

Throughout the time series of study areas, soil effective water retention capacity, supporting and regulating services (ES), is gradually reduced by the soil sealing. It is produced mainly on dense urban landscape types, with less importance on scattered urban. This reduction in retention capacity is

A lo largo las series temporales de las áreas de estudio la capacidad de retención de agua efectiva del suelo, ES de apoyo y regulación, se reduce paulatinamente por el sellado del suelo, producido principalmente en los tipos de paisaje urbanos densos, con una importancia menor del urbano disperso. Esta reducción de la capacidad de retención se acelera a partir de 1956 (área de estudio A1, Castelló) y no se ralentiza hasta el momento más próximo al actual por los crecimientos de los tipos urbanos densos. Los tipos de paisaje agrícolas y forestales, al tener una ratio de sellado muy bajo y mayor cantidad de superficie, son los suelos sobre los que produce la mayor parte de la retención de agua efectiva.

En los escenarios modelizados, se estabiliza la reducción de la capacidad de retención de agua efectiva en el suelo. Aunque siguen aumentando en superficie los tipos de paisaje urbano, el mayor crecimiento de los tipos urbano disperso y espacio libre urbano con menores ratios de sellado del suelo hacen que no disminuya significativamente la capacidad de retención de agua efectiva.

Las métricas espaciales de los ES que relacionan ambas capacidades (uso y retención de agua), a partir de un momento inicial teórico sin antropizar, señalan que la pérdida de capacidad de uso (pCU) total en el momento más próximo al actual está entre el 13,6% del área A2 y el 16,5% del área A1 y al final de los escenarios en 2050 entre el 17,0% del área A2 y el 25,0% del área A1. Pero la

accelerated from 1956 (A1 study area, Castelló) and does not slow down until the closest moment to the current one due to the growth of dense urban types. Agricultural and forest landscape types, having a sealing ratio very low and much surface, are the soils that produces the most effective water retention.

In modelled scenarios, the reduction of soil effective water retention capacity is stabilized. Although urban landscape types continuo to increase in surface, the greater growth of scattered urban types and urban free space with lower ratios of soil sealing do not significantly reduce the effective water retention capacity.

ES spatial metrics ,which relate both capacities (use and water retention) from a theoretical initial time without anthropize, mark that total use capacity loss (pCU) at the closest moment to current period is between 13.6% of A2 area and 16.5% of A1 area and at the end of the scenarios in 2050 between 17.0% of A2 area and 25.0% of A1 area. But loss of use capacity is not homogeneous for all classes, causing the biggest loss for (very high) A class in both study areas.

Regarding the loss of water effective storage capacity (pCAA), it is observed that at the closest moment to the current period it is between 14.1% of A2 area and 15.4% of A1 area and at the end of the scenarios in 2050 between 18.8% of A2 area and 23.1% of A1

pérdida de capacidad de uso no es homogénea para todas las clases, produciéndose la mayor pérdida para la clase A (muy alta) en ambas áreas de estudio.

Respecto a la pérdida de capacidad de almacenamiento de agua efectiva (pCAA) se observa que en el momento más próximo al actual está entre el 14,1% del área A2 y el 15,4% del área A1 y al final de los escenarios en 2050 entre el 18,8% del área A2 y el 23,1% del área A1. Pero esta pérdida no es homogénea para todas las clases, produciéndose la mayor pérdida para la clase A (muy alta), al igual que ocurre con la capacidad de uso.

Por último, las ratios a lo largo de las dinámicas de los paisajes entre la capacidad restante de almacenamiento de agua (rCAA) y la capacidad restante de uso (rCU) se mantiene relativamente estable para el área de estudio A1 (básicamente llanura litoral) y con crecimiento sostenible para el área de estudio A2.

area. But this loss is not homogeneous for all classes, causing the biggest loss for (very high) A class, as it happens with use capacity.

To end, ratios along landscape dynamics between remaining water storage capacity (rCAA) and the remaining use capacity (rCU) remain relatively stable for A1 study area (basically coastal lowlands) and with sustainable growth for A2 study area.

C9. CONSIDERACIONES FINALES / FINAL CONSIDERATIONS

Con el análisis y la dinámica de los paisajes a lo largo del tiempo, estructurado en tipos y unidades de paisaje (Antrop y Van Eetvelde 2017), el modelo geoespacial para la generación de escenarios y la evaluación de los cambios en los servicios ecosistémicos (ES), se debe iniciar el proceso de toma de decisiones en la planificación territorial, en el caso de la Comunitat Valenciana se articula preferentemente a través de los Planes de Acción Territorial. En una fase posterior, con cambio en la escala espacial y temporal, la dinámica y los modelos de cambio deben ser la base para la toma de decisiones y la generación del planeamiento urbanístico municipal. Aplicando esta estrategia se consiguen maximizar los servicios ecosistémicos, la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida de la población residente en el territorio.

A partir del presente trabajo sería necesario considerar una posible ampliación de ámbito territorial, para que la metodología y el modelo de simulación generado pueda aplicarse a

Decision-making process in territorial planning must be initiated with landscape analysis and dynamics over time, structured in landscape types and units (Antrop and Van Eetvelde 2017), the geospatial model for scenarios and ecosystem services (ES) evaluation. In the Valencian Community case, it is preferably articulated through the Territorial Action Plans. At a later stage, with change in the spatial and temporal scale, dynamics and models of change must be the basis in decision-making for municipal urban planning. Applying this strategy, ecosystem services, environmental sustainability and quality of life of the resident population in the territory are maximize.

From this work would be necessary to consider a possible territorial scope extension, so that methodology and generated simulation model could be applied to other territorial types (interior highlands, mountainous coastlines, etc.). This would

otros tipos de espacios (llanuras interiores, litorales montañosos, etc.). Para ello sería necesario evaluar el ajuste del proceso para la obtención de los tipos de paisaje y su delimitación en unidades de paisaje, así como ajustar las variables espaciales consideradas en el modelo de simulación.

Respecto a la herramienta de software utilizada, y dada la rapidez de cambio en los procesos de aprendizaje automático (ML), en un futuro muy próximo, se podría intentar incorporar como parte del proceso el aprendizaje profundo (DL) al disponer cada vez de más datos estructurados con los que generar y evaluar las variables espaciales que inducen a la dinámica de los paisajes. Además, están apareciendo nuevas herramientas como Tensor Flow, no específicas para la simulación de los procesos de dinámica ambientales, pero que se podría evaluar su respuesta a la simulación de la dinámica de los paisajes.

La evolución del hardware también generará cambios en la forma de modelizar las simulaciones. Pasamos de las unidades centrales de procesamiento (CPU) a las unidades gráficas de procesamiento (GPU) mucho más efectivas en los cálculos matemáticos reiterados y evolucionamos hacia procesadores específicos en (ML), unidades de procesamiento neuronal como el Hanguang 800 de T-Head. Este nuevo *hardware* junto con *software* diseñado para su aprovechamiento servirá para mejorar y agilizar los procesos utilizados en la modelización del cambio de los paisajes (categorización y evaluación de la

require assessing the adjustment process for obtaining the landscape types and units delimitation and adjust the spatial variables considered in the simulation model.

Regarding the software tool used and given the speed of change in machine learning (ML) processes, in the very near future, it could try to incorporate deep learning (DL) as part of process. This is due to the availability of increasingly structured data with which generate and evaluate the spatial variables that induce landscape dynamics. In addition, new tools such as Tensor Flow are appearing. They are not specific to simulate environmental dynamics processes, but their response to landscape dynamics simulation could be evaluated.

Hardware developments will also bring changes in the way of modelling simulations. We move from central processing units (CPU) to graphic processing units (GPU) much more effective in repeated mathematical calculations and evolve towards specific processors in (ML), neuronal processing units such as the Hanguang 800 of T-Head. This new hardware with software designed specifically for use will improve and streamline the processes used in the landscape modelling (categorization and assessment of probability of change over time and space).

probabilidad de cambio a lo largo del tiempo y el espacio).

Un futuro aparentemente prometedor para los procesos de simulación de la dinámica de los paisajes que nos permitirá tener una mejor aproximación a los posibles escenarios y con una visión más definida y a más largo plazo.

A seemingly promising future for landscape dynamics simulation processes will allow us to have a better approach to scenarios and with a more defined and longer-term vision.

BIBLIOGRAFÍA

- AGNOLETTI, M., CONTI, L., FREZZA, L. y SANTORO, A., 2015. Territorial Analysis of the Agricultural Terraced Landscapes of Tuscany (Italy): Preliminary Results. Sustainability [en línea], vol. 7, no. 12, pp. 4564-4581. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 2071-1050. DOI 10.3390/su7044564. Disponible en: <http://www.mdpi.com/2071-1050/7/4/4564/>
- AGUILO ALONSO, M., ARAMBURU MAQUA, M.P., BLANCO ANDRAY, A., CALATAYUD PRIETO-LAVAIN, T. y CARRASCO GONZÁLEZ, R.M., 1992. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. S.I.: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- ÅKERMAN, M., 2005. What does 'natural capital' do? The role of metaphor in economic understanding of the environment. Environmental Education Research [en línea], vol. 11, no. 1, pp. 37-52. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 1350-4622. DOI 10.1080/1350462042000328730. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1350462042000328730>
- ALMEIDA, C.M., GLERIANI, J.M., CASTEJON, E.F. y SOARES-FILHO, B.S., 2008. Using neural networks and cellular automata for modelling intra-urban land-use dynamics. International Journal of Geographical Information Science [en línea], vol. 22, no. 9, pp. 943-963. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 1365-8816. DOI 10.1080/13658810701731168. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13658810701731168>
- ALONSO-GONZÁLEZ, P., FERNÁNDEZ-MIER, M. y FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, J., 2018. La ambivalencia del paisaje: de la genealogía a la arqueología agraria. Munibe Antropología-Arkeologia, no. 3, pp. 31-34. ISSN 11322217. DOI 10.21630/maa.2018.69.11
- AMICI, V., MACCHERINI, S., SANTI, E., TORRI, D., VERGARI, F. y DEL MONTE, M., 2017. Long-term patterns of change in a vanishing cultural landscape: A GIS-based assessment. Ecological Informatics [en línea], vol. 37, no. January, pp. 38-51. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 15749541. DOI

- 10.1016/j.ecoinf.2016.11.008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.11.008>
- AÑÓ VIDAL, C., PASCUAL AGUILAR, J.A. y SÁNCHEZ DÍAZ, J., 2005. Capacidad de uso y sellado antropogénico del suelo en la franja litoral de la provincia de Castellón. *Investigaciones Geográficas* [en línea], vol. 38, no. 38, pp. 65-77. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 0213-4691. DOI 10.14198/INGEO2005.38.04. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10045/210>
- ANTOLÍN TOMÁS, C., 1998. El suelo como recurso natural en la Comunidad Valenciana [en línea]. Valencia: Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports. ISBN 8448215753.
- ANTOLÍN TOMÁS, C., AÑÓ VIDAL, C., CARBÓ VALVERDE, E. y ÁLVAREZ ALONSO, D., 1997. Capacidad de uso del suelo en la Comunidad Valenciana. Una aproximación a la planificación territorial. 1997. S.l.: s.n.
- ANTROP, M., 2000. Background concepts for integrated landscape analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [en línea], vol. 77, no. 1-2, pp. 17-28. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 0167-8809. DOI 10.1016/S0167-8809(99)00089-4. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880999000894>
- ANTROP, M., 2005. Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape and Urban Planning* [en línea], vol. 70, no. 1-2, pp. 21-34. [Consulta: 15 junio 2016]. ISSN 01692046. DOI 10.1016/j.landurbplan.2003.10.002. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016920460300207X>
- ANTROP, M. y VAN EETVELDE, V., 2017. *Landscape Perspectives* [en línea]. Dordrecht: Springer Netherlands. [Consulta: 9 mayo 2019]. Landscape Series. ISBN 978-94-024-1181-2. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-94-024-1183-6>
- BAILLY, É., 2013. The poetry of the urban landscape. *Métropolitiques* [en línea], pp. 6. [Consulta: 26 abril 2019]. Disponible en: <https://www.metropolitiques.eu/The-poetry-of-the-urban-landscape.html>
- BASSE, R.M., OMRANI, H., CHARIF, O., GERBER, P. y BÓDIS, K., 2014. Land use changes modelling using advanced methods: Cellular automata and artificial neural networks. The spatial and explicit representation of land cover dynamics at the cross-border region scale. *Applied Geography* [en línea], vol. 53, pp. 160-171. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 01436228. DOI 10.1016/j.apgeog.2014.06.016. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0143622814001325>
- BASTIAN, O., GRUNEWALD, K. y KHOROSHEV, A. V., 2015. The significance of geosystem and landscape concepts for the assessment of ecosystem services: exemplified in a case study in Russia. *Landscape Ecology* [en línea], vol. 30, no. 7, pp. 1145-1164. [Consulta: 15 septiembre 2019]. ISSN 0921-2973. DOI 10.1007/s10980-015-0200-x. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s10980-015-0200-x>
- BASTIAN, O., GRUNEWALD, K. y SYRBE, R.-U., 2012. Space and time aspects of ecosystem services, using the example of the

- EU Water Framework Directive. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* [en línea], vol. 8, no. 1-2, pp. 5-16. [Consulta: 15 septiembre 2019]. ISSN 2151-3732. DOI 10.1080/21513732.2011.631941. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21513732.2011.631941>
- BELDA-CARRASCO, R., IRANZO-GARCÍA, E. y PASCUAL AGUILAR, J.A., 2019. Landscape Dynamics in Mediterranean Coastal Areas: Castelló de la Plana in the Last Hundred Years. *Landscape Online* [en línea], vol. 69, pp. 1-15. ISSN 1865-1542. DOI 10.3097/LO.201969. Disponible en: <https://www.landscape-online.org/index.php/lo/article/view/LO.201969>
- BELL, E.J., 1974. Markov analysis of land use change—an application of stochastic processes to remotely sensed data. *Socio-Economic Planning Sciences* [en línea], vol. 8, no. 6, pp. 311-316. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 00380121. DOI 10.1016/0038-0121(74)90034-2. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0038012174900342>
- BENEVOLO, L., 1994. *La captura del infinito* [en línea]. S.I.: Celeste. ISBN 9788487553660. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=RSeAAAAA CAAJ>
- BENOIT, G., COUDERT, E. y MORICONI-EBRARD, F., 2001. Urbanisation in the Mediterranean Region from 1950 to 1995. [en línea]. Sophia Antipolis: [Consulta: 21 febrero 2018]. Disponible en: http://planbleu.org/sites/default/files/publications/cahier1_urbanisation_uk.pdf
- BERQUE, A., 1997. En el origen del paisaje. *Revista de Occidente* [en línea], no. 189, pp. 7-21. [Consulta: 24 abril 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=22143>
- BOLÓS CAPDEVILA, M. de, 1992. *Manual de ciencia del paisaje : teoría, métodos y aplicaciones* [en línea]. Barcelona: Masson. [Consulta: 4 mayo 2019]. ISBN 843110595X. Disponible en: <https://scg.iec.cat/Scg9/Scg91/S9104421.htm>
- BOLÓS CAPDEVILA, M. de y BOFARULL AMAT, J., 2007. *Els mapes d'unitats de paisatge*. National seminar on landscape [en línea]. Andorra la Vella: Council of Europe Publishing, pp. 47-65. [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: <https://rm.coe.int/CoERMPublicCommonSearchServices/DisplayDCTMContent?documentId=09000016802fc531>
- BORRADORI, G., 2000. Two versions of continental holism. *Philosophy & Social Criticism* [en línea], vol. 26, no. 4, pp. 1-22. [Consulta: 24 abril 2019]. ISSN 0191-4537. DOI 10.1177/019145370002600401. Disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/019145370002600401>
- BÜRGI, M., SILBERNAGEL, J., WU, J. y KIENAST, F., 2015. Linking ecosystem services with landscape history. *Landscape Ecology* [en línea], vol. 30, no. 1, pp. 11-20. [Consulta: 28 mayo 2018]. ISSN 0921-2973. DOI 10.1007/s10980-014-0102-3. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s10980-014-0102-3>.
- BÜRGI, M., VERBURG, P.H., KUEMMERLE, T. y PLIENINGER, T., 2017. Analyzing dynamics

- and values of cultural landscapes. *Landscape Ecology* [en línea], vol. 32, no. 11, pp. 2077-2081. [Consulta: 28 mayo 2018]. ISSN 0921-2973. DOI 10.1007/s10980-017-0573-0. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s10980-017-0573-0>
- C.E.B.A.S, 1975. Plan nacional coordinado de investigación sobre agrios. Tipología de suelos. . Madrid:
- CAMACHO OLMEDO, M.T., MAS, J.-F. y PAEGELOW, M., 2018. The Simulation Stage in LUCM Modeling. En: M.T. CAMACHO OLMEDO, M. PAEGELOW, J.-F. MAS y F. ESCOBAR (eds.), *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios* [en línea]. Cham: Springer International Publishing, pp. 27-51. [Consulta: 19 enero 2018]. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-60801-3_3
- CAMACHO OLMEDO, M.T., PAEGELOW, M., MAS, J.-F. y ESCOBAR, F., 2018. *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios* [en línea]. Cham: Springer International Publishing. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISBN 978-3-319-60800-6. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-60801-3>
- CAMACHO OLMEDO, M.T., PONTIUS, R.G., PAEGELOW, M. y MAS, J.-F., 2015. Comparison of simulation models in terms of quantity and allocation of land change. *Environmental Modelling & Software* [en línea], vol. 69, pp. 214-221. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 13648152. DOI 10.1016/j.envsoft.2015.03.003. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815215000833>
- CÁMARA BOLUDA, V. y BAU IZQUIERDO, R., 2014. *Territorio y red viaria : evolución histórica de las carreteras valencianas (1900-2013)* [en línea]. Valencia: Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient. [Consulta: 21 septiembre 2019]. ISBN 9788448259709. Disponible en: <https://www.llig.gva.es/es/261207-9788448259709.html>
- CARVALHO-RIBEIRO, S., RAMOS, I.L., MADEIRA, L., BARROSO, F., MENEZES, H. y PINTO CORREIA, T., 2013. Is land cover an important asset for addressing the subjective landscape dimensions? *Land Use Policy* [en línea], vol. 35, pp. 50-60. [Consulta: 23 noviembre 2018]. ISSN 02648377. DOI 10.1016/j.landusepol.2013.04.015. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837713000781>
- CARVALHO LIMA, T., CARVALHO RIBEIRO, S. y SOARES-FILHO, B., 2018. Integrating Econometric and Spatially Explicit Dynamic Models to Simulate Land Use Transitions in the Cerrado Biome. *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios* [en línea]. Cham: Springer International Publishing, pp. 399-417. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISBN 9783319608013. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-60801-3_19
- CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (CSR/UFMG), 2018. *Dinamica EGO* [en línea]. 2018. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 4.06. [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: <http://csr.ufmg.br/dinamica/>

- CHIAS, P. y ABAD, T., 2009. Geolocating and Georeferencing: GIS Tools for Ancient Maps Visualisation. 2009 13th International Conference Information Visualisation [en línea]. S.l.: IEEE, pp. 529-538. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISBN {978-0-7695-3733-7}. DOI 10.1109/IV.2009.96. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5190864/>
- CONSEJO DE EUROPA, 2000. El Convenio Europeo del Paisaje [en línea]. 2000. Florencia: s.n. [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: www.mecd.gob.es/cultura-mecd/dms/mecd/.../Convenio_europeo_paisaje.pdf
- COPERNICUS, 2017. Copernicus, Land Monitoring Service, Pan European. [en línea]. [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: <http://land.copernicus.eu/pan-european>
- COSTA TALENS, M., 1982. Pisos Bioclimáticos y series de vegetación en el área valenciana. Cuadernos de Geografía [en línea], vol. 31, no. 31, pp. 129-142. [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/37591.pdf>
- COSTA TALENS, M., 1999. La vegetación y el paisaje en las tierras valencianas [en línea]. 1. Madrid: Editorial Rueda. ISBN 8472071170. [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/extlib?codigo=64165>.
- COSTA TALENS, M., 2009. La vegetación y el paisaje. Paisea: revista de paisajismo [en línea], no. 10, pp. 16-22. [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=4033138>
- COSTANZA, R., 2008. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed. Biological Conservation [en línea], vol. 141, no. 2, pp. 350-352. [Consulta: 15 septiembre 2019]. ISSN 00063207. DOI 10.1016/j.biocon.2007.12.020. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S006320707004715>
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R. V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P. y VAN DEN BELT, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature [en línea], vol. 387, no. 6630, pp. 253-260. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 0028-0836. DOI 10.1038/387253a0. Disponible en: <http://www.nature.com/articles/387253a0>
- DE ARANZABAL, I., SCHMITZ, M.F., AGUILERA, P. y PINEDA, F.D., 2008. Modelling of landscape changes derived from the dynamics of socio-ecological systems. Ecological Indicators [en línea], vol. 8, no. 5, pp. 672-685. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 1470160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2007.11.003. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X07001161>
- DÉJEANT-PONS, M., 2006. The European Landscape Convention. Landscape Research [en línea], vol. 31, no. 4, pp. 363-384. [Consulta: 21 marzo 2018]. ISSN 0142-6397. DOI 10.1080/01426390601004343. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01426390601004343>

- DOMINGO PÉREZ, C., 1983. La Plana de Castellón: formación de un paisaje agrario mediterráneo. Castellón: Caja de Ahorros y Monte de Piedad de Castellón. ISBN 8472318303
- ESCOBAR, F., VAN DELDEN, H. y HEWITT, R., 2018. LUCC Scenarios. En: M.T. CAMACHO OLMEDO, M. PAEGELOW, J.-F. MAS y F. ESCOBAR (eds.), *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios* [en línea]. Cham: Springer International Publishing, pp. 81-97. [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-60801-3_5
- ESTEPA, 2017. Estudios del Territorio, Paisaje y Patrimonio (UV). Universitat de València [en línea]. [Consulta: 26 abril 2019]. Disponible en: <https://www.uv.es/uvweb/departamento-geografia/es/investigacion/grupos-investigacion/estepa-estudios-del-territorio-del-patrimonio-/actividades-del-grupo/lineas-investigacion-1285858445772.html>.
- FERNÁNDEZ-ALONSO, J.M., 1997. La producción contemporánea del paisaje. *Revista de Occidente* [en línea], no. 189, pp. 65-72. [Consulta: 24 abril 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=22147>
- FERREIRA, B.M., SOARES-FILHO, B.S. y PEREIRA, F.M.Q., 2019. The Dinamica EGO virtual machine. *Science of Computer Programming* [en línea], vol. 173, pp. 3-20. [Consulta: 10 abril 2019]. ISSN 01676423. DOI 10.1016/j.scico.2018.02.002. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167642318300455>
- GAGO-SILVA, A., RAY, N. y LEHMANN, A., 2017. Spatial Dynamic Modelling of Future Scenarios of Land Use Change in Vaud and Valais, Western Switzerland. *ISPRS International Journal of Geo-Information* [en línea], vol. 6, no. 12, pp. 115. [Consulta: 19 enero 2018]. ISSN 2220-9964. DOI 10.3390/ijgi6040115. Disponible en: <http://www.mdpi.com/2220-9964/6/4/115>
- GALLARDO, M., 2018. Revisión y análisis de estudios de modelos de cambios de usos del suelo y de escenarios a futuro. *Geographicalia* [en línea], no. 70, pp. 1-26. [Consulta: 28 febrero 2019]. ISSN 2386-3021. DOI 10.26754/ojs_geoph/geoph.2018703278. Disponible en: <https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/geographicalia/article/view/3278>
- GARCÍA, F., 2016. Compacidad y densidad de las ciudades españolas. *EURE (Santiago)* [en línea], vol. 42, no. 127, pp. 5-27. [Consulta: 15 febrero 2018]. ISSN 0250-7161. DOI 10.4067/S0250-71612016000300001. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612016000300001&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- GARCÍA MARTÍN, F.M. y ROS SEMPERE, M., 2016. Patterns of non-planned occupation of the peri-urban territory of the Huerta de Murcia, 1929-2015. *Back to the Sense of the City: International Monograph Book* [en línea]. S.l.: Centre de Política de Sòl i Valoracions, pp. 826-837. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISBN 8481-576603. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/91017/CH_03_García_et_al.pdf

- GERI, F., AMICI, V. y ROCCHINI, D., 2010. Human activity impact on the heterogeneity of a Mediterranean landscape. *Applied Geography* [en línea], vol. 30, no. 3, pp. 370-379. [Consulta: 23 mayo 2018]. ISSN 01436228. DOI 10.1016/j.apgeog.2009.10.006. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.178.7059&rep=rep1&type=pdf>
- GIMÉNEZ FONT, P., 2008. Colonización territorial, razón ilustrada y particularidades valencianas en la nueva población de Benadressa (Castelló de la Plana). *Cuadernos de geografía*, no. 83, pp. 61-80. ISSN 0210-086X.
- GOLLIER, C., 2019. Valuation of natural capital under uncertain substitutability. *Journal of Environmental Economics and Management* [en línea], vol. 94, pp. 54-66. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 00950696. DOI 10.1016/j.jeem.2019.01.003. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0095069617308197>.
- GÓMEZ-ZOTANO, J. y RIESCO-CHUECA, P., 2010. Marco conceptual y metodológico para los paisajes españoles: aplicación a tres escalas espaciales [en línea]. S.I.: Centro de Estudio Paisaje y Territorio, Junta de Andalucía. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISBN 9788475952444. Disponible en: <http://www.unioviedo.es/reunido/index.php/RCG/article/viewFile/9643/9389%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Marco+conceptual+y+metodol?gicop+para+los+paisajes+espa?oles.+Aplicacion+a+tres+escalas+espaciales#0>
- GÓMEZ-ZOTANO, J., RIESCO-CHUECA, P., FROLOVA, M. y RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, J., 2018. The landscape taxonomic pyramid (LTP): a multi-scale classification adapted to spatial planning. *Landscape Research* [en línea], pp. 1-16. [Consulta: 21 marzo 2018]. ISSN 0142-6397. DOI 10.1080/01426397.2017.1404021. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01426397.2017.1404021>
- GUPTA, S., ISLAM, S. y HASAN, M.M., 2018. Analysis of impervious land-cover expansion using remote sensing and GIS: A case study of Sylhet sadar upazila. *Applied Geography* [en línea], vol. 98, no. 10, pp. 156-165. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 01436228. DOI 10.1016/j.apgeog.2018.07.012. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.07.012>
- HAN, H., YANG, C. y SONG, J., 2015. Scenario Simulation and the Prediction of Land Use and Land Cover Change in Beijing, China. *Sustainability* [en línea], vol. 7, no. 4, pp. 4260-4279. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 2071-1050. DOI 10.3390/su7044260. Disponible en: <http://www.mdpi.com/2071-1050/7/4/4260>
- HENGL, T., MENDES DE JESUS, J., HEUVELINK, G.B.M., RUIPEREZ GONZALEZ, M., KILIBARDA, M., BLAGOTIĆ, A., SHANGGUAN, W., WRIGHT, M.N., GENG, X., BAUER-MARSCHALLINGER, B., GUEVARA, M.A., VARGAS, R., MACMILLAN, R.A., BATJES, N.H., LEENAARS, J.G.B., RIBEIRO, E., WHEELER, I., MANTEL, S. y KEMPEN, B., 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. En: B. BOND-LAMBERTY (ed.), *PLOS ONE* [en línea], vol. 12, no. 2, pp. e0169748. [Consulta: 27 junio 2019]. ISSN

- 1932-6203. DOI 10.1371/journal.pone.0169748. Disponible en: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0169748>
- HERMOSILLA PLA, J. y IRANZO-GARCÍA, E., 2012. Atlas de la Comunitat Valenciana : geografía del paisaje . Valencia: Universidad de Valencia, Servicio de Publicaciones. ISBN 9788437087719.
- HERNANDO FERNÁNDEZ, V., GIMENO MARTÍN, L., RODRÍGUEZ SEÑAS, J., GONZÁLEZ PONCE, R. y HERNANDO, V., 1971. Estudio de los suelos de naranjos de Valencia y Castellón de la Plana. Castelló de la Plana: Departamento de fertilidad de suelos y nutrición vegetal. Instituto de edafología y biología vegetal. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- INGELMO SÁNCHEZ, F. y CUADRADO SÁNCHEZ, S., 1986. El agua y el medio físico del suelo. Salamanca: Centro de Edafología y Biología Aplicada, CSIC. ISBN 8400064178.
- INSTITUT CARTOGRÀFIC VALENCIÀ, 2018. Infraestructura Valenciana de Dades Espacials (IDEV). Infraestructura Valenciana de Dades Espacials [en línea]. [Consulta: 28 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.idev.gva.es/es/inicio>.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL, 2018. Centro de descargas del CNIG (IGN). [en línea]. [Consulta: 26 abril 2019]. Disponible en: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 2017. Catálogo de Información Geocientífica del IGME Cartografía. [en línea]. [Consulta: 26 abril 2019]. Disponible en: <http://www.igme.es/>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, 2018. INE base: operaciones estadísticas. [en línea]. [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: <http://www.ine.es/inebmenu/indice.htm>
- IRANZO-GARCÍA, E., 2009. El paisaje como patrimonio rural. Propuesta de una sistemática integrada para el análisis de los paisajes valencianos [en línea]. S.I.: Universitat de València, Servei de Publicacions. [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: <http://roderic.uv.es/handle/10550/15883>
- IUSS WORKING GROUP WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. [en línea]. Rome: [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf>
- IVERSON, L., ECHEVERRIA, C., NAHUELHUAL, L. y LUQUE, S., 2014. Ecosystem services in changing landscapes: An introduction. Landscape Ecology [en línea], vol. 29, no. 2, pp. 181-186. [Consulta: 15 septiembre 2019]. ISSN 0921-2973. DOI 10.1007/s10980-014-9993-2. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s10980-014-9993-2>
- JAEGER, J.A.G., 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. Landscape Ecology [en línea], vol. 15, no. 2, pp. 115-130. [Consulta: 23 noviembre 2018]. ISSN 09212973. DOI 10.1023/A:1008129329289. Disponible en: <http://www.igme.es/>

- <http://link.springer.com/10.1023/A:1008129329289>
- JAMES, G., WITTEN, D., HASTIE, T. y TIBSHIRANI, R., 2017. An Introduction to Statistical Learning [en línea]. New York: Springer Science+Business Media. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISBN 9781461471387. Disponible en: <http://faculty.marshall.usc.edu/gareth-james/ISL/ISLR Seventh Printing.pdf>
- JENNY, B. y HURNI, L., 2011. Studying cartographic heritage: Analysis and visualization of geometric distortions. Computers & Graphics [en línea], vol. 35, no. 2, pp. 402-411. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 00978493. DOI 10.1016/j.cag.2011.01.005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cag.2011.01.005>
- JONES, M. y STENSEKE, M., 2011. The European Landscape Convention [en línea]. Dordrecht: Springer Netherlands. [Consulta: 9 mayo 2019]. Landscape Series. ISBN 978-90-481-9931-0. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-90-481-9932-7>
- KUMAR, M., DENIS, D.M., SINGH, S.K., SZABÓ, S. y SURYAVANSHI, S., 2018. Landscape metrics for assessment of land cover change and fragmentation of a heterogeneous watershed. Remote Sensing Applications: Society and Environment [en línea], vol. 10, pp. 224-233. [Consulta: 16 mayo 2018]. ISSN 23529385. DOI 10.1016/j.rsase.2018.04.002. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235293851730246X?via%3Dihub>
- LANG, S., WALZ, U., KLUG, H., BLASCHKE, T. y SYRBE, R.-U., 2008. Landscape metrics – A toolbox for assessing past, present and future landscape structures. En: A. KREK, O. BENDER, N. EVELPIDOU y A. VASSILOPOULOS (eds.), Geoinformation Technologies for Geo-Cultural Landscapes [en línea]. London: CRC Press, pp. 207-234. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISBN 978-0-415-46859-6. Disponible en: <http://www.crcnetbase.com/doi/10.1201/9780203881613.ch10>
- LANGANKE, T., 2016. Copernicus Land Monitoring Service-High Resolution Layer Imperviousness: Product Specificatio. [en línea]. S.I.: [Consulta: 20 septiembre 2019] Disponible en: <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/hrl-imperviousness-technical-document-prod-2015>
- LÓPEZ MARTÍNEZ, F., PÉREZ MORALES, A. y GIL GUIRADO, S., 2016. In landscape management all of us have something to say. A holistic method for landscape Preservability evaluation in a Mediterranean region. Land Use Policy [en línea], vol. 51, pp. 172-183. [Consulta: 15 febrero 2018]. ISSN 02648377. DOI 10.1016/j.landusepol.2015.11.004. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837715003476>
- LUNDBERG, A., 2018. Recent methods, sources and approaches in the study of temporal landscape change at different scales - a review. Hungarian Geographical Bulletin [en línea], vol. 67, no. 4, pp. 309-318. [Consulta: 11 junio 2019]. ISSN 20645031. DOI 10.15201/hungeobull.67.4.1. Disponible en: <http://ojs3.mtak.hu/index.php/hungeobull/article/view/1064>

- LUSTIG, A., STOUFFER, D.B., ROIGÉ, M. y WORNER, S.P., 2015. Towards more predictable and consistent landscape metrics across spatial scales. *Ecological Indicators* [en línea], vol. 57, pp. 11-21. [Consulta: 30 enero 2018]. ISSN 1470160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2015.03.042. Disponible en: <http://www.stoufferlab.org/pdfs/Lustig-2015-Ecol.Ind.-57-11.pdf>
- MADERUELO, J., 1997. Del arte del paisaje al paisaje como arte. *Revista de Occidente* [en línea], no. 189, pp. 23-36. [Consulta: 6 agosto 2019]. ISSN 0034-8635. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=22144>
- MAITHANI, S., BEGUM, A., KUMAR, P. y KUMAR, A.S., 2018. Simulation of peri-urban growth dynamics using weights of evidence approach. *Geocarto International* [en línea], vol. 33, no. 9, pp. 957-976. [Consulta: 19 enero 2018]. ISSN 1010-6049. DOI 10.1080/10106049.2017.1319425. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10106049.2017.1319425>
- MARTÍ LLAMBRICH, C., 2005. La transformació del paisatge litoral de la Costa Brava. Anàlisi de l'evolució (1956-2003), diagnosi de l'estat actual i prognosi de futur. S.I.: Universitat de Girona.
- MARTÍN, B., ORTEGA, E., MARTINO, P. y OTERO, I., 2018. Inferring landscape change from differences in landscape character between the current and a reference situation. *Ecological Indicators* [en línea], vol. 90, pp. 584-593. [Consulta: 11 junio 2019]. ISSN 1470160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2018.03.065. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X18302206>
- MAS, J.-F., 2018. Weights of Evidence. En: M.T. CAMACHO OLMEDO, M. PAEGELOW, J.-F. MAS y F. ESCOBAR (eds.), *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios* [en línea]. Cham: Springer International Publishing, pp. 469-471. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISBN 978-3-319-60801-3. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-60801-3_31
- MAS, J.-F., KOLB, M.M., PAEGELOW, M., CAMACHO OLMEDO, M.T. y HOUET, T., 2013. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling and Software* [en línea], vol. 51, pp. 94-111. [Consulta: 10 abril 2019]. ISSN 13648152. DOI 10.1016/j.envsoft.2013.09.010. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.09.010>
- MAS, J.-F., LEMOINE-RODRÍGUEZ, R., GONZÁLEZ-LÓPEZ, R., LÓPEZ-SÁNCHEZ, J., PIÑA-GARDUÑO, A. y HERRERA-FLORES, E., 2017. Land use/land cover change detection combining automatic processing and visual interpretation. *European Journal of Remote Sensing* [en línea], vol. 50, no. 1, pp. 626-635. [Consulta: 19 enero 2018]. ISSN 2279-7254. DOI 10.1080/22797254.2017.1387505. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/22797254.2017.1387505>
- MAS, J.-F. y RODRIGUES, H.O., 2018. Cellular Automaton. En: M.T. CAMACHO OLMEDO, M. PAEGELOW, J.-F. MAS y F. ESCOBAR (eds.), *Geomatic Approaches for Modeling*

- Land Change Scenarios [en línea]. Cham: Springer, pp. 421-424. [Consulta: 18 enero 2018]. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-60801-3_20
- MATA OLMO, R., 2008. The Landscape, Heritage and Resource for the Sustainable Territorial Development. Knowledge and Public Action. *Arbor* [en línea], vol. CLXXXIV, no. 729, pp. 155-172. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 1988-303X. DOI 10.3989/arbor.2008.i729.168. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-66749137128&partnerID=40&md5=94e100f86ee81da41c75f15e9d031db7>
- MATA OLMO, R. y FERNÁNDEZ MUÑOZ, S., 2004. La Huerta de Murcia: landscape guidelines for a peri-urban territory. *Landscape Research* [en línea], vol. 29, no. 4, pp. 385-397. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 0142-6397. DOI 10.1080/0142639042000289028. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-11244264585&partnerID=40&md5=2344a5cbb51c3c9912ef9d20dd35ecb8>
- MATEU BELLÉS, J.F., 2003. El Prat i el Pinar de Castelló de la Plana (1855-1900): canvis territorials d'un tram costaner. *Cuadernos de Geografía*, vol. 73-74, pp. 91-119.
- MENESES, B., REIS, E., PEREIRA, S., VALE, M. y REIS, R., 2017. Understanding Driving Forces and Implications Associated with the Land Use and Land Cover Changes in Portugal. *Sustainability* [en línea], vol. 9, no. 12, pp. 351. [Consulta: 19 enero 2018]. ISSN 2071-1050. DOI 10.3390/su9030351. Disponible en: <http://www.mdpi.com/2071-1050/9/3/351>
- MICHALIK-ŚNIEŻEK, M., CHMIELEWSKI, S. y CHMIELEWSKI, T.J., 2019. An introduction to the classification of the physiognomic landscape types: methodology and results of testing in the area of Kazimierz Landscape Park (Poland). *Physical Geography* [en línea], vol. 40, no. 4, pp. 384-404. [Consulta: 11 junio 2019]. ISSN 0272-3646. DOI 10.1080/02723646.2018.1551009. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02723646.2018.1551009>
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. [en línea]. [Consulta: 20 septiembre 2019]. Washington, DC: Disponible en: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- MIRKATOULI, J., HOSSEINI, A. y NESHAT, A., 2015. Analysis of land use and land cover spatial pattern based on Markov chains modelling. *City, Territory and Architecture* [en línea], vol. 2, no. 1, pp. 4. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 2195-2701. DOI 10.1186/s40410-015-0023-8. Disponible en: <http://www.cityterritoryarchitecture.com/content/2/1/4>
- MISSEMER, A., 2018. Natural Capital as an Economic Concept, History and Contemporary Issues. *Ecological Economics* [en línea], vol. 143, pp. 90-96. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 0921-8009. DOI 10.1016/J.ECOLECON.2017.07.011. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800916302671>
- MITCHELL, M., LOCKWOOD, M., MOORE, S.A. y CLEMENT, S., 2016. Building systems-based scenario narratives for novel biodiversity futures in an agricultural

- landscape. En: From Duplicate 2 (Building systems-based scenario narratives for novel biodiversity futures in an agricultural landscape - Mitchell, Michael; Lockwood, Michael; Moore, Susan A; Clement, Sarah), Landscape and Urban Planning [en línea], vol. 145, pp. 45-56. ISSN 01692046. DOI 10.1016/j.landurbplan.2015.09.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.09.003>
- MODICA, G., PRATICÒ, S. y DI FAZIO, S., 2017. Abandonment of Traditional Terraced Landscape: A Change Detection Approach (A Case Study in Costa Viola - Calabria, Italy). Land Degradation & Development [en línea], vol. 28, no. 8, pp. 2608-2622. [Consulta: 14 mayo 2019]. ISSN 10853278. DOI 10.1002/ldr.2824. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1002/ldr.2824>
- MÜCHER, C.A., KLIJN, J.A., WASCHER, D.M. y SCHAMINÉE, J.H.J., 2010. A new European Landscape Classification (LANMAP): A transparent, flexible and user-oriented methodology to distinguish landscapes. Ecological Indicators [en línea], vol. 10, no. 1, pp. 87-103. [Consulta: 21 marzo 2019]. ISSN 1470160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2009.03.018. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X09001459>
- NOGUÉ I FONT, J., 2010. El retorno al paisaje. *Enrahonar. Quaderns de filosofia* [en línea], vol. 45, pp. 123-136. [Consulta: 14 octubre 2019]. ISSN 2014-881X. DOI 10.5565/rev/enrahonar.224. Disponible en: <http://revistes.uab.cat/enrahonar/article/view/45-nogue>
- NOGUÉ I FONT, J., 2007. La construcción social del paisaje [en línea]. S.I.: Biblioteca Nueva. [Consulta: 6 agosto 2019]. ISBN 9788497426244. Disponible en: http://trobes.uv.es/search~S1*val?/anogu%7B226%7De/anogue/1%2C233%2C652%2CB/frameset&FF=anogue+i+font+joan+1958&6%2C%2C25
- NTI, I.K. y SALLIS, P.J., 2013. Geospatial Process Modelling for Land Use Cover Change [en línea]. S.I.: Auckland University of Technology. [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiV882b6evZAhUBbhQKHQ5DCyAQFggpMAA&url=http%3A%2F%2Faut.researchgateway.ac.nz%2Fbitstream%2Fhandle%2F10292%2F6026%2FNtiI.K.pdf%3Fsequence%3D3%26isAllowed%3Dy&usg=AOvVaw>
- NTI, I.K., SALLIS, P.J. y SHANAMUGANATHAN, S., 2009. A Review on Techniques Applied to Modelling, Simulating and Visualising Evolution of Physical Landscape. 2009 International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation [en línea]. S.I.: IEEE, pp. 54-58. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISBN 978-1-4244-5200-2. DOI 10.1109/CSSim.2009.25. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5350075/>
- OBIOL MENERO, E.M. y SORIANO MARTÍ, J., 2009. El sistema de riegos del Millars y los cambios en el paisaje de la huerta de la Plana. En: J. HERMOSILLA PLA (ed.), Los regadíos históricos del Baix Millars-La Plan: un patrimonio paisajístico en transformación. Valencia: Confederación Hidrográfica del Júcar, Universitat de València Departament de

- Geografia, pp. 27-38. ISBN 978-84-370-7667-6
- ODE, Å., TVEIT, M.S. y FRY, G., 2010. Advantages of using different data sources in assessment of landscape change and its effect on visual scale. *Ecological Indicators* [en línea], vol. 10, no. 1, pp. 24-31. [Consulta: 15 febrero 2019]. ISSN 1470160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2009.02.013. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X0900140X>
- ORELLA UNZUÉ, J.L., 2010. GEOHISTORIA. *Lurralde: investigaciones espaciales*, vol. 33, pp. 233-310.
- PAEGELOW, M. y CAMACHO OLMEDO, M.T., 2008. Advances in geomatic simulations for environmental dynamics. En: M. PAEGELOW y M.T. CAMACHO OLMEDO (eds.), *Modelling Environmental Dynamics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 3-56. ISBN 978-3-540-68498-5.
- PALANG, H., SPEK, T. y STENSEKE, M., 2011. Digging in the past: New conceptual models in landscape history and their relevance in peri-urban landscapes. *Landscape and Urban Planning* [en línea], vol. 100, no. 4, pp. 344-346. [Consulta: 15 junio 2019]. ISSN 01692046. DOI 10.1016/j.landurbplan.2011.01.012. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204611000491>
- PARZEN, E., 1999. *Stochastic processes* [en línea]. S.I.: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM, 3600 Market Street, Floor 6, Philadelphia, PA 19104). [Consulta: 28 abril 2019]. ISBN 9781611971125. Disponible en: https://books.google.es/books/about/Stochastic_Processes.html?id=iXDsYMUdbQC&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- PASCUAL AGUILAR, J.A., 2002. Cambios del suelo y regimen hídrico en la rambla de Poyo y el barranc de Carraixet. [en línea]. S.I.: Universitat de València, Servei de Publicacions. [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: <http://roderic.uv.es/handle/10550/15136>
- PASCUAL AGUILAR, J.A., ANDREU, V. y GIMENO-GARCÍA, E., 2017. ANTHROPOGENIC SOIL SEALING AS A DIRECT PRESSURE IN AGRO-ECOLOGICAL PROTECTED AREAS : A SPATIAL AND ... 1st World Conference on Soil and Water Conservation under Global Change-CONSOWA. Lleida: s.n., pp. 679-682.
- PASCUAL AGUILAR, J.A., SANZ GARCÍA, J. y DE BUSTAMANTE GUTIERREZ, I., 2011. Using environmental metrics to describe the spatial and temporal evolution of landscape structure and soil hydrology and fertility. En: B. CAFARELLI (ed.), *Spatial2: Spatial Data Methods for Environmental and Ecological processes* [en línea]. Foggia: The International Environmetrics Society - TIES, pp. 1-5. [Consulta: 20 septiembre 2019]. DOI 978-88-96125-12-3. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10446/25198>
- PINDOZZI, S., CERVELLI, E., CAPOLUPO, A., OKELLO, C. y BOCCIA, L., 2016. Using historical maps to analyze two hundred years of land cover changes: case study of Sorrento peninsula (south Italy), *Cartography and Geographic Information Science* [en línea], vol. 43, no. 3, pp. 250-265. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 1523-0406. DOI

- 10.1080/15230406.2015.1072736. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1080/15230406.2015.1072736>
- PLIENINGER, T., DRAUX, H., FAGERHOLM, N., BIELING, C., BÜRGI, M., KIZOS, T., KUEMMERLE, T., PRIMDAHL, J. y VERBURG, P.H., 2016. The driving forces of landscape change in Europe: A systematic review of the evidence. *Land Use Policy* [en línea], vol. 57, pp. 204-214. [Consulta: 15 febrero 2019]. ISSN 02648377. DOI 10.1016/j.landusepol.2016.04.040. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837715301769>
- PLIENINGER, T., KIZOS, T., BIELING, C., LE DÛ-BLAYO, L., BUDNIOK, M.-A., BÜRGI, M., CRUMLEY, C.L., GIROD, G., HOWARD, P., KOLEN, J., KUEMMERLE, T., MILCINSKI, G., PALANG, H., TROMMLER, K. y VERBURG, P.H., 2015. Exploring ecosystem-change and society through a landscape lens: recent progress in European landscape research. *Ecology and Society* [en línea], vol. 20, no. 2, pp. art5. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 1708-3087. DOI 10.5751/ES-07443-200205. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol20/iss2/art5/>
- RECATALÁ, L. y SÁNCHEZ, J., 1996. Aplicación de la metodología de evaluación de la calidad ambiental del paisaje en el ámbito mediterráneo al cuadrante II a escala 1:25.000 de Sagunto. En: J. CHACÓN MONTERO y C. IRIGARAY FERNÁNDEZ (eds.), V Reunión Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Granada: s.n., pp. 153-165.
- RIDDING, L.E., REDHEAD, J.W., OLIVER, T.H., SCHMUCKI, R., MCGINLAY, J., GRAVES, A.R., MORRIS, J., BRADBURY, R.B., KING, H. y BULLOCK, J.M., 2018. The importance of landscape characteristics for the delivery of cultural ecosystem services. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 206, pp. 1145-1154. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 03014797. DOI 10.1016/j.jenvman.2017.11.066. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479717311416>
- RIVAS-MARTÍNEZ, S., PENAS, Á., DÍAZ-GONZÁLES, T.E., DEL RÍO, S., CANTÓ, P., HERRERO, L., PINTO GOMES, C. y COSTA, J.C., 2014. Biogeography of Spain and Portugal. Preliminary typological synopsis. *International Journal of Geobotanical Research* [en línea], vol. 4, no. March, pp. 1-64. [Consulta: 28 febrero 2019]. ISSN 2253-6515. DOI 10.5616/ijgr140001. Disponible en: <http://www.editaefa.com/uploads/portugal-ref.pdf>
- RODRIGUES, H. y SOARES-FILHO, B., 2018. A Short Presentation of Dinamica EGO. En: M.T. CAMACHO OLMEDO, M. PAEGELOW, J.-F. MAS y F. ESCOBAR (eds.), *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios* [en línea]. Cham: Springer, pp. 493-498. ISBN 978-3-319-60800-6. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-60801-3_35
- ROY, H.G., FOX, D.M. y EMSELLEM, K., 2015. Spatial dynamics of land cover change in a Euro-Mediterranean catchment (1950–2008). *Journal of Land Use Science* [en línea], vol. 10, no. 3, pp. 277-297. ISSN 1747-423X. [Consulta: 20 septiembre 2019]. DOI 10.1080/

- 1747423X.2014.898105. Disponible en:
<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1747423X.2014.898105>
- RUBIO DELGADO, J.L., SÁNCHEZ DÍAZ, J. y FORTEZA BONNIN, J., 1996. Mapa de suelos de la Comunidad Valenciana, Proyecto Lucdeme : Valencia (722). [en línea]. Valencia: Generalitat Valenciana. Conselleria d'Agricultura i Medi Ambient. [Consulta: 7 agosto 2019]. Disponible en:
http://trobres.uv.es/record=b1209566~S1*val
- SÁNCHEZ DÍAZ, J., AÑÓ VIDAL, C., CARBÓ VALVERDE, E., PASCUAL, J., ANTOLÍN TOMÁS, C. y COLOMER MARCO, J., 2000. Orientaciones de uso agrario de la Comunidad Valenciana. Escala 1:300.000. [en línea], no. 1998. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 1135-6863. Disponible en:
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/42593/3/CAñó12.pdf>
- SANJAUME SAUMELL, E., 1985. Las costas valencianas: sedimentología y morfología. Valencia: Universidad de Valencia, Sección de Geografía. ISBN 8437002680.
- SAUSSURE, F. de, 1959. Course in general linguistics [en línea]. New York: Philosophical Library. [Consulta: 24 abril 2019]. Disponible en:
<https://archive.org/details/courseingeneral100saus>
- SEGADO VÁZQUEZ, F., GARCÍA MARTÍN, A. y ROSIQUE CAMPOY, M., 1996. Ordenación del territorio [en línea]. S.I.: Universidad de Murcia. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISBN 9788476847503. Disponible en:
<https://books.google.es/books?id=2gx6A-IQbH0C>
- SERRA, P., PONS, X. y SAURÍ, D., 2008. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography* [en línea], vol. 28, no. 3, pp. 189-209. [Consulta: 15 febrero 2019]. ISSN 01436228. DOI 10.1016/j.apgeog.2008.02.001. Disponible en:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S014362280800012X>
- SERRANO GINÉ, D., 2018. A Renewed Approach to the ABC Landscape Assessment Method: An Application to Muntanyes d'Ordal, Barcelona Metropolitan Area. *Landscape Online* [en línea], vol. 56, no. 56, pp. 1-18. [Consulta: 15 marzo 2019]. ISSN 18651542. DOI 10.3097/LO.201856. Disponible en:
www.landscapeonline.de
- SIMENSEN, T., HALVORSEN, R. y ERIKSTAD, L., 2018. Methods for landscape characterisation and mapping: A systematic review. *Land Use Policy* [en línea], vol. 75, pp. 557-569. [Consulta: 11 junio 2019]. ISSN 02648377. DOI 10.1016/j.landusepol.2018.04.022. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837717314072>
- SOARES-FILHO, B., 2015. Dinamica EGO - Validation. *Dinamica EGO* [en línea]. [Consulta: 27 abril 2019]. Disponible en:
<https://csr.ufmg.br/dinamica/validation/>
- SOARES-FILHO, B.S., COUTINHO-CERQUEIRAB, G. y LOPES-PENNACHINC, C., 2002. dinamica—a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling* [en línea], vol. 154, no. 3, pp. 217-235. [Consulta:

21 noviembre 2019]. ISSN 0304-3800. DOI 10.1016/S0304-3800(02)00059-5. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380002000595?via%3Dihub>

SOARES-FILHO, B.S., RODRIGUES, H.O., COSTA, W.L. y DAVIS, J.L., 2009. Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO. [en línea]. 2009. Belo Horizonte: Centro de Sensoramiento Remoto, Universidade Federal de Minas Gerais. [Consulta: 20 septiembre 2019] Disponible en: <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=tutorial:start>

SOARES-FILHO, B.S., RODRIGUES, H.O. y FOLLADOR, M., 2013. A hybrid analytical-heuristic method for calibrating land-use change models. *Environmental Modelling & Software* [en línea], vol. 43, pp. 80-87. [Consulta: 19 enero 2019]. ISSN 13648152. DOI 10.1016/j.envsoft.2013.01.010. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.01.010>

STAN, K.D. y SANCHEZ-AZOFEIFA, A., 2017. The Edmonton-Calgary corridor: Simulating future land cover change under potential government intervention. *Land Use Policy* [en línea], vol. 63, pp. 356-368. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 02648377. DOI 10.1016/j.landusepol.2017.01.039. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.01.039>

STATUTO, D., CILLIS, G. y PICUNO, P., 2016. Analysis of the effects of agricultural land use change on rural environment and landscape through historical cartography and GIS tools. *Journal of Agricultural Engineering* [en línea],

vol. 47, no. 1, pp. 28. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 2239-6268. DOI 10.4081/jae.2016.468. Disponible en: <http://www.agroengineering.org/index.php/jae/article/view/468/529>

STATUTO, D., CILLIS, G. y PICUNO, P., 2019. GIS-based Analysis of Temporal Evolution of Rural Landscape: A Case Study in Southern Italy. *Natural Resources Research* [en línea], vol. 28, no. S1, pp. 61-75. [Consulta: 11 junio 2019]. ISSN 1520-7439. DOI 10.1007/s11053-018-9402-7. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s11053-018-9402-7>

TIESKENS, K.F., SCHULP, C.J.E., LEVERS, C., LIESKOVSKÝ, J., KUEMMERLE, T., PLIENINGER, T. y VERBURG, P.H., 2017. Characterizing European cultural landscapes: Accounting for structure, management intensity and value of agricultural and forest landscapes. *Land Use Policy* [en línea], vol. 62, pp. 29-39. [Consulta: 15 febrero 2019]. ISSN 02648377. DOI 10.1016/j.landusepol.2016.12.001. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837715301885>

TIESKENS, K.F., SHAW, B.J., HAER, T., SCHULP, C.J.E. y VERBURG, P.H., 2017. Cultural landscapes of the future: using agent-based modeling to discuss and develop the use and management of the cultural landscape of South West Devon. *Landscape Ecology* [en línea], vol. 32, no. 11, pp. 2113-2132. [Consulta: 28 mayo 2019]. ISSN 0921-2973. DOI 10.1007/s10980-017-0502-2. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s10980-017-0502-2>

- TORTORA, A., STATUTO, D. y PICUNO, P., 2015. Rural landscape planning through spatial modelling and image processing of historical maps. *Land Use Policy* [en línea], vol. 42, pp. 71-82. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 02648377. DOI 10.1016/j.landusepol.2014.06.027. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.06.027>
- TROUPIN, D. y CARMEL, Y., 2016. Landscape patterns of development under two alternative scenarios: Implications for conservation. *Land Use Policy* [en línea], vol. 54, pp. 221-234. [Consulta: 10 abril 2019]. DOI 10.1016/j.landusepol.2016.02.008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.02.008>
- TSENDBAZAR, N.-E., DE BRUIN, S. y HEROLD, M., 2017. Integrating global land cover datasets for deriving user-specific maps. *International Journal of Digital Earth* [en línea], vol. 10, no. 3, pp. 219-237. [Consulta: 11 junio 2019]. ISSN 1753-8947. DOI 10.1080/17538947.2016.1217942. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17538947.2016.1217942>
- UNEP/MAP, 2016. Mediterranean Strategy for Sustainable Development 2016-2025. [en línea]. Valbonne: [Consulta: 21 febrero 2019]. Disponible en: https://planbleu.org/sites/default/files/publications/mssd_2016-2025_final.pdf
- VALERA LOZANO, A., AÑÓ VIDAL, C. y SÁNCHEZ DÍAZ, J., 2017. Transformación de usos agrícolas tradicionales en superficies construidas. Cambios en los usos y coberturas del suelo en el municipio de Valencia (1956-2012). *Estudios Geográficos* [en línea], vol. 77, no. 281, pp. 671. [Consulta: 16 julio 2019]. ISSN 1988-8546. DOI 10.3989/estgeogr.201623. Disponible en: <http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeograficos/article/view/500>
- VALLÉS, M., GALIANA, F. y BRU, R., 2013. Towards Harmonisation in Landscape Unit Delineation: An Analysis of Spanish Case Studies. *Landscape Research* [en línea], vol. 38, no. 3, pp. 329-346. [Consulta: 5 agosto 2019]. ISSN 0142-6397. DOI 10.1080/01426397.2011.647896. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01426397.2011.647896>
- VAN DER ZANDEN, E.H., LEVERS, C., VERBURG, P.H. y KUEMMERLE, T., 2016. Representing composition, spatial structure and management intensity of European agricultural landscapes: A new typology. *Landscape and Urban Planning* [en línea], vol. 150, pp. 36-49. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 01692046. DOI 10.1016/j.landurbplan.2016.02.005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.02.005>
- VEGA-POZULEO, R., TORRES-MÁRQUEZ, M. y NARANJO-RAMÍREZ, J., 2017. Recursos cartográficos y geohistóricos para el inventario de humedales temporales y desecados mediterráneos. *GeoFocus*, no. 19, pp. 151-179. ISSN ISSN: 1578-5157. DOI 10.21138/GF.540
- VELÁZQUEZ, A. y BOCCO, G., 2001. Land unit approach for biodiversity mapping. En: D. van der ZEE y I.S. ZONNEVELD (eds.), *Landscape ecology applied in land evaluation, development and conservation: some worldwide selected examples*. [en línea]. ITC

- Public. Enschede: ITC, pp. 273-285.
[Consulta: 20 septiembre 2019]. ISBN 90-6164-1977. Disponible en:
[http://dunza.com.mx/zacatucho/PDF/613Capitulos en Libros/6132Internacionales/6132-5.pdf](http://dunza.com.mx/zacatucho/PDF/613Capitulos%20en%20Libros/6132Internacionales/6132-5.pdf)
- VIGL, L.E., SCHIRPKE, U., TASSER, E. y TAPPEINER, U., 2016. Linking long-term landscape dynamics to the multiple interactions among ecosystem services in the European Alps. *Landscape Ecology* [en línea], vol. 31, no. 9, pp. 1903-1918. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 0921-2973. DOI 10.1007/s10980-016-0389-3. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s10980-016-0389-3>
- WASCHER, D.M., GROOM, G., FREDERIKSEN, P., MÜCHER, C.A., KINDLER, A. y HAINES-YOUNG, R., 2005. European Landscape Character Areas, Typologies, Cartography and Indicators for de Assessment of Sustainable Landscapes. En: *Alterra Report No. 1254/December 2005 S.I.*: [Consulta: 20 septiembre 2019]. Disponible en: <http://edepot.wur.nl/1778>
- ZONNEVELD, I.S., 1989. The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. *Landscape Ecology* [en línea], vol. 3, no. 2, pp. 67-86. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 09212973. DOI 10.1007/BF00131171. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/BF001>

LISTAS

Lista de figuras

- 2.01. Mapa de situación y emplazamiento del área de estudio A1, Castelló de la Plana.
- 2.02. Mapa de situación y emplazamiento del área de estudio A2, área metropolitana de Valencia.
- 3.01. Pirámide taxonómica de paisaje. Identificación y caracterización de los tipos y áreas de paisajes según las diferentes escalas y niveles administrativos (Gómez-Zotano et al. 2018).
- 3.02. Propiedades del *software* Dinamica EGO (Centro de Sensoriamento Remoto (CSR/UFGM) 2018).
- 3.03. Funcionamiento de un modelo simplificado del autómata celular *patcher* en el *software* Dinamica EGO (Mas y Rodrigues 2018).
- 3.04. Esquema global de la metodología de identificación de paisajes en espacios litorales.
- 3.05. Análisis de la proyección y precisión de la cartografía histórica con el *software* MapAnalyst. Representada la hoja 1940A de Castelló de la Plana.
- 3.06. Características de la georreferenciación de los vuelos 1945, 1956 y 1977. Representada la hoja 616 fotograma 5135 del vuelo de 1956, con sus 5 puntos y la transformación realizada (*projectiv transformation*).
- 3.07. Características de la georreferenciación de las minutas planimétricas de 1910 y 1940. Representada la hoja 1940A de Castelló de la plana, con sus 6 puntos y la transformación realizada (*affine*, polinomio de primer orden).
- 3.08. Esquema general seguido en la metodología de modelización de los procesos de cambio en espacios litorales
- 3.09. Modelo para la obtención de las matrices de transición, Dinamica EGO.
- 3.10. Modelo para la obtención de los rangos (WoE), Dinamica EGO.
- 3.11. Modelo para la obtención de los coeficientes (WoE) con el programa Dinamica EGO.
- 3.12. Ejemplo de rangos y coeficientes para una transición de paisaje determinada (WoE).

- 3.13. Modelo para la obtención de la correlación (WoE) de las variables espaciales con el programa Dinamica EGO.
- 3.14. Modelo de simulación simplificada (5 tipos) y validación de los procesos de cambio en espacios litorales, entre 1977 y 1997.
- 3.15. Modelo de cálculo de métricas de paisaje, diferencias entre 1997 y 2015.
- 3.16. Modelo de simulación completa (17 tipos de paisaje), los dos motores del autómata celular y validación de los procesos de cambio en espacios litorales, entre 1997 y 2015. Área de estudio A1.
- 3.17. Modelo de validación de los procesos de cambio en espacios litorales, utilizando las tres funciones posibles en Dinamica EGO.
- 3.18. Funciones de validación de los procesos de cambio en espacios litorales.
- 3.19. Modelo de simulación completa (17 tipos de paisaje) sin cambio de tendencia, escenario 2030 de los procesos de cambio en espacios litorales. Área de estudio A1.
- 4.01. Mapa de cambio de los tipos de paisaje. Área de estudio A1, 1910-2015.
- 4.02. Gráfico de variabilidad de los tipos de paisaje, en porcentaje de superficie (1910, 1940, 1956, 1977, 1997 y 2015). Área de estudio A1.
- 4.03. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje (1910, 1940, 1956, 1977, 1997 y 2015). Área de estudio A1.
- 4.04. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje y su relación de proporciones en la serie temporal (1910, 1940, 1956, 1977, 1997 y 2015). Área de estudio A1.
- 4.05. Gráfico de relación por pares y modelos de regresión lineal de cambio de cada tipo de paisaje (1910 a 2015). Área de estudio A1.
- 4.06. Gráfico del modelo de regresión polinómico (loess) de cambio de cada tipo de paisaje (1997 y 2015). Área de estudio A1.
- 4.07. Componentes principales del cambio en los tipos de paisaje en la serie temporal (1910 a 2015). Área de estudio A1.
- 4.08. Análisis del agrupamiento de los tipos y los años de la serie temporal utilizando los componentes principales X1 y X2. Área de estudio A1.
- 4.09. Mapa de variabilidad de las unidades de paisaje (1910-2015). Área de estudio A1.
- 4.10. Fragmentación de tipos de paisaje: gráfico de variabilidad de densidad de bordes (ED), ratio m/ha, (1910-2015). Área de estudio A1
- 4.11. Mapa de cambio de los tipos de paisaje (1990-2012). Área de estudio A2.
- 4.12. Gráfico de variabilidad de los tipos de paisaje, en porcentaje de superficie (1990, 2000 y 2012). Área de estudio A2.
- 4.13. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje (1990, 2000 y 2012). Área de estudio A2.
- 4.14. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje y su relación de proporciones en la serie temporal (1990, 2000 y 2012). Área de estudio A2.
- 4.15. Gráfico de relación por pares y modelos de regresión lineal de cambio de cada tipo de paisaje (1990 a 2012). Área de estudio A2.
- 4.16. Gráfico del modelo de regresión polinómico (loess) de cambio de cada tipo de paisaje (2000 a 2012). Área de estudio A2.

- 4.17. Componentes principales del cambio en los tipos de paisaje en la serie temporal (1990 a 2012). Área de estudio A2.
- 4.18. Análisis del agrupamiento de los tipos y los años de la serie temporal utilizando los componentes principales X1 y X2. Área de estudio A2.
- 4.19. Mapa de variabilidad de las unidades de paisaje (1990-2012). Área de estudio A2.
- 4.20. Fragmentación de tipos de paisaje: gráfico de variabilidad de densidad de bordes (ED), ratio m/ha, 1990-2012. Área de estudio A2.
- 5.01. Mapas unidades de paisaje simplificadas de 1977 y 1997, diferencia y similitud entre 1977 y simulación 1997. Unidades de paisaje simuladas en 1997, tipos simplificados (5). Área de estudio A1.
- 5.02. Mapas unidades de paisaje completas de 1977 y 1997, diferencia y similitud entre 1977 y simulación 1997. Unidades de paisaje simuladas en 1997, tipos completos (17). Área de estudio A1.
- 5.03. Mapas unidades de paisaje completas de 1997 y 2015, diferencia y similitud entre 1997 y simulación 2015. Unidades de paisaje simuladas en 2015, tipos completos (17). Área de estudio A1.
- 5.04. Gráfico de variabilidad de los tipos de paisaje (2015, 2030 y 2050). Escenarios, área de estudio A1.
- 5.05. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje (1910, 1940, 1956, 1977, 1997, 2015, 2030 y 2050). Serie temporal y escenarios, área de estudio A1.
- 5.06. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje y su relación de proporciones en la serie temporal y escenarios (1910, 1940, 1956, 1977, 1997, 2015, 2030 y 2050). Área de estudio A1.
- 5.07. Gráfico del modelo de regresión polinómico (loess) de cambio de cada tipo de paisaje (2015-30 y 2030-50). Escenarios, área de estudio A1.
- 5.08. Componentes principales del cambio en los tipos de paisaje en la serie temporal y los escenarios (1910 a 2050). Área de estudio A1.
- 5.09. Análisis del agrupamiento de los tipos y los años de la serie temporal utilizando los componentes principales X1 y X2. Área de estudio A1.
- 5.10. Mapas escenario 1, unidades de paisaje simuladas de 2030a y 2050a, tipos completos (17). Área de estudio A1.
- 5.11. Fragmentación de tipos de paisaje: gráfico de variabilidad de densidad de bordes (ED), ratio m/ha, 2015-2030a/50a. Escenario 1, área de estudio A1.
- 5.12. Mapas escenario 2, unidades de paisaje simuladas de 2030b y 2050b, tipos completos (17). Área de estudio A1.
- 5.13. Fragmentación de tipos de paisaje: gráfico de variabilidad de densidad de bordes (ED), ratio m/ha, 2015-2030b/50b. Escenario 2, área de estudio A1.
- 5.14. Mapas unidades de paisaje simplificadas de 1990 y 2000, diferencia y similitud entre 1990 y simulación 2000. Unidades de paisaje simuladas en 2000, tipos simplificados (8). Área de estudio A2.

- 5.15. Mapas unidades de paisaje completas de 2000 y 2012, diferencia y similitud entre 2000 y simulación 2012. Unidades de paisaje simuladas en 2012, tipos completos (11). Área de estudio A2
- 5.16. Gráfico de variabilidad de los tipos de paisaje (2012, 2030 y 2050). Escenario, área de estudio A2.
- 5.17. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje (1990, 2000, 2012, 2030 y 2050). Escenario, área de estudio A2.
- 5.18. Gráfico de dinámica de cambio de cada tipo de paisaje y su relación de proporciones en la serie temporal y escenarios (1990, 2000, 2012, 2030 y 2050). Área de estudio A2.
- 5.19. Gráfico del modelo de regresión polinómico (*loess*) de cambio de cada tipo de paisaje (2012 a 2050). Escenario, área de estudio A2.
- 5.20. Componentes principales del cambio en los tipos de paisaje en la serie temporal y el escenario (1990 a 2050). Área de estudio A2.
- 5.21. Análisis del agrupamiento de los tipos y los años de la serie temporal y el escenario utilizando los componentes principales X1 y X2. Área de estudio A2.
- 5.22. Mapas escenario 1, unidades de paisaje simuladas de 2030a y 2050a, tipos completos (11). Área de estudio A2.
- 5.23. Fragmentación de tipos de paisaje: gráfico de variabilidad de densidad de bordes (ED), ratio m/ha, 2012-2030a/50a. Área de estudio A2.
- 6.01. Mapa de unión de unidades de paisaje y capacidad de uso. Área de estudio A1, 1910-2015.
- 6.02a. Mapa de unión de unidades de paisaje y capacidad de uso. Escenario 1, área de estudio A1, 2030a-50a.
- 6.02b. Mapa de unión de unidades de paisaje y capacidad de uso. Escenario 2, área de estudio A1, 2030b-50b.
- 6.03. Mapa de unión de unidades de paisaje y capacidad de uso. Área de estudio A2, 1990-2012.
- 6.04. Mapa de unión de unidades de paisaje y capacidad de uso. Escenario, área de estudio A2, 2030a-50a.
- 6.05. Mapa de capacidad de retención de agua efectiva (mm). Área de estudio A1.
- 6.06. Mapa de capacidad de retención de agua efectiva. Escenarios 1 y 2, área de estudio A1, 2030-2050.
- 6.07. Mapa de capacidad de retención de agua efectiva. Área de estudio A2, 1990-2012.
- 6.08. Mapa de capacidad de retención de agua efectiva. Escenario, área de estudio A2, 2030-2050.
- 6.09. Gráfico métricas de pérdida acumulada de capacidad de uso del suelo (% pSCU) por clase de capacidad de uso (1910-2050). Área de estudio A1.
- 6.10. Métricas de pérdida acumulada capacidad de retención de agua efectiva del suelo (% pCAA) por clase de capacidad de uso (1910-2050). Área de estudio A1.
- 6.11. Gráfico ratio de capacidad restante de retención de agua efectiva (m^3) y capacidad de uso del suelo (m^2) ($rCAA/rCSU$) por clase de capacidad de uso (1910-2050). Área de estudio A1.

6.12. Gráfico métricas de pérdida acumulada de capacidad de uso del suelo (% pSCU,) por clase de capacidad de uso (1990-2050). Área de estudio A2.

6.13. Métricas de pérdida acumulada capacidad de retención de agua efectiva del suelo (%

pCAA) por clase de capacidad de uso (1990-2050). Área de estudio A2.

6.14. Gráfico ratio de capacidad restante de retención de agua efectiva (m^3) y capacidad de uso del suelo(m^2) (rCAA/rCSU) por clase de capacidad de uso (1990-2050). Área de estudio A2.

Lista de tablas

- 3.01. Parametrización según el modelo digital del terreno.
- 3.02. Estructura y extracto de la tabla de datos del fichero vectorial de unidades de paisaje. Área de estudio A1.
- 3.03. Tipos de paisajes identificados para áreas periurbanas del litoral mediterráneo occidental, área de estudio A1, Castelló de la Plana.
- 3.04. Tipos de paisajes identificados para áreas periurbanas del litoral mediterráneo occidental, área de estudio A2, área metropolitana Valencia.
- 3.05. Parametrización de las variables estáticas.
- 3.06. Ejemplo de coeficientes de correlación espacial entre variables para una transición determinada (WoE), Dinamica EGO.
- 3.07. Parametrización de las características del suelo.
- 4.01. Tipos y patrones de paisajes para áreas periurbanas del litoral mediterráneo. Área de estudio A1, Castelló de la Plana.
- 4.02. Tipos de paisaje por año (%) y ratio cambio por tipo de paisaje. Área de estudio A1.
- 4.03. Métricas de paisaje por tipo: número de manchas (NP), bordes totales (TE) en Km y densidad de bordes (ED) ratio de m/ha. Área de estudio A1.
- 4.04. Tipos y patrones de paisajes para áreas periurbanas del litoral mediterráneo. Área de estudio A2.
- 4.05. Tipos de paisaje por año (%) y ratio cambio por tipo. Área de estudio A2.
- 4.06. Métricas de paisaje por tipo: número de manchas (NP), bordes totales (TE) en Km y densidad de bordes (ED) ratio de m/ha. Área de estudio A2.
- 5.01. Datos de las matrices de transición de tipos de paisaje (*multiple-step*) $M_{t_1-t_2}$ entre los años 1910-40, 1940-56, 1956-77, 1977-97 y 1997-2015. Área de estudio A1.
- 5.02. Extracto de rangos y coeficientes de las variables estáticas “peligro de inundación” y “planeamiento urbanístico” para la transición de tipo de paisaje agrícola (A22) a urbano (U12). El propio procedimiento WoE obtiene los coeficientes y evalúa su significancia. Área de estudio A1.
- 5.03a. Extracto de rangos y coeficientes de las variables dinámicas “distancia de tipo de paisaje agrícola (A22) a urbano (U12)”. Área de estudio A1.
- 5.03b. Extracto de rangos y coeficientes de las variables dinámicas “distancia de tipo de paisaje agrícola (A22) a urbano (U12)”. El propio procedimiento WoE obtiene los rangos de distancia, los coeficientes y evalúa su significancia. Área de estudio A1.
- 5.04. Datos de las matrices de transición y calibración de tipos de paisaje (*multiple-step*) $M_{t_0-t_1}$ entre los años 1977-97, tipos simplificados. Área de estudio A1.

- 5.05. Datos de la evaluación de la calibración modelo transición $M_{t_0-t_1}$ entre los años 1977-97, tipos completos. Variación de la isometría. En negrita valores significativos a comparar. Área de estudio A1.
- 5.06. Datos de entrada de la calibración final: matriz de transición ($M_{1997-2015}$) y calibración de tipos de paisaje (*multiple-step*) $M_{t_1-t_2}$ entre los años 1997-2015. Área de estudio A1.
- 5.07. Datos de la evaluación de la calibración modelo transición $M_{t_1-t_2}$ entre los años 1997-2015, tipos completos. Variación de la isometría. En negrita valores significativos a comparar. Área de estudio A1.
- 5.08. Tipos de paisaje (%) y ratio cambio por tipo de paisaje. Escenarios, área de estudio A1.
- 5.09. Métricas de paisaje por tipo: número de manchas (NP), bordes totales (TE) en Km y densidad de bordes (ED) ratio de m/ha. Escenario 1, área de estudio A1.
- 5.10. Métricas de paisaje por tipo: número de manchas (NP), bordes totales (TE) en Km y densidad de bordes (ED) ratio de m/ha. Escenario 2, área de estudio A1.
- 5.11. Datos de las matrices de transición de tipos de paisaje (*multiple-step*) $M_{t_1-t_2}$ entre los años 1990-2000 y 2000-12. Área de estudio A2.
- 5.12. Extracto de rangos y coeficientes de las variables estáticas “peligro de inundación” y “planeamiento urbanístico” para la transición de tipo de paisaje agrícola (A22) a urbano (U10). El propio procedimiento WoE obtiene los coeficientes y evalúa su significancia. Área de estudio A2.
- 5.13a. Extracto de rangos y coeficientes de la variable dinámica “distancia de tipo de paisaje agrícola (A22) a urbano (U10)”. Área de estudio A2.
- 5.13b. Extracto de rangos y coeficientes de la variable dinámica “distancia de tipo de paisaje agrícola (A22) a urbano (U10)”. El propio procedimiento WoE obtiene los rangos de distancia, los coeficientes y evalúa su significancia. Área de estudio A2.
- 5.14. Datos de las matrices de transición y calibración de tipos de paisaje (*multiple-step*) $M_{t_0-t_1}$ entre los años 1990-2000, tipos simplificados. Área de estudio A2.
- 5.15. Datos de entrada de la calibración final: matriz de transición ($M_{2000-2012}$) y calibración de tipos de paisaje (*multiple-step*) $M_{t_1-t_2}$ entre los años 2000-2012. Área de estudio A2.
- 5.16. Datos de la evaluación de la calibración modelo transición $M_{t_1-t_2}$ entre los años 2000-2012, tipos completos. Variación de la isometría. En negrita valores significativos a comparar. Área de estudio A2.
- 5.17. Tipos de paisaje (%) y ratio cambio por tipo de paisaje. Escenario, área de estudio A2.
- 5.18. Métricas de paisaje por tipo: número de manchas (NP), bordes totales (TE) en Km y densidad de bordes (ED) ratio de m/ha. Escenario 1, área de estudio A2.
- 6.01. Ratio de superficie de capacidad de uso del suelo por tipo de paisaje y año: muy elevada (A), elevada (B), moderada (C), baja (D) y muy baja (E). Ratio principal en negrita. Área de estudio 1.

- 6.02a. Ratio de superficie de capacidad de uso del suelo por tipo de paisaje y año: muy elevada (A), elevada (B), moderada (C), baja (D) y muy baja (E). Escenario 1, área de estudio A1.
- 6.02b. Ratio de superficie de capacidad de uso del suelo por tipo de paisaje y año: muy elevada (A), elevada (B), moderada (C), baja (D) y muy baja (E). Escenario 2, área de estudio A1.
- 6.03. Ratio de superficie de capacidad de uso del suelo por tipo de paisaje y año: muy elevada (A), elevada (B), moderada (C), baja (D) y muy baja (E). Ratio principal en negrita. Área de estudio A2.
- 6.04. Ratio de superficie de capacidad de uso del suelo por tipo de paisaje y año: muy elevada (A), elevada (B), moderada (C), baja (D) y muy baja (E). Escenario, área de estudio A2.
- 6.05. Asociación de suelos (WRB), potencia media del perfil (cm), capacidad de retención de agua (%) y la retención de humedad ponderada (mm). Área de estudio A1.
- 6.06. Ratio de superficie de suelo sellado y no sellado según los tipos de paisaje. Área de estudio A1.
- 6.07. Capacidad de retención de agua efectiva del suelo (m^3) por tipo de paisaje y año y ratio de cambio (1910-2015). Área de estudio A1.
- 6.08. Capacidad de retención de agua efectiva del suelo (m^3) por tipo de paisaje y año y ratio de cambio (2015-2050). Escenarios 1 y 2, área de estudio A1.
- 6.09. Asociación de suelos (WRB), potencia media del perfil (cm), capacidad de retención de agua (%) y la retención de humedad ponderada (mm). Área de estudio A1.
- 6.10. Ratio de superficie de suelo sellado y no sellado según los tipos de paisaje. Área de estudio A2.
- 6.11. Capacidad de retención de agua efectiva del suelo (m^3) por tipo de paisaje y año y ratio de cambio (1990-2050). Área de estudio A2.
- 6.12. Superficie capacidad de uso (SCU, m^2) y capacidad acumulación de agua (CAA, m^3) en el momento inicial, así como su relación (CAA/SCU), respecto a las clases de capacidad de uso. Área de estudio A1.
- 6.13. Métricas de pérdida acumulada de capacidad de uso del suelo (% pSCU) por clase de capacidad de uso (1910-2050). Área de estudio A1.
- 6.14. Métricas de pérdida acumulada capacidad de retención de agua efectiva del suelo (% pCAA) por clase de capacidad de uso (1910-2050). Área de estudio A1.
- 6.15. Ratio de capacidad restante de retención de agua efectiva (m^3) y capacidad de uso del suelo (m^2) (rCAA/rCSU) por clase de capacidad de uso (1910-2050). Área de estudio A1.
- 6.16. Superficie capacidad de uso (SCU, m^2) y capacidad acumulación de agua (CAA, m^3) en el momento inicial, así como su relación (CAA/SCU), respecto a las clases de capacidad de uso. Área de estudio A2.
- 6.17. Métricas de pérdida acumulada de capacidad de uso del suelo (% pSCU) por clase de capacidad de uso (1990-2050). Área de estudio A2.

6.18. Métricas de pérdida acumulada capacidad de retención de agua efectiva del suelo (% pCAA) por clase de capacidad de uso (1990-2050). Área de estudio A2.

6.19. Ratio de capacidad restante de retención de agua efectiva (m^3) y capacidad de uso del suelo(m^2) (rCAA/rCSU) por clase de capacidad de uso (1990-2050). Área de estudio A2.

Lista de acrónimos

AJP: Archivo José Prades, Castelló de la Plana	MAS: Sistemas de agentes múltiples (<i>Multi-Agent System</i>)
AI : Inteligencia artificial (<i>Artificial Intelligence</i>)	MDT: Modelo digital del terreno
CA: Autómata celular (<i>Cellular Automata</i>)	ML: Aprendizaje automático (<i>Machine Learning</i>)
CLC: Coberturas del suelo Corine (<i>Corine Land Cover</i>)	MSCD: Comisión Mediterránea sobre desarrollo sostenible (<i>Mediterranean Commission on Sustainable Development</i>)
ELC: Convenio Europeo del Paisaje (<i>European Landscape Convention</i>)	NN: Redes neuronales (<i>Neural Network</i>)
ES: Servicios ecosistémicos (<i>Ecosystem Services</i>)	pCAA: Pérdida de capacidad almacenamiento de agua efectiva
ESTEPA: Estudios del Territorio, Paisaje y Patrimonio, Universitat de València	pCU: Pérdida de capacidad de uso
HRL: Capas de alta resolución (<i>High Resolution Layers</i>)	rCAA: Capacidad restante de almacenamiento de agua
LCA: Valoración del carácter del paisaje (<i>Landscape Character Assessment</i>)	rCU: Capacidad restante de uso
LUCC: Cambio del uso y cobertura del suelo (<i>Land-Use and Land-Cover Change</i>)	SIG: Sistema de información geográfica
LTP: Pirámide taxonómica del paisaje (<i>Landscape Taxonomic Pyramid</i>)	WoE: Ponderación de las pruebas (<i>Weight of Evidence</i>)

Agradecimientos: Ana D. Prades (arquitecto), David Belda (filósofo), Emilio Iranzo (Dr. Geógrafo), Juan Antonio Pascual (Dr. Geógrafo), Centro para el Conocimiento del Paisaje.

“Se vogliamo che tutto rimanga come è, bisogna che tutto cambi”

Il Gattopardo, Giuseppe Tomasi di Lampedusa