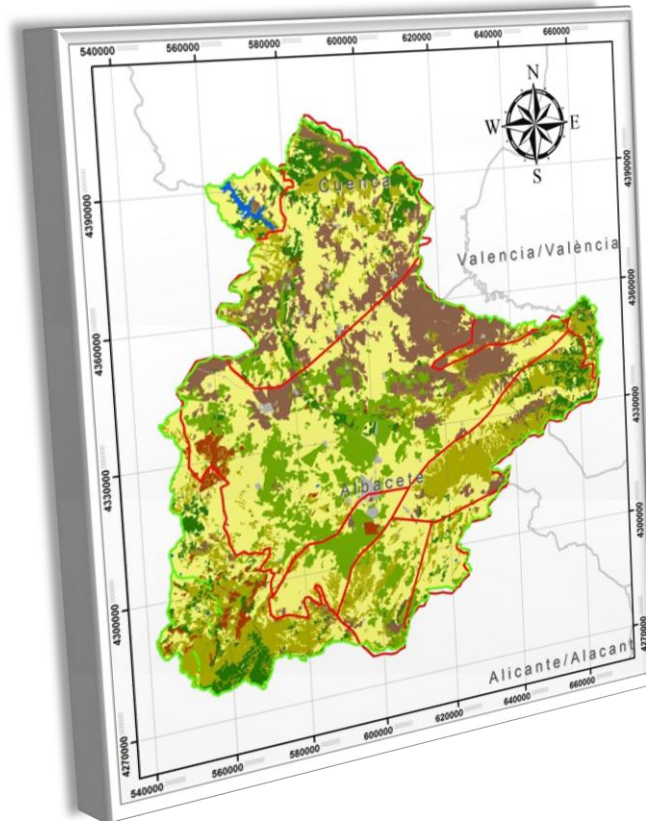




Trabajo de Fin de Máster



ESCENARIOS FUTUROS DE USO DE SUELO PARA EL ANÁLISIS DEL EFECTO DEL CAMBIO GLOBAL EN LOS RECURSOS HÍDRICOS APLICADO AL ACUÍFERO DE LA MANCHA ORIENTAL

Autor: Lenín Esaú Henríquez Dole

Director: Dr. Manuel Pulido Velázquez

Enero 2012

“Si las ciencias están todas entrelazadas... No sería más fácil estudiarlas todas juntas?”

René Descartes

Un sueño es una utopía, alcanzarlo es una realidad fruto del esfuerzo y de la oportunidad

Anahí, Manuel, Ninel, José Luis, Blanca, Victor, Sara, Carlos, Paty

Gracias a todos y todas por la oportunidad, el apoyo y sobre todo por creer

Resumen ejecutivo

El estudio del cambio de la cobertura y el uso del suelo es un proceso muy complejo, catalogado recientemente como una nueva ciencia. El impacto que este cambio tiene sobre los recursos hídricos ya ha sido puesto en evidencia por diversos autores. El Sistema de la Mancha Oriental (SMO) es un sistema de 7260 Km², con una cuenca superficial de 8945 Km². Su análisis muestra que el SMO es una región mayoritariamente agrícola y rural. Las tierras de labor en secano dominan la mayoría del paisaje con poco más de un tercio de la superficie, seguido de las los matorrales y/o vegetación herbácea, los mosaicos de cultivos y por terrenos regados permanentemente. Sólo el 8% de la superficie está cubierta por bosques. Los recientes procesos denotan un decrecimiento en las tierras de labor en secano a favor de los terrenos regados permanentemente y los mosaicos de cultivos, un decrecimiento de los bosques y un aumento de la superficie urbana y de los espacios abiertos con poca o ninguna vegetación.

Dos modelos de predicción, basados en la selección de fuerzas motrices y matrices de transición, se han Evaluado. El primer modelo se basó en las imágenes de cobertura o uso del suelo de 1990 y 2000 para predecir la imagen del 2006. Este modelo validó el proceso de modelación al 99% de confianza. El segundo modelo se basó en las imágenes de cobertura o uso del suelo de 2000 y 2006 para proyectar escenarios futuros del SMO al 2010, 2020 y 2030 escogidos y adaptados del proyecto Eururalis. El decrecimiento de los bosques, de los matorrales y de los sistemas agroforestales se ve compensado por el aumento de los espacios abiertos con poca vegetación, las pequeñas parcelas de cultivos y las tierras de labor en secano en todos los escenarios.

Los escenarios B1 (Cooperación Global) y las Cadenas de Markov (tendencia) fueron evaluados para medir sus impactos a futuro. El escenario B1 se considera el más probable entre los evaluados en el modelo 2. El incremento de las superficies críticas no implica riesgos a futuro para los recursos hídricos ni para los niveles de nitratos en el acuífero. La ubicación de los mayores cambios probables se sitúa en el Dominio Central o El Salobral.

Abstract

The study of land-use and land-cover is a complex process, classified as a new science recently. The impact these changes have on water resources have been highlighted by several authors. The Mancha Oriental System (MOS) has 7260 km², with a drainage basin area of 8945 km² on its surface. The analysis of land-cover/land-use in MOS shows that is a rural and agricultural region. The non-irrigated arable land dominate most of the landscape with little more than a third of the area, followed by shrubs and/or herbaceous vegetation, complex cultivation patterns and permanently irrigated lands. Only 8% of the surface is covered by forests. Recent processes denote a decrease in the non-irrigated arable land in favor of permanently irrigated land and complex cultivation patterns, a decrease of forests and an increase in the urban area and open spaces with little or no vegetation.

Two prediction models, based on selected drivers and probability transition matrices have been evaluated. The first model was based on CORINE Land-Cover (CLC) images in 1990 and 2000 to predict land-cover in 2006. This model validated the modeling process at 99% confidence. The second model is based on CLC images in 2000 and 2006 to project MOS's future scenarios at 2010, 2020 and 2030, selected and adapted from Eururalis project. The decline of forests, shrubs and agroforestry systems is offset by the increase in open areas with little vegetation, complex cultivation patterns and non-irrigated arable land in all scenarios.

B1 scenarios (Global Cooperation) and Markov Chains (trend) were evaluated to measure its impacts in the future. The B1 scenario is considered the most likely among those evaluated in model 2. Increase of critical surfaces does not involve future risks to water resources or for nitrate levels in the aquifer. The location of the major changes most likely lies in the central domain or the Salobral.

Índice

Capítulo I

1.1	INTRODUCCIÓN	3
1.2	ANTECEDENTES	3
1.3	MOTIVACIÓN	4
1.4	OBJETIVOS	4
1.4.1	OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.5	PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	5
1.6	ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	7

Capítulo II

2.1	UNA NUEVA CIENCIA: ESTUDIO DEL CAMBIO DE LA COBERTURA Y EL USO DEL SUELO	11
2.1.1	IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL CAMBIO DE LA CUBIERTA Y EL USO DEL SUELO	11
2.1.2	DEFINICIONES: COBERTURA DEL SUELO Y USO DEL SUELO	13
2.1.3	ENFOQUES	15
2.2	CAMBIOS HISTÓRICOS EN LA COBERTURA Y USO DEL SUELO	18
2.2.1	CAMBIOS EN LA COBERTURA DE SUELO -AGRÍCOLA- EN LOS ÚLTIMOS 300 AÑOS.....	21
2.3	CAUSAS Y TRAYECTORIAS DEL CAMBIO EN COBERTURA Y USO DEL SUELO	23
2.3.1	CAUSAS PRÓXIMAS Y SUBYACENTES	24
2.3.2	CAMBIOS LENTOS, RÁPIDOS Y EL ROL DE LOS FACTORES MEDIADORES	26
2.3.3	FACTORES QUE AFECTAN EL CAMBIO EN LA COBERTURA Y EL USO DEL SUELO	27
2.3.4	INTERACCIÓN ENTRE FACTORES.....	29
2.3.5	SÍNDROMES, RUTAS Y TRANSICIONES	31
2.4	HISTORIA RECIENTE DEL USO DEL SUELO EN ESPAÑA	33
2.4.1	LEGISLACIÓN EN ESPAÑA	36
2.4.2	ALGUNOS ESTUDIOS REALIZADOS	39
2.5	EL SISTEMA TERRITORIAL Y EL MODELO TERRITORIAL	42
2.6	ENFOQUES DE MODELIZACIÓN	44
2.7	PROYECTOS EUROPEOS DE GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE USOS DE SUELO	49
2.7.1	ESTUDIOS RECIENTES DE ESCENARIOS	49
2.8	MODELOS DE CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL SUELO	52
2.8.1	OPCIONES DE LOS MODELOS	52
2.8.2	LAND CHANGE MODELER	53
2.8.3	CA_MARKOV	54
2.8.4	CLUE (CONVERSION OF LAND USE AND ITS EFFECTS)	55
2.8.5	METRONAMICA	56
2.9	DATOS GENERALES NECESARIOS PARA LA MODELACIÓN	59
2.10	ANÁLISIS DE LOS PATRONES DE USO DEL SUELO CON EL MÉTODO LEAC	60
2.11	DATOS DE OCUPACIÓN DEL SUELO	61
2.11.1	TIPO DE COBERTURA MODIS	62
2.11.2	GLOBCOVER Y GLOBCORINE.....	62

Capítulo III

3.1	METODOLOGÍA	67
3.1.1	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	67
3.1.2	METODOLOGÍA DETALLADA	69
3.1.3	SUPUESTOS Y LIMITACIONES	71

Capítulo IV

CASO DE APLICACIÓN: ACUÍFERO DE LA MANCHA ORIENTAL

4.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE LA MANCHA ORIENTAL	75
4.1.1	FUENTES DE INFORMACIÓN (DATOS DISPONIBLES).....	80
4.2	CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA Y USO DEL SUELO	82
4.2.1	DESCRIPCIÓN DE LA NOMENCLATURA.....	84
4.2.2	VERIFICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN	86
4.3	CUANTIFICACIÓN DEL CAMBIO EN LA COBERTURA Y USO DEL SUELO EN LA CUENCA SUPERFICIAL DEL ACUÍFERO DE LA MANCHA ORIENTAL	88
4.3.1	ANÁLISIS HISTÓRICO	89
4.3.2	TRANSICIONES (CONVERSIONES).....	96
4.3.3	CARACTERIZACIÓN DE LOS CAMBIOS (MÉTODO LEAC): FLUJOS DE COBERTURA/USO DEL SUELO	100
4.4	CAUSAS DEL CAMBIO (ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE FUERZAS MOTRICES)	103
4.4.1	FACTORES BIOFÍSICOS	103
4.4.2	FACTORES SOCIALES.....	105
4.4.3	FACTORES ECONÓMICOS	109
4.4.4	LA EVOLUCIÓN DE LOS REGADÍOS	112
4.4.5	IMPACTOS EN EL SISTEMA DE LA MANCHA ORIENTAL	118
4.4.6	FUERZAS MOTRICES SELECCIONADAS	120
4.5	ANÁLISIS PARA LA ASIGNACIÓN ESPACIAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA/USO DEL SUELO EN EL SMO	121
4.5.1	SELECCIÓN DE ESCENARIOS FUTUROS	121
4.5.2	RE-CLASIFICACIÓN DE LAS IMÁGENES CLC	122
4.5.3	MODELACIÓN DE TRANSICIONES	124
4.5.4	REDES NEURONALES (SUB-MODELOS)	129
4.6	ANÁLISIS PARA LA ASIGNACIÓN TEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA/USO DEL SUELO EN EL SMO	135
4.6.1	SELECCIÓN DE ESCENARIOS FUTUROS	135
4.6.2	PROYECCIONES DE EURURALIS EN EL SISTEMA DE LA MANCHA ORIENTAL	143
4.6.3	CADENAS DE MARKOV Y MATRICES DE TRANSICIÓN EN EL SMO	148
4.7	MODELACIÓN Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS	155
4.7.1	MODELOS.....	155
4.7.2	EVALUACIÓN DE RESULTADOS	165
4.7.3	ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	171

Capítulo V

5.1	RESULTADOS	177
5.2	CONCLUSIONES	180
5.3	LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	182

REFERENCIAS

ANEXOS

Índice de Siglas

AEMET	Agencia Estatal de Meteorología	IGBP	International Biosphere-Geosphere Programme
ANN	Artificial Neuronal Network	IGME	Instituto Geológico Minero de España
ATEAM	Advance Terrestrial Ecosystem Analysis and Modeling	IHDP	International Human Dimension Programme on Global Environmental Change
BOE	Boletín Oficial de España	IMAGE	Integrated Model to Assess the Global Environment
CA	Cellular Automata (Autómatas Celulares)	INE	Instituto Nacional de Estadística
CAPRI	Common Agricultural Policy Regionalised Impact	IPCC-SRES	Intergovernmental Panel on Climate Change-Special Report on Emissions Scenarios (Panel Intergubernamental de Cambio Climático – Reporte especial en escenarios de emisiones)
CCUS	Cambio en la Cobertura y el Uso del Suelo	ITAP	Instituto Técnico Agronómico Provincial
CE	Comunidad Europea	JCRMO	Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas	JRC	Joint Research Centre
CHJ	Cuenca Hidrográfica del Júcar	LCCS	Land Cover Classification System
CLC	Corine Land Cover	LCF	Land Change Flux
CLUE	Conversion of Land use and its Effects	LCM	Land Change Modeler
CORINE	Coordination of Information on the Environment	LARU	Land analytical and reporting units
DGOH	Dirección General de Obras Hidráulicas	LEAC	Land and Ecosystem Accounts Contabilidad de Cobertura/Uso del suelo y Ecosistemas
DOCM	Diario Oficial Castilla La Mancha	LEITAP	Agricultural Economics Research Institute (LEI), Trade Analysis Project
DPSIR	Driver, Pressuere, State, Impact and Resoponse	LFA	Less Favoured Areas
EC	Errores por Comisión	LUCC	Land Use and Land Cover Change (Cambio de Uso y Cobertura del Suelo)
EC-FP6	European Commission, Sixth Framework Programme	MDE	Modelos Digitales de Elevación
EEA / AEMA	European Environment Agency / Agencia Europea de Medio Ambiente	MLP	Multi-Layer Perceptron
EFISCEN	European Forest Information Scenario	MNP	Milieu- en Natuurplanbureau (Agencia de Medio Ambiente Holandesa)
EMC	Evaluación Multi-Criterio	MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
ENVISAT-MERIS	Environmental Satellite - Medium-spectral resolution, imaging spectrometer	MoLAND-JRC	Monitoring Land Use/Cover Dynamics-Joint Research Centre
EO	Errores por Omisión	NEMESIS	New Econometric Model of Evaluation by Sectoral Interdependency and Supply
EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de EEUU)	NUTS	Nomenclature of Units for Territorial Statistics
ERMOT	Evolución de los Regadíos en el acuífero Mancha Oriental mediante Teledetección	OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ESA	European Spacial Agency	OLAP	On-line Analytical Processing
ESIM	European Simulation Model	OSE	Observatorio de Sostenibilidad de España
ETC-LUSI	European Topic Centre on Land Use and Spatial Information	PAC	Política Agraria Común
ETE	Estrategia Territorial Europea	PIB	Producto Interno Bruto
FAO	United Nations Food and Agriculture Organization	PLUREL	Peri-urban Land Use Relationships - Strategies and Sustainability Assessment Tools for Urban-Rural Linkages
FoPIA	Marco para la Evaluación Participativa del Impacto	PNUMA	Programa de Naciones Unidas y Medio Ambiente
GOFC-GOLD	Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics	PRELUDE	Prospective Environmental analysis of Land Use Development in Europe
GTAP	Global Trade Analysis Project		
IAM	Integrated Assesement Model		

RMS	Error Cuadrático Medio	SIMPA	Sistema Integrado de Precipitación Aportación
SAGE	Centro para la Sostenibilidad y el Medio Ambiente Global	SMO	Sistema de la Mancha Oriental
SARA	Servicio de Asesoramiento de Riegos de Albacete	TRP	Terrenos Regados Permanentemente
SCENAR	Scenario study on agriculture and the rural world	UH	Unidades Hidrogeológicas

Índice de Figuras

	Página
Figura 2.1 Marco para entender el Cambio de Cubierta y Uso del Suelo (Turner et al., 1995)	17
Figura 2.2 Escalas espaciales y temporales en las que se enfocan diversos proyectos o campos de estudio del cambio de la cobertura y uso del suelo. Fuente: Lambin y Gueist, 2006	20
Figura 2.3 Mapas de la Superficie Cultivable y Pastizales en 1700 y en 1990. (Proyecto BIOME 300)	21
Figura 2.4 Relaciones entre las actividades humanas y la cobertura y uso del suelo (Ojima et al., 1994)	25
Figura 2.5 Transiciones potenciales entre dos usos de suelo/coberturas (pastos/cultivos, bosque/pastos) (Fuente: Lambin y Geist, 2006)	33
Figura 2.6 Componentes del sistema territorial. (Fuente: Gómez Orea, D. 2008)	43
Figura 2.7 Modelo generalizado del modelo de uso de la tierra cambia espacialmente explícitos (Fuente: Verburg et al., 2006)	45
Figura 2.8 Escenarios EURURALIS (Fuente: Klijn et al., 2005)	51
Figura 3.1 Diagrama de flujo de la metodología aplicada	72
Figura 4.1 Plano de localización del acuífero de La Mancha Oriental. Fuente: Informe I-Proyecto HYDROECOCLIMATE, 2011	75
Figura 4.2 Mapa y corte geológico simplificado del SMO. Fuente: Sanz et al., 2010	76
Figura 4.3 Ubicación de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio. Fuente: Informe I-Proyecto HYDROECOCLIMATE, 2011	77
Figura 4.4 Red hidrográfica superficial sobre el acuífero de la Mancha Oriental y estaciones de aforo. Fuente: Informe I-Proyecto HYDROECOCLIMATE, 2011	79
Figura 4.5 Mapa de España del Proyecto Corine Land Cover (CLC) correspondiente al año 1990	84
Figura 4.6: Comparación de la distribución espacial entre el proyecto ERMOT y el proyecto CLC para 1990	87
Figura 4.7: Cuenca Superficial de la Mancha Oriental y la Cuenca del Acuífero (ubicación y delimitación)	88
Figura 4.8: Imagen más reciente (CLC, 2006) de las categorías de coberturas y usos de suelo de la cuenca superficial del acuífero de la Mancha Oriental.	89
Figura 4.9. Localización de los cambios de todos los tipos de coberturas/usos del suelo a suelo urbano. Los círculos representan aglomeraciones urbanas. Izquierda período 1990-2000. Derecha período 2000-2006.	93
Figura 4.10: Localización de la pérdida de bosques (conversión del bosque a cualquier otro tipo de cobertura/uso del suelo). Izquierda período 1990-2000. Derecha período 2000-2006.	94
Figura 4.11 Localización del aumento de matorrales y/o vegetación herbácea asociada y espacios abiertos con poca o ninguna vegetación. Izquierda período 1990-2000. Derecha período 2000-2006.	95
Figura 4.12: Localización del cambio de tierras de labor en secano a terrenos regados permanentemente. Izquierda período 1990-2000. Derecha período 2000-2006.	96
Figura 4.13: Mapa de la persistencia entre 1990-2000 (izquierda) y 2000-2006 (derecha). Las zonas en negro dentro de la cuenca muestran las áreas en donde se han producido transiciones.	98
Figura 4.14: Localización de las principales conversiones de tierras de labor en secano a mosaico de cultivos entre 1990-2000 (izquierda) y 2000-2006 (derecha)	99
Figura 4.15: Localización de las principales conversiones de tierras de labor en secano a viñedos entre 1990-2000 (izquierda) y 2000-2006 (derecha)	99
Figura 4.16: Proceso de determinación de los flujos de cobertura/uso del suelo	100
Figura 4.17 Distribución de las estaciones meteorológicas (precipitación y temperatura) que han servido de base para delimitar los polígonos de Thiessen. Fuente: Sistema de Información del Agua (SIA), 2011	104
Figura 4.18: Ubicación del SMO dentro de los límites políticos de provincias (izq) y municipios (der). Fuente: Sistema de Información del Agua (SIA), 2011.	105
Figura 4.19: Densidades poblacionales de los Municipios del SMO en 2003. Fuente: INE, 2011.	107
Figura 4.20: Municipios con poblaciones menores a 2.000 habitantes (izquierda en verde) y poblaciones mayores a 10.000 habitantes (derecha en rojo). Fuente: INE, 2011.	107
Figura 4.21. Distribución temporal y espacial de los niveles de nitratos en el agua subterránea del SMO. Fuente: Moratalla, et al. (2008)	119

	Página
Figura 4.22. Correspondencia espacial entre imagen Eururalis-izq. (Res. 1 Km) y CLC-der. (Res. 100 m)	123
Figura 4.23. Diagrama de una red neuronal MLP n-m-1	130
Figura 4.24. Fuerzas motrices transformadas: izquierda – distancia a núcleos poblacionales y derecha – acceso a carreteras locales. Distancias en Km transformadas a escala logarítmica.	132
Figura 4.25. Monitoreo del error en el entrenamiento de las redes neuronales. Transición de tierras de labor en seco a terrenos regados permanentemente.	132
Figura 4.26. Mapa de transición potencial entre tierras de labor en seco a terrenos regados	133
Figura 4.27. Entrenamiento de red neuronal y mapa de transición potencial correspondiente a la transición de tierras de labor en seco a suelo urbano	135
Figura 4.28. Proceso de elaboración de los escenarios de Eururalis y principales suposiciones de los cuatro escenarios	138
Figura 4.29. Escenarios A1 de Eururalis del SMO	143
Figura 4.30. Relación de los escenarios Eururalis con los valores en diferentes países europeos.	146
Figura 4.31. Mapas 2006: Predicción de modelo 1 (izquierda) y Mapa de vulnerabilidad (derecha)	156
Figura 4.32. Cobertura/Uso del suelo en el Sistema de la Mancha Oriental. Proyección 2010 (Cadenas de Markov)	161
Figura 4.33. Cobertura/Uso del suelo en el Sistema de la Mancha Oriental. Proyección 2020 (Escenario B1)	162
Figura 4.34. Cobertura/Uso del suelo en el Sistema de la Mancha Oriental. Proyección 2030 (Escenario B1)	163
Figura 4.35. Mapa de Vulnerabilidad al Cambio (Modelo 2)	164
Figura 4.36. Comparación de las áreas que presentan cambios al 2030 en el escenario B1 (izquierda) y el escenario de las Cadenas de Markov (derecha)	169
Figura 4.37. Localización de la tendencia al cambio de las tierras de labor en seco en el escenario B1 (izquierda) y el escenario de las Cadenas de Markov (derecha)	169
Figura 4.38. Localización de la tendencia al cambio de los mosaicos de cultivos en el escenario B1 (izquierda) y el escenario de las Cadenas de Markov (derecha)	170
Figura 4.39. Localización de la tendencia al cambio de los terrenos regados permanentemente en el escenario B1 (izquierda) y el escenario de las Cadenas de Markov (derecha)	170

Índice de Gráficos

	Página
Gráfico 2.1 Evolución Histórica de las Áreas Cultivadas en España (Datos: Proyecto Biome 300)	23
Gráfico 4.1 Temperaturas medias en las estaciones de Albacete y Motilla. Fuente: Informe I-Proyecto HYDROECOCLIMATE, 2011	78
Gráfico 4.2 Precipitaciones medias en las estaciones de Albacete y Motilla. Fuente: Informe I-Proyecto HYDROECOCLIMATE, 2011	78
Gráfico 4.3 Registros de caudales en las estaciones de aforo indicadas – Período 1988 al 2006. Fuente: Informe I-Proyecto HYDROECOCLIMATE, 2011	79
Gráfico 4.4: Comparación de las superficies en regadío del proyecto ERMOT y los terrenos regados permanentemente del proyecto CLC.	86
Gráfico 4.5: Superficies que representan los mayores cambios entre 1990 y 2006 en el Sistema de la Mancha Oriental.	90
Gráfico 4.6: Principales contribuyentes al cambio entre 1990 y 2000 en el Sistema de la Mancha Oriental.	91
Gráfico 4.7: Principales contribuyentes al cambio entre 2000 y 2006 en el Sistema de la Mancha Oriental.	91
Gráfico 4.8: Cambios netos en la cobertura/uso del suelo entre 1990 y 2006 en el SMO.	92
Gráfico 4.9: Evolución de la población en Albacete (provincia y ciudad) y Cuenca (provincia y ciudad). Fuente: INE, 2011.	106
Gráfico 4.10 Proyección de la población total española a futuro. Fuente: INE, 2011.	108
Gráfico 4.11. Distribución del Producto Interno Bruto (PIB) por sectores en las Provincias de Albacete y Cuenca. Fuente: INE, 2011.	109
Gráfico 4.12: Evolución del Producto Interno Bruto (PIB) por sectores en las Provincias de Albacete (izquierda) y Cuenca (derecha). Fuente: INE, 2011.	110
Gráfico 4.13: Evolución del PIB per cápita en las Provincias de Albacete y Cuenca (1997-2008). Fuente: INE, 2011.	110
Gráfico 4.14: Evolución de la contribución de la agricultura y ganadería al PIB en las provincias de Albacete y Cuenca	111
Gráfico 4.15: Evolución de las superficies de regadío en el Acuífero de la Mancha Oriental. Fuente: Proyecto ERMOT, Campaña 2010	114
Gráfico 4.16. Aportes individuales de los diferentes regadíos a la superficie total regada en el SMO Fuente: Proyecto ERMOT, Campaña 2010	114
Gráfico 4.17: Distribución de la lluvia y la evapotranspiración potencial (Thornewaite) en el SMO. Fuente: ITAP, Informe Climático, 2009	114
Gráfico 4.18: Evolución del precio de la energía eléctrica en España y en el SMO. Fuente: Eurostat, 2011; JCRMO, 2010	117
Gráfico 4.19. Evolución de las superficies en regadío, el agua suministrada y nivel piezométrico en el SMO. Fuente: López (2008)	118
Gráfico 4.20. Evolución de los niveles piezométricos en dos estaciones en el SMO. Fuente: López (2008)	118
Gráfico 4.21. Relación entre mapas de coberturas/uso del suelo entre los proyectos CLC y Eururalis.	122
Gráfico 4.22. Relación de porcentaje de cambio representado por las transiciones entre 1990 y 2000, número de transiciones y potencial umbral para la modelación. El punto representa el umbral seleccionado.	125
Gráfico 4.23. Relación de porcentaje de cambio representado por las transiciones entre 1990 y 2000, número de transiciones y potencial umbral para la modelación.	125
Gráfico 4.24. Evolución de las diferentes coberturas/ usos del suelo en el SMO propuestas por Eururalis y la comparación con la tendencia observada por CLC (Año base 2000)	144
Gráfico 4.25. Evolución de las diferentes superficies en el SMO armonizadas con las tendencias observadas.	147
Gráfico 4.26. Coeficiente de correlación entre predicción del modelo 1 y la imagen CLC 2006.	159
Gráfico 4.27. Resultados del modelo 2 para los cinco diferentes escenarios: A1, A2, B1, B2, Markov	165
Gráfico 4.28 Gráficas comparativas de los escenarios B1 y Cadenas de Markov modelados	168

Índice de Tablas

	Página
Tabla 2.1 Factores influyentes diferentes coberturas o ambientes. Fuente: Geist, H., 2005	29
Tabla 4.1 Nomenclatura CLC (nivel 1, 2 y 3) para describir la cobertura de suelo.	83
Tabla 4.2: Estudio del cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca superficial del SMO.	90
Tabla 4.3 Transiciones más importantes de cobertura/uso del suelo en el Sistema de la Mancha Oriental. El área representa la superficie que ha cambiado de una cobertura/uso a otro.	97
Tabla 4.4. Descripción de los principales flujos de cobertura/uso del suelo (nivel 1)	101
Tabla 4.5. Definición y descripción de los principales flujos presentes en la zona del SMO.	101
Tabla 4.6. Fuerzas motrices seleccionadas en el análisis del SMO	120
Tabla 4.7. Correspondencia entre clasificación CLC y clasificación Eururalis.	122
Tabla 4.8. Clasificación final utilizada en el análisis del SMO	123
Tabla 4.9. Transiciones más importantes de cobertura/suelo en el SMO entre 1990-2000	124
Tabla 4.10. Transiciones más importantes de cobertura/suelo en el SMO entre 2000-2006	124
Tabla 4.11. Transiciones a modelar en la cuenca superficial del Sistema de la Mancha Oriental.	126
Tabla 4.12. Ejemplo del resultado del cálculo del estadístico Cramer's V para algunas fuerzas motrices y su influencia en las diferentes coberturas/ usos del suelo	127
Tabla 4.13. Fuerzas motrices que influyen en las diferentes coberturas/ usos del suelo en el SMO	128
Tabla 4.14. Fuerzas motrices seleccionadas por transición	129
Tabla 4.15. Principales características de las redes neuronales de primera generación entrenadas	134
Tabla 4.16. Principales características de las redes neuronales de segunda generación entrenadas	135
Tabla 4.17. Resumen de la inclusión de las diferentes políticas agrícolas europeas	139
Tabla 4.18. Resumen de las características más importantes de los escenarios de Eururalis	140
Tabla 4.19. Resumen las diferentes variantes y la combinación por defecto de los escenarios utilizada en Eururalis y en el análisis del SMO.	142
Tabla 4.20. Contribuciones de un tipo de cobertura/uso del suelo a otro en el período 2000-2010 y escenario A1.	149
Tabla 4.21. Matriz de transición entre 2000-2010 del escenario A1 obtenida a partir de los mapas del proyecto Eururalis.	151
Tabla 4.22. Matrices de transición generadas a partir de los cambios observados en el período 1990-2000 (arriba) y 2000-2006 (abajo)	151
Tabla 4.23. Matrices de transición generadas a partir de 16 períodos (arriba) y 10 períodos (abajo)	152
Tabla 4.24. Matrices de transición para los horizontes 2020 y 2030 en el escenario A1	153
Tabla 4.25. Matrices de transición para los horizontes 2020 y 2030 en el escenario A2	153
Tabla 4.26. Matrices de transición para los horizontes 2020 y 2030 en el escenario B1	154
Tabla 4.27. Matrices de transición para los horizontes 2020 y 2030 en el escenario B2	154
Tabla 4.28. Matriz de confusión entre mapas de predicción del modelo 1 (filas) y proyecto CLC (columnas)	159
Tabla 4.29. Índice Kappa estándar por categoría y en general de la comparación de imágenes	159
Tabla 4.30. Transiciones adicionales necesarias para la modelación completa del escenario A1	166
Tabla 4.31. Cambio de los escenarios B1 y Cadenas de Markov respecto al mapa de predicción al 2010	167

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La generación de escenarios futuros de uso de suelo es una potente herramienta que está cobrando mayor importancia a lo largo de las últimas décadas. Las nuevas tecnologías aunadas a un mayor conocimiento científico han permitido juntar diversas disciplinas para poder explicar los cambios que se producen en el suelo. Cada ciencia ha estudiado el fenómeno a detalle explicando los cambios desde su punto de vista, sin embargo la tendencia mundial es juntar todas estas disciplinas para poder explicar de una manera holística los procesos que se llevan a cabo en la realidad. El desarrollo del potencial de las computadoras, las imágenes satelitales, las nuevas investigaciones y las observaciones prolongadas de las diferentes variables permiten poder realizar los análisis necesarios para determinar las causas y poder predecir modestamente los posibles usos que se podrían dar en el futuro si se cumplen algunas suposiciones. Sin embargo, se necesitan más estudios, más observaciones, más investigación, para poder llevar los actuales modelos a un único modelo aceptado por toda la comunidad científica y aplicable a todas las escalas en las que influye.

1.2 Antecedentes

El Sistema de la Mancha Oriental (SMO) es una zona con escasos recursos hídricos y recientemente ha sido declarada por la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural (2007) como una zona vulnerable a la contaminación por nitratos de origen agrario. Es por esto que se pretende conocer la dinámica río-acuífero, así como la evolución de los niveles de nitratos, dando origen al proyecto: “Modelos Hidroeconómicos para adaptar la Gestión de los Recursos Hídricos al Cambio Climático”, llevado a cabo por el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (IIAMA, UPV), enfocado en la zona del Acuífero de la Mancha Oriental.

En la búsqueda de proponer mejores métodos de prospección, mejores políticas de desarrollo rural y cuantificación y respuesta del acuífero a diversos procesos nace la

idea de verificar los escenarios futuros que se puedan producir en la zona. El proyecto ha tomado los escenarios de cambio climático generados por diversos proyectos europeos, las diferentes políticas europeas y españolas, y diversos estudios agrarios generados por instituciones locales del SMO para formarse una idea de la dinámica actual del acuífero de la Mancha Oriental. La siguiente fase del proyecto, es seleccionar el mejor modelo (agrario, hidrológico, hidrogeológico, económico, social), calibrarlo y comenzar a generar escenarios posibles a futuro. De la selección del mejor modelo hidrológico e hidrogeológico nace la base para el presente estudio, la preocupación que los suelos suelen ser una variable estática, no dinámica a través del tiempo. Se pretende con esta investigación complementar estos modelos con una imagen del suelo que posiblemente existan en el futuro.

1.3 Motivación

La investigación actual pretende complementar los estudios realizados en el Máster en Ingeniería Hidráulica y Medioambiente de la UPV, así como ser una parte complementaria al estudio: Modelos Hidroeconómicos para adaptar la Gestión de los Recursos Hídricos al Cambio Climático. Los escenarios futuros alimentarán un modelo lluvia escurrentía que ayudará a evaluar el impacto del cambio global dentro del SMO a corto, medio y largo plazo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Generar escenarios de uso del suelo con horizonte al 2030, acoplando información multidisciplinar para su aplicación en los estudios del efecto potencial del cambio climático en los recursos hídricos del acuífero de la Mancha Oriental.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar las principales fuerzas motrices (desde un punto de vista multidisciplinar: economía, demografía, ordenación territorial, ciencias ecológicas y políticas) que inducen al cambio del uso del suelo en la zona.
- Cuantificar los principales flujos de cambio de uso de suelo que se han producido en la zona de estudio.
- Seleccionar los escenarios futuros idóneos, basados en los proyectos globales y europeos, así como en juicios de expertos y estudios locales.
- Cuantificar de las demandas hídricas futuras basadas en los diferentes escenarios de mapas de usos de suelo.
- Analizar de forma comparativa la situación actual y futura con el fin de proponer diversas líneas de acción en las cuales enfocar la atención de políticos, científicos, comunidades y tomadores de decisión.

1.5 Planteamiento Metodológico

El Cambio en la Cobertura y los Usos del Suelo (CCUS) es un proceso complejo y dinámico en el cual influyen gran cantidad de variables. La incorporación de todos los factores que influyen en el cambio o simplemente la transformación de un suelo en otro, o de su uso por otro, es una tarea que hasta hace muchos años se consideraba tediosa, casi imposible y de una escala local. El uso de las computadoras y de las imágenes satelitales, junto con el aumento del interés por todos los agentes que influyen en el cambio climático ha permitido desarrollar nuevas metodologías y modelos que permiten analizar los cambios, las transformaciones e incluso proyectar a futuro las tendencias actuales a nivel local y global.

Existen dos tipos de análisis: modelación del cambio para determinar las principales causas que lo han determinado y modelación del cambio para tener una herramienta de proyección de escenarios futuros.

En ambos análisis, como primer paso se deben analizar los factores que han inducido el cambio en el período de estudio. La identificación en la literatura de las posibles

causas que inducen el cambio y la investigación de la medida en que estas variables influyen en él pueden desembocar en el éxito o fracaso de la modelación. El conocimiento de las diversas disciplinas o la conformación de un equipo interdisciplinario que ayude en la determinación y simplificación de las variables es un paso necesario antes de proceder al modelado del cambio.

Debido a que existen muchas variables influyentes, y además interdependientes, es casi imposible modelar los procesos exactamente como pasan en la realidad. Los procesos económicos interactúan con los procesos sociales y ambos lo hacen con los procesos ambientales. Por ejemplo, si una persona cultiva maíz, y las condiciones climáticas cambian (factores climáticos) o el precio del maíz baja (factores económicos) o pretende para sus hijos una mejor educación en la ciudad (factores sociales) o existe una nueva política que restringe el cultivo de maíz (factores políticos), la persona modificará el suelo a su conveniencia.

A continuación se definen las suposiciones sobre las cuales se basará la modelación. Las suposiciones usualmente son una consecuencia de las limitaciones o vacíos que existen en la información disponible para representar una variable cualquiera. En el caso de las proyecciones a futuro, las suposiciones deben estar en concordancia con los diferentes escenarios a nivel global, regional y local hechos hasta el momento y aceptados por la mayoría de la comunidad científica a nivel mundial. Seguidamente se elige el modelo a utilizar. Existen diversos modelos en la literatura, cada uno consecuencia de las perspectivas con las cuales han sido diseñados. El modelador debe elegir el que mejor se adapte a su criterio o a los objetivos que quiere alcanzar, en todos ellos se sigue el mismo principio de complejidad de las variables de entrada o que inducen al cambio y de las variables de salida, sin embargo la mayor diferencia está en las ecuaciones que definen los procesos internos que desarrolla el modelo.

Finalmente, la representación de los resultados de la modelación se puede hacer de manera analítica (ecuaciones, funciones, etc.) o de manera visual (imágenes). La representación depende en gran medida del modelo utilizado, siendo la primera más usual en el análisis de las fuerza de cambio y la segunda en las proyecciones a futuro. La tendencia actual, sin embargo, es utilizar ambas representaciones para indicar los

procesos de cambio y los resultados finales del cambio en la cobertura y el uso del suelo.

El estudio actual ha pretendido analizar los cambios en la cobertura y uso del suelo en la zona del acuífero de la Mancha Oriental. La determinación de los factores influyentes en el cambio ha sido obtenida de la literatura. El modelo escogido se ha basado en la simplicidad del mismo y en la aplicación directa de conocimientos del máster. Los resultados se presentan en manera gráfica y analítica para representar tendencias temporales y espaciales.

1.6 Estructura del Documento

La investigación se presenta de manera sistemática en el documento en 5 capítulos. Se explica en las primeras secciones el conocimiento que existe en la actualidad sobre lo que provoca el cambio en la cobertura y el uso del suelo y luego se describe un caso de estudio en el cual se aplica uno de los diversos modelos existentes en la literatura.

El primer capítulo describe la razón de ser de este documento: los objetivos, la motivación, el alcance, el planteamiento metodológico y la estructura del presente estudio.

El capítulo 2 describe de una manera general porqué la comunidad científica ha dedicado tiempo y recursos al estudio del cambio de la cobertura y uso del suelo, la historia de los cambios que se han producido a través del tiempo y cómo la humanidad ha jugado un papel crucial en ella, los impactos que tiene el cambio y las principales fuerzas motrices que lo inducen. También incluye las diferentes ramas ideológicas que han dado lugar a los diversos modelos que existen en la actualidad, cuáles son los enfoques y los modelos utilizados en la actualidad.

El capítulo 3 describe la metodología utilizada en esta investigación, las suposiciones hechas, las restricciones y limitantes que se tienen al aplicar un modelo de cambio de cobertura y uso de suelo.

El capítulo 4 desarrolla un ejemplo específico del análisis de proyecciones de escenarios futuros en la zona del Sistema de la Mancha Oriental. Describe a detalle la zona de estudio, la información recopilada y sus fuentes, los flujos y sus fuerzas motrices, la preparación de los mapas insumo del modelo, el proceso del modelado, un análisis comparativo del escenario futuro y el actual y los diferentes impactos.

Finalmente el capítulo 5 resume los resultados, esboza las conclusiones del caso de estudio y propone diversas líneas de investigación a futuro.

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE

2.1 Una Nueva Ciencia: Estudio del Cambio de la Cobertura y el Uso del Suelo

2.1.1 Importancia del Estudio del Cambio de la Cubierto y el Uso del Suelo

La preocupación del estudio del Cambio en la Cobertura y el Uso del Suelo (CCUS) surgió hace muchos años cuando los investigadores se observaron que los procesos en la superficie de la tierra influyen en clima. A mediados de la década de 1970 se reconoció que el cambio de la cobertura del suelo modifica el albedo de la superficie terrestre y por tanto el intercambio energético de energía (Sagan et al., 1979). En los años 1980, los ecosistemas terrestres fueron reconocidos como fuentes y sumideros de carbón, revelando el impacto que el cambio en la cobertura y uso del suelo tiene en el clima global a través del ciclo del carbón (Woodwell et al., 1983). Eventualmente, la contribución de la evaporación al ciclo del agua en función de la cubierta terrestre fue destacada, exhibiendo el impacto del cambio de cobertura y uso del suelo en el clima local y regional (Eltahir y Bras, 1996).

A partir de estos estudios una gran gama de impactos que el CCUS tiene fueron identificados:

- Impactos en la diversidad biótica mundial (Sala et al., 2000)
- Degradación del suelo (Trimble y Crosson, 2000)
- Disposición de los sistemas biológicos para mantener las necesidades humanas (Millennium Ecosystem Assesment, 2003)
- Efectos en el funcionamiento global del sistema terráqueo (DeFries et al., 2004)

Entender y predecir los impactos de los procesos superficiales en el clima requiere reconstrucciones históricas y proyecciones hacia el futuro (Ramankutty y Foley, 1999); cuantificar la contribución terrestre a las reservas y flujos de carbono demanda un minucioso mapeo de la tierra y mediciones de las conversiones de la cubierta terrestre a nivel mundial (Houghton et al., 1999); predecir los impactos en la degradación del suelo, la respuesta de

los organismos vivos, y su consecuente vulnerabilidad ha requerido un buen entendimiento de la dinámica de las interacciones humano-ambientales asociadas al cambio de uso del suelo (Kasperson et al., 2005).

Durante las últimas dos décadas numerosos investigadores han mejorado las mediciones del cambio de la cobertura del suelo, han avanzado en el entendimiento de las causas del cambio, y se han realizado modelos de predicción del CCUS (Lambin et al., 2001). El proyecto “Land Use and Land Cover Change” (LUCC) llevado a cabo por el Programa Internacional de la Geosfera-Biosfera (IGBP, siglas en inglés) y el Programa de Dimensiones Humanas Internacionales en Cambio Global (IHDP, siglas en inglés); ha ayudado a propagar la aparición de la “ciencia de cambio del suelo”, ha demostrado el papel del cambio en la cobertura del suelo dentro del sistema terrestre. Una “ciencia integrada del suelo” ha emergido, uniendo las ciencias ambientales, humanas y sistemas de información geográfica (SIG/Teledetección) con el fin de resolver diferentes inquietudes sobre el cambio de la cobertura y uso del suelo y los impactos que estos cambios tienen en la humanidad y el medio ambiente. Esta nueva ciencia ha demostrado el papel fundamental de los cambios en la cobertura y uso del suelo en el sistema terrestre y sus complejidades que trascienden las simplificaciones unidireccionales y permanentes que explican el cambio como asociados a los cambios poblacionales y de consumo (Turner, 2002).

La modelación, especialmente si es hecha en una manera espacialmente explícita, integrada (multidisciplinar) y a multi-escala, es una técnica muy importante en la proyección de escenarios hacia el futuro, para conducir experimentos que nos ayudan a entender los procesos fundamentales del cambio, y para describir estos últimos en términos cuantitativos. Los modelos de CCUS ofrecen la posibilidad de analizar la sensibilidad de los patrones de uso de suelo a cambios en variables selectas. También permiten comprobar la estabilidad asociada a los sistemas sociales y medio ambientales a través de la construcción de escenarios (Veldkamp y Lambin, 2001). Para poder generar proyecciones confiables a futuro o, hacia el pasado, un modelo debe ligar dinámicamente los procesos de cambio de uso de suelo a los procesos biológicos para representar fielmente las respuestas biofísicas a los cambio de uso de suelo y adaptaciones del uso del suelo a los cambio biofísicos.

En nuestros días sólo un número limitado de modelos pueden generar proyecciones reales a largo plazo; sin embargo, la última década ha experimentado desarrollos metodológicos innovadores en la modelación del cambio del uso del suelo a niveles locales y regionales en decenios (Veldkamp y Lambin, 2001; Parker et al., 2003). Mientras unos modelos se enfocan en predecir las tasas (o cantidades) del cambio, otros ponen mayor énfasis en los patrones espaciales. Una diferencia fundamental en los modelos tradicionales entre diferentes disciplinas se refiere al uso de modelos basados en procesos (físicamente basados) versus los modelos estadísticos. Antes del surgimiento de nuevos enfoques en la modelación, el cambio del uso del suelo estaba dominado por la teoría económica (Fischer 2001) o era basada en datos (Veldkamp y Fresco, 1996).

Un número de escenarios futuros de uso del suelo, a escalas global, nacional o local han sido formulados (Klinj et al., 2005; Volkery et al., 2008; Nakicenovic et al., 2000; Schroter et al., 2004)). Recientes experiencias envuelven políticos y usuarios para definir y negociar escenarios relevantes con enfoques participativos. Existe un cambio de enfoques más físicos y basados en datos a enfoques más orientados a decisiones humanas como modelación basada en agentes (Veldkamp y Verburg, 2004).

2.1.2 Definiciones: Cobertura del Suelo y Uso del Suelo

Ha sido reconocido que el cambio en la cobertura y el uso de suelo observado a cualquier escala espacio temporal involucra una sinergia compleja con los cambios observados a otras escalas analíticas (Meyer y Turner, 2002).

La superficie terrestre, o la cobertura de suelo de la Tierra y sus cambios, es central para un gran número de procesos biofísicos que participan en el cambio global (Turner, 2006). La cobertura del suelo ha sido definida por muchos atributos de la superficie de suelo de la Tierra y su inmediata sub-superficie: incluyendo la biota, suelo, topografía, superficie y agua subterránea; y las estructuras antropogénicas. La conversión de la cubierta terrestre constituye el reemplazo de un tipo de cobertura por otro y es medida por una transición de una categoría de cubierta de suelo a otra, como es el caso de la expansión agrícola, la deforestación, o el cambio en la extensión urbana. Cualquiera sea el cambio en la cobertura

de suelo, ello conlleva cambios en la diversidad biótica, productividad primaria actual y potencial, calidad de los suelos, escorrentía y tasas de sedimentación, así como otros atributos de la superficie terrestre (DeFries et al., 2004). La cubierta del suelo y sus cambios son fuentes y sumideros para la mayoría de los materiales y flujos de energía que sostienen la biosfera y la geosfera, incluyendo trazas de las emisiones de gas y el ciclo hidrológico (Meyer et al., 1998; Kabat et al., 2004; Canadell et al., 2006). Los cambios en la cobertura del suelo contemporáneos son generados principalmente por la actividad humana, actividad dirigida a la manipulación de la superficie terrestre para satisfacer alguna necesidad o requerimiento individual o de la sociedad, como la agricultura (Cassman et al., 2005).

El **uso del suelo** ha sido definido como el propósito para el cual los humanos explotan la cobertura terrestre. Incluye la manera en que los atributos biofísicos de la tierra son manipulados, así como la intención detrás de esa manipulación, esto es, el propósito para el cual el suelo es usado. Algunas clases que ejemplifican la intención y el propósito son los bosques, parques, suburbios y granjas. La gestión de las tierras, la manipulación de los atributos biofísicos o los aspectos tecnológicos de un sistema de uso de suelo, se refieren a maneras específicas por la cual los humanos usan la vegetación, el suelo y el agua para los propósitos en cuestión. Ejemplos de esto son el uso de fertilizantes y pesticidas, la irrigación mecanizada en tierras desérticas, o el uso de especies de pastos para el crecimiento del ganado.

En términos metodológicos, los cambios en la cubierta del suelo son visibles por sensores remotos o mediante generación indirecta a través de los datos estadísticos, como por ejemplo los censos agrícolas. Todos estos datos necesitan interpretación y verificación de campo. El uso del suelo, así como la información para la gestión de las tierras es principalmente obtenida por análisis detallados de información de campo, aunque el uso del suelo puede ser inferido por sensores remotos bajo ciertas circunstancias. Aun con todo lo anterior, la cobertura y el uso del suelo están íntimamente ligados, el entendimiento de ambas ha requerido la realización de encuestas, el uso de censos demográficos y agrícolas, e información del mercado, entre otros, hasta el uso de sensores remotos y sistemas de información geográfica (Fox et al., 2003).

La conversión de la cobertura de suelo es definida como el reemplazo total de un tipo de cobertura por otra (por ejemplo expansión agrícola, deforestación, o cambio en extensión urbana). El monitoreo de la conversión de la cobertura del suelo puede ser realizado por simple comparación de mapas de uso de suelo en sucesivos períodos.

Modificaciones de la cobertura del suelo son cambios más sutiles que afectan el carácter del suelo sin cambiar su clasificación global. Recientemente se ha incrementado el reconocimiento de la importancia de estos procesos, como la intensificación de la agricultura que ha permitido incrementar la producción de alimentos en las últimas décadas. El monitoreo y detección de las modificaciones del suelo requieren continua representación del uso y la cobertura del suelo, donde los atributos de la superficie varíen continuamente en espacio y tiempo, a escalas estacionales e inter-anales (DeFries et al., 1995).

2.1.3 Enfoques

La complejidad de las causas, procesos e impactos en el cambio del suelo ha dificultado hasta el momento el desarrollo de una teoría integrada del cambio de cobertura y uso del suelo. Existe una imperiosa necesidad de diferenciar entre uso del suelo y cobertura del mismo para medir las interacciones entre los procesos socio-económicos y los biofísicos, aun más, los procesos de cambio de uso están dominados por múltiples agentes, múltiples usos del suelo, múltiples respuestas a cambios sociales, climáticos y ecológicos, múltiples escalas espaciales y temporales en las causas y respuestas al cambio, múltiples conexiones en los espacios geográficos y sociales, y múltiples vínculos entre la gente y la tierra. Las causas y las consecuencias del cambio de la cobertura y uso del suelo dependen del contexto social, geográfico e histórico. El desarrollo de una teoría que explique el cambio ha sido (y aun lo es) una tarea difícil (Lambin y Geist, 2006).

Hasta el momento no existe una teoría unificada que explique el cambio, sin embargo progresos significativos se han hecho para alcanzar el entendimiento, desde las diferentes perspectivas teóricas, del cambio. La comunidad científica reconoce la necesidad de enfocar el estudio del cambio de cobertura y uso del suelo como un sistema humano-medio ambiente o socio-ecológico.

2.1.3.1 Diagramas de Flujo

Este es quizá el enfoque más utilizado en la investigación del CCUS (Lambin y Geist, 2006). Ha sido reconocido que hay elementos físicos/naturales y sociales dentro del cambio de la cubierta y el uso del suelo. Una de las principales razones para hacer tan popular este enfoque es la necesidad de medir ambos elementos para determinar la magnitud del cambio y por tanto un diagrama de flujo tiende a comenzar con al menos tres (3) cajas: factor natural, factor social y cambio del suelo; conectando las cajas natural y social a la del cambio por medio de flechas, y con líneas de retroalimentación de la caja del cambio de suelo a las cajas natural y social. Indudablemente existen complejidades dentro de ambos factores que complican el diagrama y que determinan el estudio hasta el punto deseado por el investigador. Otra razón es la naturaleza multidisciplinaria de los cambios en el suelo y que requieren grupos de investigación multidisciplinar. Los diagramas de flujo ayudan a fijar términos, definir diferencias, y establecer el tipo de datos necesarios para campañas de campo y análisis. Finalmente este tipo de enfoques proveen de una manera eficaz de comunicación con el público en general, ayudan a resumir los puntos esenciales, mostrar las hipótesis realizadas y sus efectos, y mostrar si el estudio necesita un enfoque de análisis estadístico o de técnicas de modelación.

La figura 2.1 muestra un ejemplo de diagrama de flujo, sin embargo desde un punto de vista teórico o práctico, el diagrama tiende a ser problemático. Por ejemplo, las cajas por sí mismas son suficientemente amplias (“sistemas sociales”, “sistemas ecológicos”, y “sistema de cambio de suelo”) que, por un lado proveen una guía, pero por el otro son bastante vagas. También, se observa que casi todas las conexiones tienen doble sentido indicando que debe existir retroalimentación mostrando la tendencia que estos diagramas muestren que todo está conectado, influenciado y que influencia a todo lo demás.

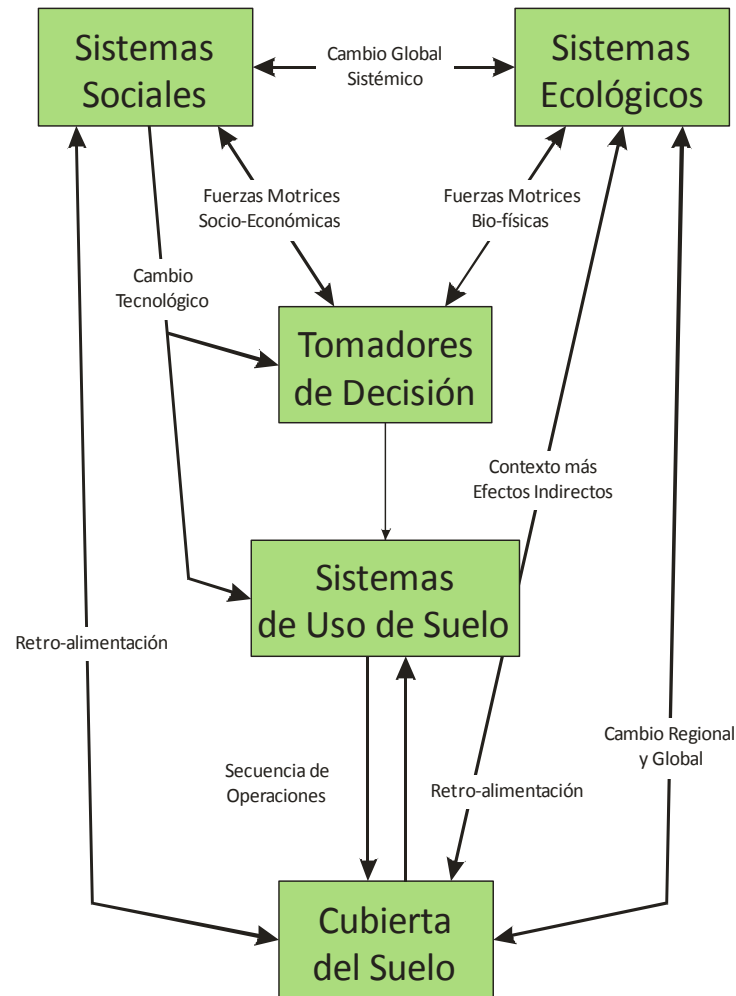


Figura 2.1 Marco para entender el Cambio de Cubierta y Uso del Suelo (Turner et al., 1995)

2.1.3.2 Teoría de la respuesta multi-fase

Originalmente basada en la demografía, la teoría de la respuesta multi-fase argumenta que cuando se experimenta una sostenida tasa alta de incremento natural, los habitantes tienden a usar todos los medios demográficos posibles como matrimonios tardíos, contracepción, aborto, y migración para proteger su relativo estatus en la sociedad y maximizar nuevas oportunidades. En la agricultura, varias conceptualizaciones emplean el cambio registrado en la población como un mecanismo para explicar las estrategias de cultivo y cosecha. Aplicado de una manera más amplia, esta teoría ayuda a explicar cómo las acciones y decisiones en los hogares impactan en los cambios de la cobertura y uso del suelo (Bilsborrow, 1987). Los hogares no sólo responden a la tasa de crecimiento poblacional o de niños nacidos, depende del número de adultos en la casa, nivel educativo y el estatus económico. Las respuestas a los cambios en los hogares pueden incluir actividades de

cambio de usos de suelo, como por ejemplo la intensificación del uso, el cambio de cultivo en una zona o la recolección de biomasa para su posterior uso.

2.1.3.3 Teoría de la complejidad

Esta teoría, que ha sido empleada generalmente en sistemas extensos, mantiene que los sistemas complejos son sistemas que contienen más posibilidades de las que pueden ser actualizados (Cilliers, 1998). El objetivo de la teoría de la complejidad es qué tan simple los procesos fundamentales pueden combinarse para producir sistemas holísticos. Algunos sistemas contienen múltiples variables con aparente complejidad; pero un sistema basado en múltiples variables no, por sí mismo, garantiza complejidad. Los sistemas complejos generalmente muestran procesos y relaciones no lineales, así como enlaces jerárquicos que operan a diferentes escalas espaciales y temporales. Investigaciones utilizando la teoría de la complejidad pueden enfocarse en determinar los patrones y tasas de la dinámica del cambio de cobertura y uso del suelo, así como en posibles retroalimentaciones entre los procesos de cambio y los patrones existentes de la cubierta y el uso del suelo. Las investigaciones de la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos se basan fuertemente en esta teoría.

2.2 Cambios Históricos en la Cobertura y Uso del Suelo

Desde los albores de la civilización el ser humano ha cambiado su entorno con el fin de aumentar, asegurar y mejorar la calidad de los recursos naturales necesarios para la subsistencia como la comida, agua, tejidos, y productos medicinales. Con el aumento de la innovación y la tecnología, la población humana ha incrementado su capacidad de transformar los recursos naturales del medio ambiente y expandir su territorio. Muchos autores ha identificado tres fases (el control del fuego, la domesticación de la biota y el uso de combustibles fósiles) como puntos de inflexión que han incrementado la capacidad del ser humano de apropiarse de su entorno (Turner II y McCandless, 2004).

Fase I: La edad paleolítica fue caracterizada por el uso de las piedras como herramientas y el control del fuego. Esta última capacidad cambió los hábitats de los cazadores de la era, permitiéndoles migrar hacia otros territorios, y fue parcialmente responsable de la extinción de la megafauna en tiempos antiguos.

Fase II: La siguiente fase de la historia humana comenzó con la domesticación de los animales y las plantas, usualmente denominado la Revolución Neolítica, la cual comenzó 10.000 años atrás en diversos sitios del planeta (Mesopotamia, China, Nueva Guinea, Sahara, y tardíamente en Mesoamérica y en los Andes). El advenimiento de la agricultura sedentaria igualó y excedió los cambios en la superficie terrestre hasta el momento producidos por el fuego. Las tierras agrícolas ocupan al día de hoy aproximadamente un tercio de la superficie de la tierra (Goldewijk, 2001).

Fase III: La tercera etapa ha estado marcada por la apropiación de la energía contenida en los combustibles fósiles. Esta era comenzó hace 300 años y ha estado caracterizada por el surgimiento de la globalización, el dominio del capitalismo y la aparición y auge de las tecnologías de la Revolución Industrial. Durante este período la población mundial ha crecido exponencialmente, así como sus demandas en agua, alimentos, energía y vivienda. La extensión y ritmo de las actividades humanas sobre la superficie terrestre se ha acelerado durante los últimos 300 años. Más tierras fueron convertidas para uso humano, y las ya convertidas intensificaron su producción de productos agrícolas y forestales (Richards, 1990; Millenium Ecosystem Assesment, 2005). Un reciente estudio del Servicio de Conservación Mundial (World Conservation Service) estima que la “huella humana” cubre el 83% de la superficie de la tierra (Sanderson et al., 2002).

Se debe destacar que la presencia de humanos no necesariamente es sinónimo de degradación de los recursos, y que los servicios que proveen los ecosistemas se ven disminuidos. Existen acciones que promueven el uso sostenible de los ecosistemas (buenas prácticas) que ayudan a mantener o mejorar los servicios ambientales de un determinado hábitat.

Recientemente, historiadores ambientales y ecologistas históricos han reconstruido el cambio de uso de suelo alrededor del mundo; sin embargo, estos estudios son en primera instancia locales, no comprenden todo el globo terráqueo y no se pueden agregar para obtener una vista sinóptica. Con la popularización de los sensores remotos se hizo posible obtener una vista global y consistente de la cobertura terrestre; sin embargo los datos obtenidos por esta técnica sólo datan de tres décadas atrás.

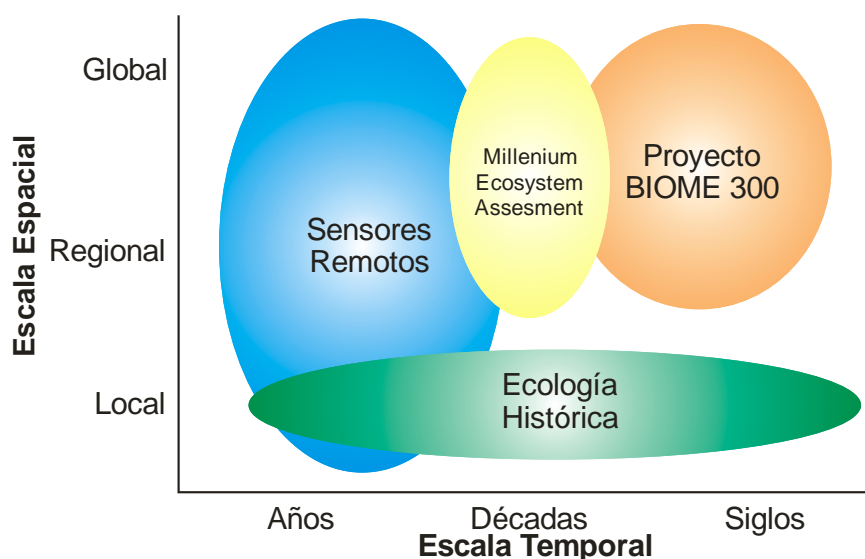


Figura 2.2 Escalas espaciales y temporales en las que se enfocan diversos proyectos o campos de estudio del cambio de la cobertura y uso del suelo. Fuente: Lambin y Gueist, 2006

El proyecto BIOME 300¹ es un producto de varias iniciativas a nivel mundial (Land Use and Land Cover Change –LUCC- y Past Global Changes –PAGES-) que ha pretendido reconstruir la cobertura terrestre durante los últimos 300 años (1700-1990). Aunque se conoce que la historia de la humanidad es mucho mayor que 300 años, este período de estudio captura las más grandes y rápidas transformaciones de la cobertura terrestre global con impactos visibles y medibles en la actualidad. Este estudio ha sido guiado por la Agencia de Medio Ambiente Holandesa (MNP)² y el Centro para la Sostenibilidad y el Medio Ambiente Global (SAGE) de la Universidad de Wisconsin. Los esfuerzos han sido centrados en la compilación de varios inventarios agrícolas, históricos y contemporáneos, para producir mapas georeferenciados (resolución espacial de 0.5 grados) aplicando diversas técnicas de análisis espacial.

¹ <http://www.histecon.magd.cam.ac.uk/envdoc/projects/biome300.htm>

² <http://www.pbl.nl/en>

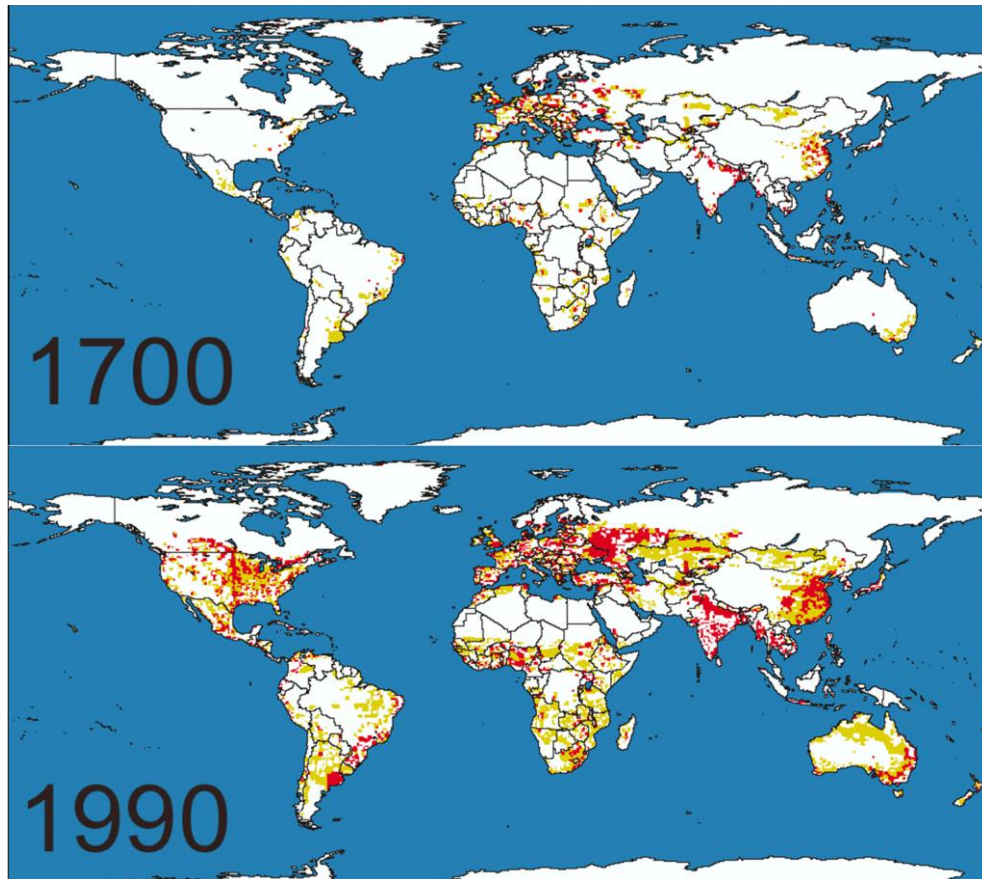


Figura 2.3 Mapas de la Superficie Cultivable y Pastizales en 1700 y en 1990. (Proyecto BIOME 300)

2.2.1 Cambios en la Cobertura de Suelo -Agrícola- en los Últimos 300 Años

Históricamente, la humanidad ha incrementado la producción agrícola principalmente incrementando el área de producción. La agricultura ha sido la mayor fuerza de transformación del suelo en el planeta. Casi un tercio de la superficie terrestre es usada para el cultivo de granos o pastoreo (FAO, 2011). Mucha de esta tierra agrícola ha sido creada a expensas de los bosques naturales, los pastos, y los humedales que proveen de un hábitat invaluable a numerosas especies, incluido el ser humano (Millenium Ecosystem Assesment, 2003).

El ritmo de la transformación del suelo por la agricultura ha sido particularmente rápido en los últimos 300 años. Algunos resultados de estudios sugieren que el área cultivada para granos ha incrementado de ~3-4 millones de Km² en 1700 a ~15-18 millones de Km² en 1990 (Ramankutty y Foley, 1999). La expansión de la agricultura ha cambiado espacialmente a lo

largo del tiempo siguiendo el desarrollo general de los asentamientos humanos y el orden económico mundial (Richards, 1990). Mucha de la superficie cultivada en 1700 (2-3% de la superficie global) estaba concentrada en el viejo mundo, específicamente en Europa, las planicies del Indo-Ganges, Este de China y África. Desde entonces, la tasa de expansión de las áreas cultivadas incrementó con la colonización europea y la globalización de los mercados mundiales. En los últimos 50 años muchas de las regiones del mundo han visto estabilizar las áreas de cultivo, y en algunas partes ha habido hasta decrecimiento. Una nueva tendencia es la pérdida de áreas granjeras convertidas hoy día en suelos urbanos. Debido a que las ciudades fueron fundadas en zonas cercanas a las granjas, la expansión de las ciudades producto del crecimiento poblacional ha provocado la construcción de zonas urbanas en algunos de los mejores suelos agrícolas disponibles a nivel mundial.

Desde 1960 se ha experimentado a nivel mundial un divorcio entre el incremento de alimentos en la producción y la expansión del área dedicada a los cultivos. Los datos mundiales del incremento en 1.97 veces la producción de alimentos desde 1961 a 1996 ha sido asociado sólo al aumento del 10% de área bajo cultivo, pero también con la expansión del regadío en 1.68 veces y al incremento de las tasas de uso de fertilizantes a base de nitrógeno y fósforo en 6.87 y 3.48 veces respectivamente (Tilman, 1999). Globalmente, el área cultivada per cápita disminuyó de 0.75 Ha/persona en 1900 a sólo 0.35 Ha/persona en 1990.

De acuerdo con los datos del proyecto BIOME 300, España ha experimentado un crecimiento en el área cultivada a lo largo de su historia, sin embargo, es a partir de 1960 que la expansión termina y comienza un decrecimiento sostenido hasta el 2000, tal como se aprecia en el gráfico 2.1. Muchos son los factores que influyen en el decrecimiento observado de estas áreas de cultivo, siendo los principales: la intensificación de la agricultura, el abandono de la agricultura como modo de subsistencia y la tecnificación de los procesos agrícolas (Ramankutty et al., 2002).

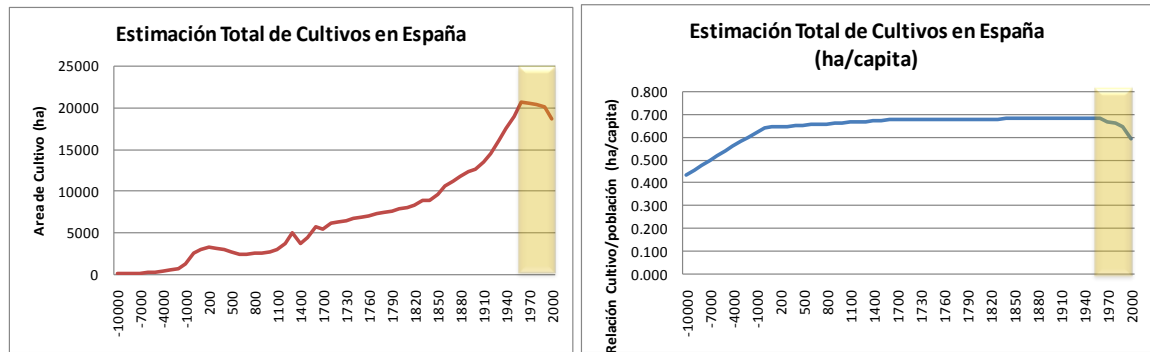


Gráfico 2.1 Evolución Histórica de las Áreas Cultivadas en España
(Datos: Proyecto Biome 300, Elaboración Propia)

Lo que hace único al siglo XX es su marcada tasa de crecimiento, tanto en términos de extensión como de intensidad en el uso del suelo. Es en la última parte del siglo (ver Gráfico 2.1) en donde existe un cambio de la expansión a la intensificación, provocando que la mayor producción de alimentos provenga de la intensificación de las zonas de cultivos. Entre 1961 y el 2002, las áreas de cultivos para granos creció en un 15%, mientras que las áreas irrigadas se duplicaron, el consumo de fertilizantes creció en 4.5 veces, y el número de tractores utilizados en agricultura aumentó 2.4 veces (FAO, 2011).

Agregado al incremento en la intensidad del uso del suelo, las últimas décadas también han sido marcadas por la escala del uso del suelo. Los cambios en el uso del suelo, por lo general pensados como problemas locales, se consideran actualmente un problema global, en conjunto con otros problemas globales como el cambio climático y el agotamiento de la capa de ozono. Por tanto, es muy común la tendencia a pensar que nuestro mayor problema de contaminación en el futuro sea relacionado a la contaminación por nitrógeno en los recursos hídricos debido al exceso de fertilizantes aplicados en la agricultura (Lambin E. y Geist, H., 2006).

2.3 Causas y Trayectorias del Cambio en Cobertura y Uso del Suelo

La extensión y la localización precisa de los cambios, usualmente modificaciones más que conversiones, son poco entendidas. Caben destacar los cambios en el bosque tropical seco; en la cubierta forestal resultado de incendios y plagas; drenajes y otras formas de alteración de los humedales; erosión del suelo y degradación de las zonas del cultivo; en extensión y

capacidad productiva de las tierras para pastizales; y la degradación de zonas secas, también referido como desertificación.

Existen dos pasos fundamentales en cualquier estudio del cambio en el suelo: detectar el cambio en el paisaje, y adjudicar ese cambio a una serie de factores causales. Establecer el cambio en función de una serie de causas de ninguna manera es sencillo, aunque se han hecho avances en las últimas décadas para la adquisición, proceso e interpretación de las observaciones.

Para poder analizar adecuadamente las causas de la dinámica de los cambios en el uso del suelo es importante, primero, saber distinguir entre cubierta y uso de suelo, y segundo, saber distinguir entre causas próximas (directas) y causas subyacentes (indirectas).

2.3.1 Causas próximas y subyacentes

Identificar los factores que causan el cambio requiere del entendimiento de cómo las personas toman decisiones con respecto al uso del suelo y cómo varios factores (incluyendo los biofísicos entre ellos) interactúan en contextos específicos a escalas globales, regionales y locales para influir en la toma de decisiones sobre el uso del suelo. Las relaciones entre las actividades humanas y la cobertura y uso del suelo están representadas en la figura 2.4, identificando también las causas directas e indirectas.

El uso del suelo es la suma de las causas próximas del cambio en la cubierta, esto es la actividad humana o acciones inmediatas que se originan de la manipulación intencionada de la cubierta terrestre. Las causas próximas (o directas) involucran una acción física sobre la cubierta del suelo y están usualmente limitadas a un número recurrente de actividades como la agricultura, silvicultura (o extracción de madera), y construcción de infraestructuras. Las causas próximas generalmente operan a nivel local, por ejemplo en una granja, barrios o comunidades (Mather, 2006). Estas causas son consideradas como los “fuerzas motrices directas” del cambio en el ecosistema, junto con otros factores como la introducción o remoción de especies en un hábitat específico.

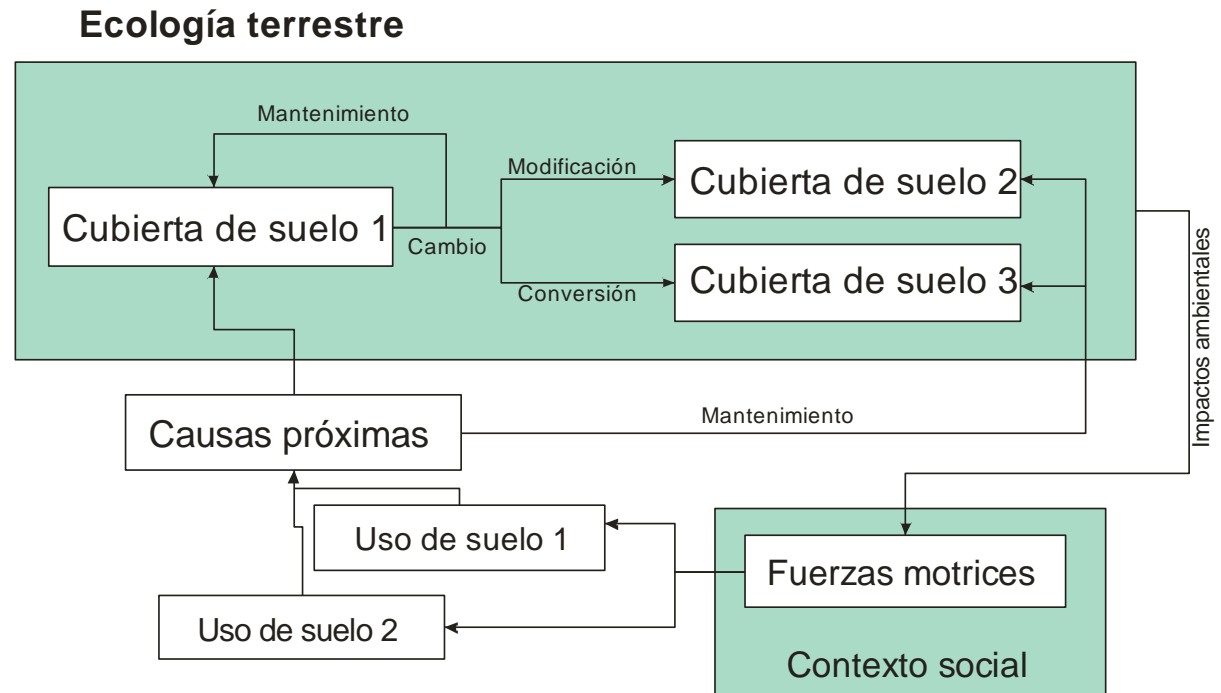


Figura 2.4 Relaciones entre las actividades humanas y la cobertura y uso del suelo (Ojima et al., 1994)

Las causas subyacentes (indirectas o de raíz) son fundamentalmente fuerzas que sostienen a la mayoría de las causas próximas. Ellas operan silenciosamente, por ejemplo a la distancia, usualmente alterando una o más causas directas. Estas causas indirectas están formadas por un intrincado y complejo conjunto de variables sociales, políticas, económicas, demográficas, tecnológicas, culturales y biofísicas (Brookfield, 1999) que constituyen las condiciones estructurales (o sistémicas) en las relaciones humano-medioambientales. En contraste con las causas directas, las fuerzas motrices de las causas indirectas pueden originarse a niveles regionales (estados, distritos, provincias), o incluso niveles globales, con complejas interacciones entre los niveles de organización (Mather, 2006). Cambios en cualquiera de los factores o causas indirectas usualmente resulta en cambios una o más causas próximas, y por tanto impulsando cambios en la cubierta y el uso del suelo.

Debe hacerse notar que la distinción entre causas próximas y subyacentes depende de la escala espacial y temporal del análisis. Las decisiones sobre el uso de la tierra se hacen a diferentes escalas (individuales, hogares, comunidades, naciones, acuerdos internacionales).

Algunos factores que aparentemente son distantes pueden influir mucho como factores exógenos al cambio del uso del suelo en determinadas regiones.

2.3.2 Cambios Lentos, Rápidos y el Rol de los Factores Mediadores

Es útil reconocer que tanto los procesos antropogénicos como los biofísicos pueden ser graduales, de paso lento y/o retrasados, con cambios dilatados en el tiempo (por ejemplo la domesticación de los animales y las fuerzas de las placas tectónicas); o pueden ser rápidos, inmediatos, como fuerzas que inducen al cambio en el uso del suelo (por ejemplo las migraciones debido a las guerras o eventos de lluvia extrema). Generalmente la dinámica del uso del suelo está marcada por una combinación de factores o procesos que actúan gradualmente y factores que ocurren de inmediato (Lambin et al., 2001).

La interacción entre las causas directas e indirectas puede ser modificada por un número de factores mediadores. En particular, los factores subyacentes no operan individualmente, por lo general ellos se ven condicionados por otros factores. Por ejemplo, el incremento de la población en una determinada zona, usualmente considerado como una causa subyacente que induce al cambio de uso del suelo, puede ser modulada o modificada por normas sociales, o por fertilidad, o por programas de reasentamientos, que a su vez pueden estar influenciados por cambios en el conocimiento y políticas a nivel nacional e internacional.

Un factor mediador (a veces llamado intermediario, filtro o variable de contexto) constituye un factor causal biofísico o socio-económico que moldea, modifica o interviene en las interacciones entre las causas indirectas y las directas. Algunos de los factores mediadores más citados en la literatura son el género, la etnicidad, la clase social o estado de bienestar, y los acuerdos institucionales que regulan el acceso a la tierra. Algunos investigadores sostienen que los factores demográficos y económicos no trabajan en un contexto sin mediación, siempre necesitan de un agente de moldee sus impactos. Los factores biofísicos que condicionan el uso del suelo incluyen las propiedades del paisaje (suelo, terreno, clima, hidrología, así como la flora y fauna, y las localidades de asentamientos humanos que contribuyen en gran medida a la calidad del suelo que se encuentra en sus alrededores).

Es importante entender que ningún contexto, sea este social o biofísico, es estático. Factores que son cruciales explicando el cambio en un sitio pueden ser irrelevantes en otro, y ni siquiera ser mencionados en el otro espacio. Las razones de lo anterior es que los factores nunca son idénticos el uno al otro, y aunque éstos sean similares, sus efectos dependerán del contexto biofísico y socio-cultural en el cual se desarrollen.

2.3.3 Factores que afectan el cambio en la cobertura y el uso del suelo

a) Factores biofísicos

Los factores biofísicos, ya sean procesos graduales, inmediatos o mediadores, definen la capacidad natural o condiciones ambientales para el cambio del uso del suelo, con un conjunto de factores bióticos y abióticos (clima, suelos, litología, topografía, relieve, hidrología y vegetación) que varía de región a región y a lo largo del tiempo (Lambin et al., 2001).

b) Factores económicos y tecnológicos

Los factores económicos aparentemente juegan un papel muy importante. Esto no debería ser una sorpresa puesto que la actividad económica mundial se ha multiplicado por 7 entre 1950 y el 2000 (mientras la población mundial apenas ha crecido el doble), y por ende aumentando la demanda de muchos de los servicios y bienes de los ecosistemas (Millenium Ecosystem Assesment, 2005).

c) Factores demográficos

Al menos desde el siglo XVIII, el crecimiento de la población y la presión que supone sobre el uso del suelo (especialmente las prácticas agrícolas en particular) han sido el centro de atención sobre la relación humano-ambiente. Un consenso general se ha desarrollado desde entonces proponiendo que no es el puro aumento de la población, sino que su distribución y composición, las que se han convertido en las principales características de la población, reconociendo la importancia de demandas indirectas o de consumo de la tierra por un incremento de la población urbana (Lambin et al., 2001)

Mientras el crecimiento poblacional puede ser la causa de muchos cambios en la cubierta y uso del suelo, sus efectos se manifiestan frecuentemente a través de

migraciones (temporales o circulatorias) o desplazamientos de grupos de personas, ya sea espontáneamente o con apoyo del gobierno (Tri-Academy Panel, 2001). En una localidad específica, las migraciones en sus diversas formas claramente son el factor demográfico más importante causante de la dinámica de cambio de uso del suelo en escalas de tiempo de un par de décadas.

d) Factores institucionales

El acceso a la tierra, al trabajo, al capital, a la tecnología, e información es estructurada (y generalmente restringida) por políticas locales y nacionales e instituciones. Los derechos de propiedad es claramente de dominio institucional, y los terratenientes tienen ciertas capacidades para participar o definir estas instituciones. Algunas instituciones que trabajan con los derechos civiles, la democratización, las organizaciones locales, las organizaciones ambientalistas son regidas por las instituciones que marcan las normas y manejan la distribución de los recursos, y por tanto de la economía. Probablemente la más influyente política en la dinámica del cambio del uso del suelo es la política económica. Políticas específicas (créditos, apoyo al mantenimiento de precios, subsidios, tarifas, impuestos) han sido identificadas en un tercio de los casos de intensificación de la agricultura, en donde los subsidios y el apoyo a los precios permitían a los agricultores incursionar en nuevos productos de una manera rentable (McConnell y Keys, 2005).

e) Factores culturales

Numerosos factores culturales también influyen en la toma de decisiones sobre el cambio de uso de suelo a otro, aun más, es de mucha importancia el no divorciarse de las condiciones o tendencias culturales de las causas subyacentes económicas y políticas, incluyendo las inequidades como el estatus de la mujer, minorías étnicas y familias pobres, que afectan el acceso a los recursos y al uso del suelo.

Factores/Cambio	Cobertura forestal	Zonas secas	Cultivos
Biofísicos	Calidad del suelo, pendiente, topografía, ríos, lagos y lagunas, vegetación	Déficit de lluvia, clima más seco y cálido, cambios en el régimen de incendios, sequías y oscilaciones entre las condiciones seca y húmeda.	Precipitación, topografía, presencia y proximidad a cuerpos de agua, y condiciones del suelo.
Económicos y Tecnológicos	Crecimiento del mercado, fallas de mercado, crecimiento urbano-industrial, tasa de cambio de la moneda, cambio agro-tecnológico, técnicas de extracción de la madera	Crecimiento del mercado, comercialización, depresión económica, empobrecimiento, desarrollo innovador, deficiencias en aplicaciones técnicas.	Acceso al mercado, nivel de vida, demanda del mercado, empleo fuera de la granja, programas de suministro de agua, programas de infraestructuras.
Demográficos	Inmigración, crecimiento de la densidad poblacional	Incremento de la población (en número), incremento de las densidades poblacionales (inmigración)	Densidad de la población, composición de la población (edades, género, nivel educativo), asentamientos migratorios
Institucionales	Políticas de deforestación (desarrollo rural, crecimiento económico, créditos y subsidios), derechos de propiedad, fallas en las políticas (uso inadecuado)	Régimen de propiedad, políticas del gobierno, programas de control de ingresos, programas de infraestructura	Mal funcionamiento de las regulaciones de los bienes comunes, medidas de zonificación, políticas de desarrollo agrícola
Culturales	Actitudes, valores y creencias (despreocupación pública, falta de valores), comportamiento individual	Conflictos violentos por tierras, percepción, indiferencia	Religión, etnicidad, educación

Tabla 2.1 Factores influyentes diferentes coberturas o ambientes. Fuente: Geist, 2005

2.3.4 Interacción entre factores

Angelsen y Kaimowitz (1999) demostraron que los caminos sólo pueden facilitar el cambio de uso de suelo, pero que por sí mismos son insuficientes para provocar los cambios en la ausencia de incentivos. Geist (2005), después de una extensa revisión de estudios a nivel

mundial sobre cambio de cobertura y usos del suelo sostiene que no existe explicación alguna que adjudique los cambios a una única causa: ningún factor trabaja aisladamente. Mientras que el crecimiento poblacional puede estar implicado en la mayoría de los cambios del uso del suelo, sus efectos no dependen de su naturaleza particular, dependen también del contexto biofísico y social en el cual ocurren. Por tanto, la atención deberá enfocarse en encontrar las sinergias entre las causas, o los factores que promueven su interacción, más que estudios de factores individuales o grupos de factores aislados del todo.

Las relaciones entre causas y cambios no es lineal ni unidireccional (Mather, 2006). El cambio producido por los humanos invariablemente altera los sistemas biofísicos, y tan pronto esas alteraciones se hacen visibles, son detectadas por los usuarios del suelo (individuos, vecinos o instituciones), y esto produce cambios en el comportamiento de las personas.

Existen diferentes maneras de representar las interacciones entre las varias causas que provocan el cambio en el suelo. Primero, debido a que ningún factor opera aisladamente, una causa puede dominar por completo a la otra; segundo, los factores pueden estar conectados como cadenas causales, esto es interconectados de manera que una o varias variables (generalmente causas subyacentes) impulsan una o varias causas (generalmente causas próximas); tercero, diferentes factores pueden intervenir en ocurrencia concomitante para describir una operación independiente y sincronizada de factores individuales que inducen al cambio; y finalmente, diferentes factores pueden intervenir combinadamente en sinergia para producir cambios de usos de suelo, cuyos efectos son de acción recíproca y retroalimentaciones entre sus causas.

Un enfoque de análisis rechaza la idea de que variables independientes tienen efectos independientes, y que pueden ser substituidas una por otra para lograr un determinado escenario de usos de suelo, por el contrario se basa en las interacciones como base de la explicación de los fenómenos que inducen al cambio. Este enfoque busca identificar cómo conjuntos de factores interrelacionados trabajan en conjunto, y reconocer grupos típicos o recurrentes de causas.

2.3.5 Síndromes, Rutas y Transiciones

Lambin et al. (2003) ha encontrado que los cambios en el uso del suelo está influenciado por la combinación de las siguientes causas de “alto nivel” o síndromes:

- Escasez de los recursos, lo que provoca un incremento en la presión de producción de bienes y servicios,
- Oportunidades cambiantes creadas por el mercado,
- Intervención de políticas exógenas,
- Pérdida de capacidad adaptativa e incremento de la vulnerabilidad, y
- Cambios en la organización social, especialmente en el acceso a los recursos, y sus actitudes.

Solo una combinación de las diferentes causas, con interacciones sinérgicas, es la opción más probable para producir un cambio en el uso del suelo. Por tanto,

$$Uso\ del\ suelo = f \left(\begin{array}{l} \text{presiones, oportunidades, políticas, vulnerabilidad,} \\ \text{y organización social} \end{array} \right)$$

Donde,

$$Presiones = f \left(\begin{array}{l} \text{población, empleo, cantidad de recursos,} \\ \text{y sensibilidad a los recursos} \end{array} \right)$$

$$Oportunidades = f \left(\begin{array}{l} \text{precios de mercado, costos de producción,} \\ \text{costos de transporte, y tecnología} \end{array} \right)$$

$$Políticas = f \left(\begin{array}{l} \text{subsidios, impuestos, derechos de propiedad,} \\ \text{infraestructuras, y gobernanza} \end{array} \right)$$

$$Vulnerabilidad = f \left(\begin{array}{l} \text{exposición a perturbaciones externas,} \\ \text{sensibilidad, resiliencia} \end{array} \right)$$

$$Organización\ social = f \left(\begin{array}{l} \text{acceso a los recursos, distribución de las riquezas,} \\ \text{asuntos domésticos, e interacciones urbano – rurales} \end{array} \right)$$

Como se ha hecho notar anteriormente, aunque existe una gran diversidad de causas y situaciones (o contextos) que inducen el cambio en el uso del suelo, la complejidad de las fuerzas motrices que producen la dinámica terrestre puede ser reducida en gran medida. Es

decir, el reto principal está en identificar rutas o trayectorias dominantes que guíen sobre los riesgos asociados en cada trayectoria y así determinar los posibles cambios en el uso del suelo. Existen algunos patrones generales de cambio que resultan de interacciones recurrentes entre fuerzas motrices, siguiendo secuencias específicas de eventos. Las rutas o trayectorias que siguen las fuerzas motrices cambian en tiempo y espacio, dependen del contexto y del nivel al cual se está estudiando el fenómeno, haciendo casi imposible su comparación, a no ser que se ejecute a niveles locales muy detallados.

Una **transición** puede ser definida como un proceso de cambio social en el cual el carácter estructural de la sociedad (o un complejo sub-sistema de la sociedad) se transforma. Esta resulta de un conjunto de cambios conectados, que se refuerzan entre sí, pero se llevan a cabo en diferentes componentes del sistema. La transición en el uso del suelo debe ser entendida como un proceso dinámico, múltiple y reversible. Existe entonces una noción muy fuerte de inestabilidad e indeterminación en las transiciones de los usos del suelo (Lambin 2003). Las transiciones deben ser vistas, en la medida de lo posible, como guías, posibles rutas de desarrollo, donde la dirección, el tamaño, y la velocidad pueden ser influenciadas a través de políticas y circunstancias específicas.

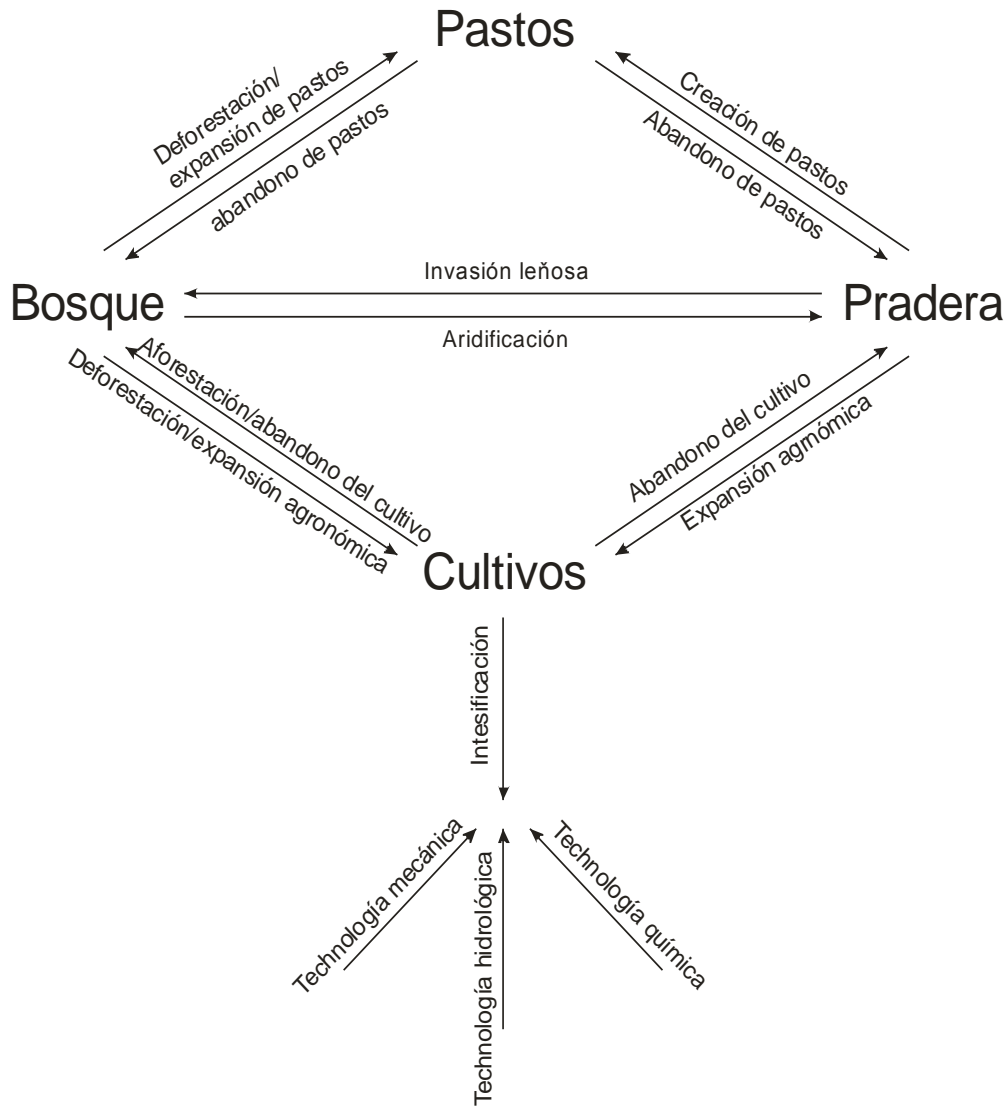


Figura 2.5 Transiciones potenciales entre dos usos de suelo/coberturas (pastos/cultivos, bosque/pastos) (Fuente: Lambin y Geist, 2006)

2.4 Historia reciente del Uso del Suelo en España

Engels y Marx planteaban el problema que la base económica de la ciudad está en la explotación de ésta por el campo, la expropiación de los campesinos y la ruina de la mayor parte de la población rural como consecuencia del desarrollo de la industria, del comercio y del sistema crediticio del capital. Con la intención de reducir los contrastes entre campo y ciudad, se dan en España una serie de repoblaciones interiores o reformas las cuales pueden estructurarse en cinco grandes etapas:

- Liberal, en la segunda mitad del siglo XVIII, que operó bajo una legislación orientada al fomento de la población rural y al establecimiento de colonias agrícolas.
- Restauracionistas, en el primer cuarto del siglo XX, bajo la legislación denominada de colonización y repoblamiento interior.
- Primorriverista, en la época de esta dictadura, adquisición de fincas con fines de parcelación y colonización.
- Republicano, entre 1931 y 1936, bajo la ley de obras de puesta en riego.
- Franquista, desde 1936 a 1977, que es la continuación del anterior con algunas reformas.

Esta última tenía como objetivo mejorar las tierras para aumentar su productividad, y el subsiguiente asentamiento de campesinos en extensas áreas de secanos mejorados, de marismas desecadas y, sobre todo, de nuevos regadíos mediante la intervención del Estado y los latifundistas del momento. Su impacto fue observado en toda España, principalmente en Badajoz, Cáceres, Cádiz, Ciudad Real, Córdoba, Granada, Jaén, Salamanca, Sevilla, Toledo, Zaragoza, Alicante, Santander y otras provincias. La colonización de esta época priorizó lo técnico sobre lo social, en contraposición a la Reforma Agraria de la Segunda República, reorientando ésta al simple reparto de los latifundios. En este período se construyeron muchos poblados de colonos en grandes espacios deshabitados, se realizaron numerosos embalses, se sanearon marismas y deltas, se desecaron lagunas, se parcelaron latifundios y se pusieron grandes superficies en regadíos. La última introdujo la cultura de huerta en antiguas estepas cerealistas con resultados impresionantes en la diversificación de los cultivos y en la ruptura de la dependencia histórica del calendario y el clima de la zona.

Entre 1959 y 1962 se introduce y se pone en marcha el Plan de Estabilización y Liberalización de la Economía que plantea la industrialización del país, y es causa principal del largo período de emigración que alteró la estructura del sistema de asentamientos hasta el momento practicado en la península, manifestándose en el crecimiento de las ciudades hasta su congestión y la desertización rural, fenómeno que parece concluir hoy en día en la desaparición de numerosos núcleos rurales o en su conversión en núcleos vacacionales para las generaciones más jóvenes.

A partir de 1953 entra en vigor la concentración parcelaria a cargo del Servicio de Concentración Parcelaria. Este servicio jugó un papel importante en el territorio español: incremento del tamaño de las parcelas de cultivo y de las explotaciones, construcción de caminos, obras y mejoras del medio rural, etc. Que hicieron posible la intensa mecanización de las labores agrarias, lo que unido a la “revolución verde” (mejora de semillas y utilización masiva de fertilizantes, herbicidas y fitosanitarios) produjo un gran aumento de la producción, mientras se reducía la población activa agrícola, la cual pasó a satisfacer la demanda de mano de obra industrial de las ciudades. Pero esta mayor eficiencia productiva no tuvo sólo efectos positivos: ha existido pérdida de biodiversidad y una fuerte simplificación del espacio rural (paisaje), definido principalmente por un mosaico de pequeñas parcelas, incluyendo también la rectificación de cursos de agua.

Hacia el futuro se prevén tres escenarios en el mundo rural:

- Uno basado en una vuelta a la naturaleza cuya imagen estaría representada por un medio rural profundo dominado por los bosques y una muy baja densidad de población;
- Otro orientado a recuperar la población que había en los censos del año 1955 (antes del Plan de Estabilización de 1959) y con ella la cultura, las tradiciones y el patrimonio rural (más inviable);
- Y el último, basado en el modelo territorial que propone la Estrategia Europea de Ordenación Territorial (ETE), que propone un modelo nucleado de asentamientos poblacionales de todos los tamaños, conectados por una red de comunicaciones y vial, basados en nuevas relaciones ciudad-campo caracterizadas por oportunidades que satisfacen la demanda y aspiraciones del ciudadano.

La Estrategia Territorial Europea (1999), surge con el objetivo de progresar hacia la cohesión económica y social, el desarrollo sostenible y la competitividad equilibrada del territorio europeo. La ETE propone lo siguiente:

- Desarrollo territorial policéntrico y nueva relación entre el campo y la ciudad.
- Acceso equivalente a las infraestructuras y al conocimiento.
- Gestión prudente de la naturaleza y el patrimonio cultural.

En síntesis, la ETE propone un modelo territorial equilibrado, polinucleado y en red, con asentamientos poblacionales de diversos tamaños, compactos y polifuncionales, entre los que existe solidaridad intermunicipal, conectados por una potente red de infraestructuras de transportes y de comunicaciones que les proporcione oportunidades similares de acceso a la salud, la ciencia, la cultura y el ocio, y unas nuevas relaciones campo ciudad.

2.4.1 Legislación en España

En la historia moderna de España, las leyes que implican la clasificación del suelo y su uso han sufrido numerosas reformas. La Ley del Suelo de 1973 propone una visión del territorio desde las ciudades, clasificando el suelo “no urbanizable” a todo aquel suelo que debe permanecer como rústico; sin embargo, introduce dos conceptos importantes: la función social de la propiedad y la protección del suelo por razones ambientales; ambos conceptos productos del cambio del productivismo al ambientalismo/ecologismo iniciado en los Estados Unidos de América a partir de 1967. Con la creación de las Comunidades autónomas y la transferencia a éstas de diversas competencias territoriales, la ley pierde eficacia. A lo largo de los años las reformas han puesto de manifiesto la conflictividad y los enormes intereses que giran en torno a la clasificación y calificación del suelo; la última reforma del 2007 (Ley 8/2007), que establece la transferencia de las competencias en ordenación territorial a las comunidades autónomas, no establece tipos de planes y clases de suelos y enfatiza la función social de la propiedad, el uso racional de los recursos naturales, la transparencia y el control de la especulación urbanística. La última ley da carácter determinante a los informes de la Administración Hidrológica sobre suficiencia de los recursos hídricos para satisfacer las nuevas demandas de agua, de la Administración de Costas para el deslinde y protección del dominio público marítimo-terrestre y de las Administraciones competentes en materia de carreteras y demás infraestructuras. Asimismo modifica el régimen de valoración del suelo, de tal forma que su precio se establecerá sobre la base de la valoración real del terreno en cada momento.

Numerosas Comunidades Autónomas disponen de legislación específica en materia de ordenación territorial. Por orden cronológico e aprobación son las siguientes:

- Cataluña: Ley 23/1983, de 21 de noviembre, de Política Territorial, y Ley 1/1995, de 16 de marzo, de la aprobación del Plan Territorial de Cataluña.
- Principado de Asturias: Ley 1/1987, de 30 de marzo, de Coordinación y Ordenación Territorial y Ley 6/1990, de 20 de junio, de Edificación y Usos del Suelo en el Medio Rural.
- Canarias: Ley 1/1987, de 13 de marzo, reguladora de los Planes Insulares de Ordenación y Ley 5/1987, de 7 de abril, sobre Ordenación Urbanística del Suelo Rústico.
- Baleares: Ley 8/1987, de 1 de abril, de Ordenación Territorial y Ley 6/1997, de 8 de julio, de Regulación del Suelo Rústico.
- Valencia: Ley 6/1989, de 1 de abril, de Ordenación del Territorio.
- Cantabria: Ley 7/1990, de 30 de marzo, de Ordenación Territorial y Ley 9/1994, de 29 de septiembre, sobre Usos del Suelo en el Medio Rural.
- País Vasco: Ley 4/1990, de 31 de mayo, sobre Ordenación del Territorio y Decreto 28/97, de 11 de febrero, de Directrices sobre Ordenación del Territorio.
- Murcia: Ley 4/1992, de 30 de julio, de Ordenación del Territorio.
- Aragón: Ley 11/1992, de 24 de noviembre, de Ordenación del Territorio.
- Andalucía: Ley 1/1994, de 11 de enero, sobre Ordenación del Territorio.
- Navarra: Ley Foral 10/1994, de 4 de julio, de Ordenación del Territorio y Urbanismo.
- Madrid: Ley 9/1995, de 28 de marzo, de Medidas de Política Territorial, suelo y Urbanismo.
- Galicia: Ley 10/1995, de 23 de noviembre, de Ordenación del Territorio y Ley 7/1996, de 10 de julio, de Ordenación del Territorio y Desarrollo Comarcal.
- Castilla la Mancha: Ley 2/1998, de 4 de junio, de Ordenación del Territorio y Urbanismo.
- La Rioja: Ley 10/1998, de 2 de julio, de Ordenación del Territorio y Urbanismo.
- Castilla-León: Ley 10/1998, de 5 de diciembre, de Ordenación del Territorio.

Toda la legislación española en materia de ordenación territorial, y por ende del suelo, responde a tres ideas básicas:

- Vinculación de los usos del suelo, directamente o a través del planteamiento urbanístico;
- Coordinación de actividades sectoriales particularmente en relación con las infraestructuras;
- Acciones del fomento y orientación (inversiones, subvenciones, estímulos fiscales, impuestos, etc.)

Además de la legislación específica en la materia, existen otras numerosas disposiciones legales de contenido sectorial que rigen actividades con incidencia territorial. Las más importantes son las relacionadas con las infraestructuras territoriales, con el urbanismo y la edificación, con el medio físico y recursos naturales, con el medio ambiente y con el patrimonio cultural, sin olvidar las relativas a la programación económica general. Tal legislación procede de los tres niveles administrativos que operan en España: UE, nacional y autonómico.

Carreteras: Ley 25/1988, de 29 de julio, de carreteras y caminos, BOE número 279, 30-7-1988; clasifica las vías de dominio y uso público en: autopistas, autovías, vías rápidas y carreteras. Establece directrices y normas para la planificación construcción, financiación y explotación de las carreteras.

Aguas marinas: Ley de Costas 22/1988, de 28 de julio, BOE número 181, 29-7-1988. Real Decreto 1741/1989, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley de Costas, BOE 12-12-1989. Real Decreto 258/89, de vertido de sustancias peligrosas desde tierra al mar.

3.1.1.1 Aguas continentales: Ley de Aguas 29/1985, de 2 de agosto, BOE número 189, 8-8-1985; clasifica y define la zona de servidumbre, la zona de policía, el dominio público y el dominio privado, así como el uso del suelo y las actividades permitidas. Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, BOE número 103, 30-4-1986. Real Decreto 927/1988, por el que se aprueba la Ley 29/85. Real Decreto 1315/92, por el que se modifica el Reglamento de la Ley de Aguas. Real Decreto 484/95, de regularización y control de vertidos. Real

Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, Ministerio de Medio Ambiente.

Conservación de la naturaleza: Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres, BOE número 74, 28-3-1989. Ley 40/1997, y Ley 41/1997, que completan ciertos aspectos y resuelven problemas de competencia entre el Estado y las Comunidades Autónomas en la gestión de los Parques Nacionales.

Patrimonio: Ley 6/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español.

Vías pecuarias: Ley de Vías Pecuarias 3/1995; por la que se clasifican las vías pecuarias por su ancho en cañada, cordel y vereda.

Montes: Ley de Montes 43/2003, establece una nueva herramienta de planificación forestal.

2.4.2 Algunos estudios realizados

La mayoría de los estudios del cambio de uso del suelo (observando aquellos que tienen relación directa con los objetivos de este estudio), llegan a la conclusión que la determinación de los cambios en la cobertura y de uso del suelo es el resultado del proceso de urbanización, turismo, migraciones, cambios en las tecnologías y prácticas agrícolas; siendo difícil atribuir el cambio a la diversa producción agraria (Tanrivermis, 2002).

Las semejanzas en las tendencias de cambios en la cobertura y el uso de los suelos, así como de sus relaciones con el crecimiento poblacional y de productividad a escala local, regional y global, son los principales indicadores del nivel de interacción entre el sistema económico, el biofísico y el gubernamental (Mersseli, 1997).

Un estudio llevado a cabo en Cataluña (Pavón et al., 2002) clasifica tres tipos de escenarios de cobertura y uso de suelo dependiendo de las características biofísicas dominantes que influyen en el proceso de cambio. El primero lo enmarcan en el piedemonte en donde se produce un continuo proceso de deforestación resultado de la continuada crisis de la

agricultura tradicional. El segundo es definido en los llanos, donde la agricultura intensiva sigue dominando, pero pueden restringirse las superficies por diversos factores o simplemente por la supresión de los subsidios. El último está centrado en las costas, esperando una continua diversidad de usos de suelos por la agricultura, turismo y conservación de la naturaleza, y que provoca un elevado número de conflictos sociales y medioambientales. El estudio presenta predicciones futuras en los tres escenarios descritos concluyendo que existe una alta probabilidad de nuevos conflictos sociales y medioambientales, considerando especialmente que la confrontación sobre el uso del suelo está aumentando mucho en el llano costero y muy probable también, hacia el interior del país.

Un estudio realizado en Galicia (Crecente et al., 2001) analiza las políticas de concentración parcelaria, observando que éstas contribuyen a mantener las explotaciones para uso agrario, y provocan cambios en el uso del suelo mediante alteraciones de los cultivos y los pastos. Se realiza una evaluación ambiental, económica y social de la concentración parcelaria, determinando que existen impactos ambientales negativos, y socioeconómicos positivos, indicativo del conflicto de intereses entre los sistemas naturales y socioeconómicos.

El Proyecto SIMLUC (Spatial Impact of Rural Environment EU Policies: A regional comparative analysis of Land Use Change, Nelson, 2000), pretendió dar a conocer el impacto de las políticas de la Unión Europea en el cambio de cobertura y uso del suelo en diferentes contextos regionales, pero utilizando un marco metodológico común en tres países (España, Portugal y Suecia). Las conclusiones del proyecto sugieren que los principales factores diferenciales entre las regiones participantes, con respecto a las estrategias de los agricultores relativas al cambio de uso del suelo, son:

Portugal: El tamaño de las explotaciones que condiciona la adaptación a los requerimientos del mercado único. Las explotaciones de gran dimensión son las únicas capaces alcanzar elevados niveles de producción, ingresos y capacidad de inversión. El tamaño de la explotación está en relación con la principal limitación natural, la existencia de suelos pobres en nutrientes, que asociada con relieves irregulares restringe el uso agrícola de las tierras y solo permiten que se alcancen bajos rendimientos unitarios.

España: El tamaño económico, junto con la edad del agricultor y la posibilidad de relevo generacional.

Suecia: El factor que influye en la toma de decisiones es más global que local. Por ejemplo, los ganaderos están asociados a empresas integradoras y éstas son las que toman las decisiones al final basados en la producción obtenida (Calafat, 2006).

Una metodología menos frecuente para el análisis de los cambios de uso del suelo es siguiendo análisis históricos. Uno de los mejores ejemplos de este tipo de estudios en territorio español es el dirigido por García Latorre (2001) que se remonta a época de la reconquista en Almería. Este estudio afirma que los cambios de uso de suelo son el resultado de diferentes modelos de gobierno, de agitaciones políticas, movimientos sociales, y que su análisis se puede hacer a través de las manifestaciones en los paisajes, en la memoria humana y la arqueología industrial. El estudio describe cómo la expulsión de los campesinos musulmanes por un sistema feudal cristiano entre el siglo XI y XV permitió un cambio de uso del suelo de cultivos percederos, principalmente regados, como hortalizas y frutas, a un sistema de cultivos de secano, que podían ser almacenados, como los cereales. Se argumenta que sólo a través de este movimiento hacia una producción almacenable se permitió que los señores cristianos gravaran convenientemente con impuestos a los campesinos y recogieran los excedentes de producción. Sin embargo, las consecuencias ecológicas de este cambio no se manifestaron hasta siglos después.

La expulsión de la población musulmana supuso un considerable declive de población y la dispersión de la población en las zonas fronterizas provocó que el suelo se utilizara principalmente para pastos de ovejas. Otra situación fue la experimentada en el siglo XIX, cuando a Almería se le concedió uno de los más importantes permisos para la explotación maderera de Europa; no sólo se permitió la sobrexplotación de la madera, sino que también se animó a la introducción de grandes cantidades de poblaciones mediante cultivos intensivos, basados en la producción de los cultivos de secano. El incremento de demanda de madera junto con el rápido aumento de las áreas agrícolas pronto provocó una importante deforestación en la zona. Irónicamente, mientras la industrialización a principios

del siglo XIX parecía haber sido la mayor fuerza de deforestación, fue la explotación minera y sus consecuencias económicas las que atrasaron el desarrollo de la región a finales del siglo XIX y principios del XX. El principal aporte de este estudio es que introduce una nueva metodología que marca las interrelaciones entre los cambios socio-políticos, socio-económicos y paisaje-ecología, basada principalmente en métodos históricos.

2.5 El Sistema Territorial y el Modelo Territorial

El uso del suelo es la expresión final de toda la actividad que el sistema territorial ejerce sobre él. Es importante definir qué es un sistema territorial y las componentes que forman parte de este sistema para comprender cómo se genera un uso de suelo, cuál es su dinámica y las fuerzas que participan en el cambio o transformación.

El sistema territorial es una construcción social que representa el estilo de desarrollo de una sociedad; se forma mediante las actividades que la población practica sobre el medio físico y de las interacciones entre ellas a través de los canales de relación que dan funcionalidad al sistema.

Los componentes del sistema territorial son los mostrados en la figura 2.6:

- El medio físico o sistema natural tal como se encuentra;
- La población y las actividades que practica (producción, consumo y relación social);
- El poblamiento o sistema de asentamientos poblacionales;
- Los canales de relación o infraestructuras a través de las cuales el poblamiento intercambia personas, mercancías, energía e información;
- Las instituciones que facilitan el funcionamiento social; y,
- El marco normativo o legal que regula el funcionamiento.

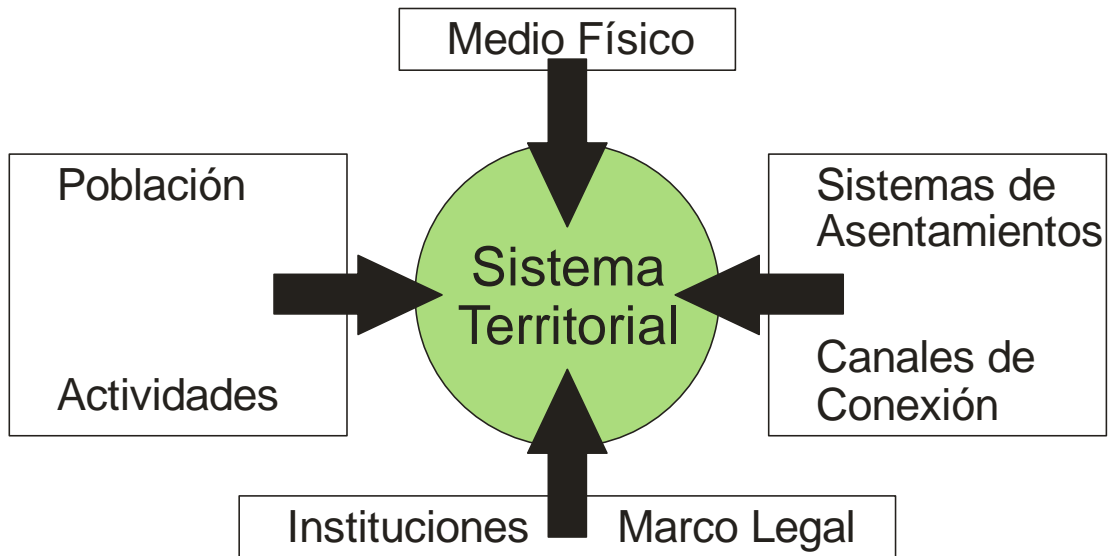


Figura 2.6 Componentes del sistema territorial. Fuente: Gómez Orea, 2008

La idea expuesta anteriormente de sistema territorial es aplicable a cualquier espacio, sin embargo es referida principalmente a los siguientes tipos de región:

- Político-administrativas, asociadas a la organización territorial de cada país.
- Homogéneas o formales, definidas por criterios de semejanza entre sus puntos. La homogeneidad puede referirse a aspectos temáticos (como es el caso del acuífero de la Mancha Oriental) o integrales.
- Funcionales, conformadas por las relaciones recíprocas entre lugares, generalmente polarizadas por uno más importante, o por flujos de relación direccionales cual son las cuencas hidrográficas (ríos).
- Estratégicas, definidas por razones operativas en función del área de extensión del tema a tratar (recurso, valor, potencial, problema, etc.).

Como todo el sistema es muy complejo es necesario recurrir a modelos para describirlo e interpretarlo, cuantificar sus flujos y recrear escenarios para su estudio. Un modelo es una imagen simplificada de un sistema, cuya calidad no depende de la fidelidad con que representa el sistema modelizado, sino en su capacidad para ayudar en interpretación de la estructura y de su funcionamiento.

El modelo territorial es una imagen simplificada del sistema territorial, que utiliza los elementos estructurales y más fácilmente representables de él:

- El modelo físico y los usos primarios del suelo.
- El sistema de asentamientos poblacionales.
- Los canales de relación, especialmente las estructuras de transporte.
- Otros elementos significativos y representables.

El sistema territorial, y el modelo que lo representa, es la proyección espacial del estilo de desarrollo de la sociedad en el espacio al que se refiere, de tal manera que estrategias distintas de desarrollo económico, social y ambiental conducen a modelos distintos de organización espacial (Gómez Orea, 2008).

2.6 Enfoques de modelización

Hay varios estudios que ofrecen un buen panorama de las herramientas de modelado disponibles en la actualidad. Por ejemplo, Briassoulis (2000) ofrece una discusión muy extensa de la mayoría de los modelos de cambio de uso del suelo. La Agencia Europea de Medio Ambiente (2008), proporciona una visión general más enfocada en la información técnica de los modelos: cobertura geográfica, capas temáticas, datos de entrada, resultados del modelo, limitaciones, fortalezas, etc.

También Verburg (2006a), presenta una variedad de enfoques de modelación discutiendo las principales características de los modelos, las fortalezas y debilidades de los enfoques actuales, e indica los desafíos pendientes para la comunidad científica. Las principales características analizadas son los modelos espaciales o no espaciales; los modelos dinámicos o estáticos; descriptivos o prescriptivos; deductivos o inductivos; basados en agentes, o basados en la resolución espacial, y modelos regionales o mundiales.

a) Modelos espaciales vs no espaciales

La primer característica es si el modelo es espacial o no. Los modelos espaciales buscan representaciones explícitas del cambio de cobertura y uso del suelo a cualquier nivel de detalle espacial (raster o unidades administrativas). A pesar de los diversos enfoques, los

modelos espacialmente explícitos comparten aproximadamente la misma estructura que se ilustra en la Figura 2.7.

El mapa de idoneidad o mapa de preferencia representa la disposición de la ubicación para un uso de suelo específico, basado en las fuerzas motrices que influyen en la asignación de este uso de cobertura. Este proceso es uno de los componentes más importantes de los modelos de uso del suelo y hay un conjunto diverso de procesos analíticos para su desarrollo. El modelo CLUE-s (Verburg, 1999), por ejemplo, crea un mapa de transición, a través del método de regresión logística; mientras tanto, el modelo Cellular_Automata_Markov –CA_Markov- (Eastman, 2009) sugiere utilizar el método de Evaluación Multi-Criterio de (EMC) para desarrollar el mapa de idoneidad.

Los modelos no espaciales se centran modelar la cantidad y la proporción del cambio de uso del suelo, sin atención específica a su distribución espacial.

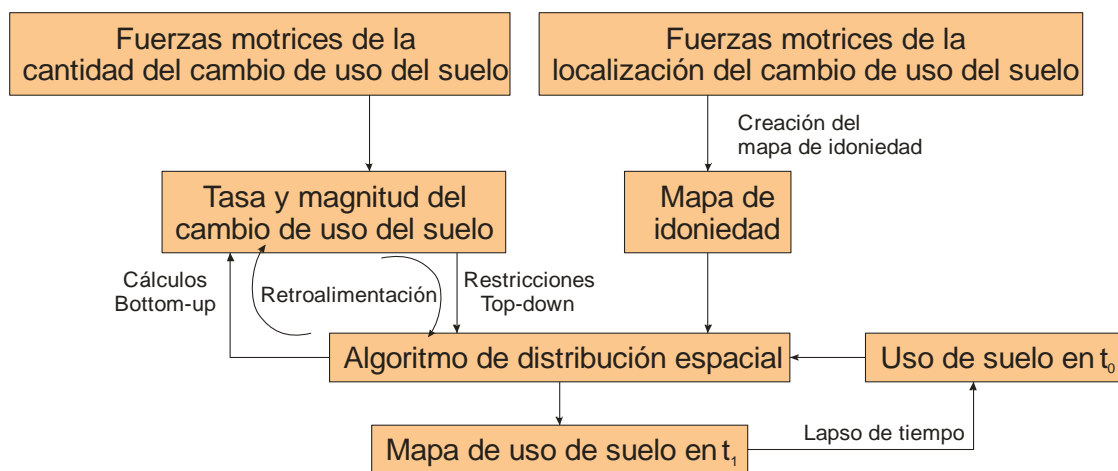


Figura 2.7 Modelo generalizado del modelo de uso de la tierra cambia espacialmente explícitos (Fuente: Verburg et al., 2006b)

b) Los modelos dinámicos vs estáticos

La segunda característica tiene que ver con la cuestión temporal. Los modelos dinámicos se centran en la dinámica temporal del sistema de usos del suelo, a través de la competencia entre usos del suelo, los cambios del pasado que no se puede cambiar en el

futuro (por ejemplo, la agricultura cambiado a lo urbano no puede cambiar de nuevo a la agricultura) y las trayectorias fijas del uso de la tierra. Estos modelos son más apropiados para ser utilizados para las proyecciones del cambio de uso del suelo en el futuro. Por el otro lado, los modelos estáticos no dependen de una serie de tiempo de datos de entrada. Este tipo de modelos pueden ser utilizados para conocer las fuerzas motrices del cambio de uso del suelo.

c) Los modelos descriptivos vs prescriptivos

La tercera característica define si el modelo es descriptivo o prescriptivo. Los modelos descriptivos tienen como objetivo simular el sistema de uso del suelo basados en los patrones actuales y las proyecciones del cambio de cobertura y uso del suelo para condiciones de escenarios en un futuro cercano. Los modelos prescriptivos buscan el cálculo de las configuraciones optimizada de uso del suelo que mejor se adapten a un conjunto de metas y objetivos. De hecho, el sistema de uso del suelo actual se incluye como una restricción para mejores resultados en las configuraciones óptimas de uso del suelo. El sistema de uso del suelo es modelado de manera que mejor se ajuste a una serie de objetivos. Los modelos prescriptivos son útiles para el análisis de políticas, ya que proporcionan una visión espacial de los patrones de uso de la tierra basados en las limitaciones y objetivos previamente especificados.

d) Inductivo vs deductivo

La cuarta característica se refiere al papel de la teoría. La mayoría de los modelos de uso del suelo son inductivos, en el que los requisitos del modelo se basan en correlaciones estadísticas entre cambios de uso del suelo y las fuerzas motrices que ayudan a explicar este cambio. Las variables y relaciones son identificadas a través de estadísticas, probabilidades de transición y calibraciones. En contraste, el enfoque deductivo se centra en la interacción humano-medioambiente. Estos últimos modelos identifican y concentran la atención en los datos requeridos para explorar esas relaciones.

e) Basada en agentes vs basados en la resolución

La quinta característica se relaciona con los objetos simulados. En la mayor parte de los modelos espacialmente explícitos la unidad de análisis son imágenes basadas en píxeles.

La unidad de análisis podría ser el área de terreno, un polígono que representa un campo, una parcela, o un pixel parte de una imagen raster. Los cambios de uso del suelo se calculan para estos objetos, resultando mapas que muestran los cambios en el patrón de uso de la tierra.

Otro grupo de modelos está representado por los modelos basado en agentes. Este tipo de modelos es autónomo, comparten un mismo ambiente a través de la comunicación y la interacción de los agentes que dan importancia a la toma de decisiones de los mismos, la organización social y el paisaje.

f) Regional vs mundial

La última característica es si el modelo es global o regional. Los modelos regionales podrían aplicarse desde estudios muy locales hasta niveles continentales. Estos modelos varían en términos de las resoluciones que podrían ser de entre 50 m² y 1.000 km². El modelo CLUE-s, por ejemplo, es un modelo regional y se utilizó en el proyecto EURURALIS, con una resolución de 1x1 km.

Los modelos globales se aplican a escala continental y mundial. Han sido desarrollados principalmente para analizar cómo los cambios en la cubierta y el uso del suelo pueden jugar un papel importante en los análisis del cambio climático, pérdida de biodiversidad, y la producción agrícola en los mercados mundiales. Por lo general, estos modelos vinculan sub-componentes que representan a la población, la actividad económica que lleva a la demanda de productos agrícolas, temas tecnológicos y otros. Otro grupo de modelos globales que se enfocan en la dinámica del uso del suelo son los modelos económicos globales. Ellos explican la asignación de tierras por la ley de oferta y demanda de los sectores agrarios. Un ejemplo de estos modelos es el GTAP/LEITAP2 (Global Trade Analysis Project- Agricultural Economics Research Institute, Trade Analysis Project) que se aplicó también en el proyecto EURURALIS para cuantificar la demanda de la agricultura a nivel nacional.

Recientemente, muchos proyectos de investigación se centran en integrar modelos locales y globales obteniendo resultados más sofisticados y promisorios. Un ejemplo, a nivel europeo, es el proyecto EURURALIS que utiliza el modelo CLUE s- para asignar el

uso del suelo en una malla de 1x1km con la información tomada del modelo global GTAP / LEITAP (modelo macroeconómico) e IMAGE (modelo medioambiental, Integrated Model to Assess the Global Environment). El cambio de uso del suelo se basa en la competencia entre los diferentes usos del suelo y el uso de reglas de asignación espacial (Klijn et al., 2005).

El proyecto SCENAR2020 (Scenario study on agricultura and the rural world) es muy similar en términos de modelos intersectoriales. El marco del modelo se construye bajo tres modelos económicos (LEITAP, ESIM -European Simulation Model- y CAPRI -Common Agricultural Policy Regionalised Impact-), un modelo ambiental (IMAGE), y también el modelo CLUE-s para asignar los uso de la tierra a nivel espacial (Comisión Europea, 2007).

Para SENSOR - SIAT el modelo NEMESIS -New Econometric Model of Evaluation by Sectoral Interdependency and Supply- proporciona predicciones futuras en el uso del suelo a nivel de país y otros modelos trabajan a nivel NUTS -Nomenclature of Units for Territorial Statistics-. El modelo Dyna-CLUE se utiliza para cerrar la brecha entre los resultados de NEMESIS y los requisitos de entrada de CAPRI y EFISCEN -European Forest Information Scenario-, y proporcionar más información para los indicadores de impacto en la sostenibilidad. El modelo Dyna-CLUE desagrega las demandas de uso del suelo por país, analizado en NEMESIS, en una malla de 1x1km, incorporando también políticas espaciales (Jansson et al., 2008).

El proyecto PRELUDE - Prospective Environmental analysis of Land Use Development in Europe-, usa el modelo METRONAMICA (Van Dendel et al., 2005), que incorpora varios modelos de simulación que están vinculados con el software Geonamica. METRONAMICA es un modelo espacial-dinámico de uso de suelo que define el potencial de cambio de uso del suelo en el futuro teniendo en cuenta las demandas de varios sectores.

2.7 Proyectos europeos de generación de escenarios de usos de suelo

Existe un abanico de proyectos de los distintos modelos sobre el cambio en la cobertura y el uso de suelo, diversos enfoques en la generación de escenarios que incluyen, o no, la participación de los interesados en el desarrollo de los mismos. Existe un gran número de proyectos de investigación dentro de los Programas Marco de la Comisión Europea que se centran en los sistemas de uso de la tierra, los cambios, la vulnerabilidad y los impactos de estos cambios.

El objetivo general de estos proyectos es por lo general centrarse en el análisis de los cambios de uso del suelo y sus posibles impactos ambientales, como la urbanización, el abandono de las tierras, la desertificación y la deforestación. Además, se han analizado diversos indicadores, entre otros, las tierras de cultivo para biocombustibles, la biodiversidad, el secuestro de carbono, la degradación del suelo, el empleo en la agricultura.

2.7.1 Estudios recientes de escenarios

Dependiendo del objetivo específico del proyecto, las principales fuerzas motrices son identificadas teniendo en cuenta los impactos sobre uso de la tierra y el cambio de la cobertura de suelo. Estos motores cubren una gama de factores socioeconómicos y biofísicos, incluyendo las tendencias demográficas, la ordenación del territorio, los patrones de políticas agrícolas, los cambios climáticos y la tecnología. El marco DPSIR (Driver, Pressure, State, Impact and Response) (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos –OCDE-, 1994; EEA, 1998) representa la idea que podemos distinguir entre las fuerzas motrices (D) que afectan al sistema de uso de la tierra por las llamadas presiones (P) que afectan a su estado en términos de bio-físicos y socio-económicos (S). Esto puede ser visto como el impacto (I), que tiene que ser evaluado por la sociedad y que conlleva a las intervenciones de política (R). Este marco se ha aplicado con frecuencia en estudios de escenarios de cambio de cobertura y uso del suelo, como en EURURALIS (Klijn et al., 2005), PRELUDE (Volkery, et al., 2008), SENSOR (Helming, et al., 2008.), todos con el propósito de identificar las principales fuerzas motrices que inducen al cambio.

En cuanto a los estudios de escenarios, el marco del IPCC-SRES (Intergovernmental Panel on Climate Change-Special Report on Emissions Scenarios) (Nakicenovic, et al., 2000) es bien aceptada por las comunidades política y científica, y cubre una amplia gama de las principales fuerzas motrices de emisiones futuras, desde aspectos demográficos hasta cambios tecnológicos y de desarrollo económico. El ATEAM (Schröter et al., 2004), PRELUDE y EURURALIS siguen los escenarios de referencia del IPCC-SRES.

En el proyecto ATEAM – Advance Terrestrial Ecosystem Analysis and Modeling (FP5), los escenarios del proyecto interpretan los escenarios de referencia del SRES para Europa. Desarrolla un conjunto de escenarios de usos del suelo y de deposición de nitrógeno vinculados al clima y a la socio-economía, derivados de las líneas de historia. Los escenarios de uso de la tierra fueron construido para los escenarios de mayor prioridad (A1) y de prioridad media (A2), basado en una interpretación de los cuatro escenarios de referencia del SRES. La interpretación incluye la definición de la gama de fuerzas motrices para cada tipo de uso del suelo en Europa (Schröter et al., 2004).

El proyecto ATEAM tuvo como objetivo evaluar la vulnerabilidad de los sectores humanos dependientes de los servicios de los ecosistemas con respecto al cambio global. El proceso de evaluación del ATEAM estuvo caracterizado por una colaboración permanente con las partes interesadas. El propósito de este diálogo era el de facilitar una evaluación más apropiada de la vulnerabilidad, y producir resultados que informaran sobre la toma de decisiones de las partes interesadas. Los grupos de interés participaron en una serie de actividades, así como, los talleres que se organizaron para comunicación y para iniciar las conversaciones entre los actores incluyendo entrevistas y cuestionarios, identificando diversas las necesidades, entre ellas la de la popularización de la información científica.

El proyecto EURURALIS ha utilizado como punto de partida de la IPCC-SRES, y varios proyectos relacionados, como ATEAM. Bajo este enfoque se construyeron cuatro escenarios: A1- economía global, B1 - cooperación global, A2 - mercados continentales, y B2 - comunidades regionales (Figura. 2.8). El eje vertical representa el enfoque global contra un enfoque regional y la eje horizontal representa un mercado abierto en contraposición con el niveles altos de intervención y regulación de los gobiernos (Klijn et al., 2005).

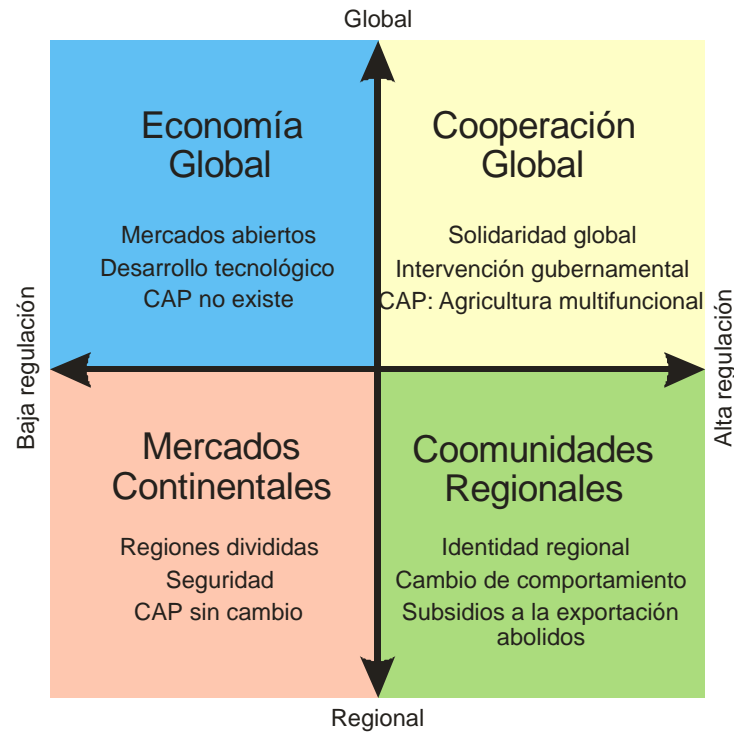


Figura. 2.8 Escenarios EURURALIS (Fuente: Klijn et al., 2005)

En el proyecto PRELUDE, algunos de los parámetros se han cuantificado a partir de los parámetros del IPCC-SRES o basados en los estudios de escenarios ATEAM. Sin embargo, cuando las descripciones de las partes interesadas no estaban bien ajustadas con el IPCC-SRES, los parámetros fueron ajustados en base a la opinión de los expertos, a los datos observados en el pasado y las tendencias recientes (Volkery, 2008).

En el proyecto PLUREL -Peri-urban Land Use Relationships - Strategies and Sustainability Assessment Tools for Urban-Rural Linkages- (Zasada, et al., 2007) el enfoque FoPIA (Marco para la Evaluación Participativa del Impacto) también fue utilizado, pero desde el punto de vista metodológico se basó en el análisis de multi-criterios. En este proyecto regional todos los interesados, incluidos los investigadores y los profesionales, estuvieron involucrados.

En el caso de PRELUDE (EEA, 2006) un grupo diversificado, compuesto por una treintena de especialistas, participaron en el desarrollo de escenarios con participación de investigadores, representativos de grupos de interés y público en general. Diferentes intereses y puntos de vista fueron incluidos. Los grupos de interés, modeladores y expertos participaron en un

proceso interactivo y creativo que proporcionaría el insumo inicial en el desarrollo de escenarios. Este proceso implicó el desarrollo de las líneas de historias cualitativas basadas en debates exhaustivos sobre las principales incertidumbres y las principales fuerzas motrices subyacentes.

En el proyecto SENSOR, tres escenarios de referencia se han desarrollado: un escenario de referencia, que es en gran parte “business as usual”, pero con ajustes basados en juicios de expertos y dos escenarios contrastantes de tasas de crecimiento altas y bajas (Helming, et al., 2008).

También en el proyecto SENSOR, fue desarrollado un Marco para la Evaluación Participativa del Impacto (FoPIA) (Morris et al., 2008), involucrando a los interesados a nivel nacional, regional y local para la evaluación de los impactos de las políticas de uso del suelo. Este marco fue estructurado en torno al mismo marco lógico que define los parámetros de diseño del modelo del marco DPSIR. El enfoque FoPIA apoyó discusiones entre las partes interesadas, actores clave y tomadores de decisiones, proporcionando un espacio de discusión para el intercambio de conocimientos y también, con el objetivo de producir conocimiento sobre las posibles aplicaciones y consecuencias de los cambios de política propuestos. Este marco abarcó cinco talleres: refinación de los escenarios, análisis de los criterios para la definición de escenarios, evaluación del impacto, los límites de la sostenibilidad, y, finalmente, el análisis de los criterios (Helming et al., 2008).

2.8 Modelos de cambio de cobertura y uso del suelo

2.8.1 Opciones de los modelos

La elección del modelo depende básicamente de las preguntas que la investigación debe responder y de la información disponible. En primer lugar, es importante definir los principales criterios para la selección del modelo de uso del suelo. Los modelos espacialmente explícitos fueron identificados a través de la revisión bibliográfica. A pesar de numerosos modelos fueron identificados, esta revisión se centra sólo en modelos que tengan en cuenta los siguientes criterios:

- El modelo debe ser espacialmente explícito, los cambios de uso del suelo deben estar representados espacialmente al menos en una malla de 1x1 kilómetros.
- El modelo debe ser capaz de predecir, al menos hasta el 2050 en el futuro, capturar diapositivas de tiempo, temas y fuerzas motrices con el fin de implementar y evaluar el impacto de múltiples tipos de escenarios y comparar los resultados.
- El modelo debe ser elegido teniendo en cuenta los datos disponibles para Europa.
- El modelo debe ser capaz de simular y analizar varios tipos de uso del suelo.

Los modelos de usos del suelo identificados y presentados a continuación cumplen todos estos requisitos. El siguiente paso es comprobar las principales funciones de cada modelo con el fin de seleccionar al mejor candidato para el desarrollo de los escenarios de uso del suelo espacialmente explícitos.

La revisión resume varios de los principales modelos espacialmente explícitos que explican las causas y consecuencias de la dinámica del uso del suelo y que se utilizan actualmente para predecir el cambio del uso del suelo.

2.8.2 Land Change Modeler (Eastman, 2006)

El Land Change Modeler (LCM) para la sostenibilidad ecológica de IDRISI es un modelo de análisis del cambio en la cobertura y uso del suelo y también de predicción. Este modelo proporciona un completo análisis de los cambios en el suelo mediante la creación de mapas y gráficos del cambio del suelo, transiciones y tendencias de los tipos de suelo. En cuanto al módulo de predicción, este modelo es capaz de crear escenarios de cambio del uso del suelo con la integración de los factores biofísicos y socioeconómicos que influyen en el cambio de uso de la tierra. Por lo general, los factores biofísicos integrados en el modelo son tipo de uso del suelo, la altitud, la pendiente (derivada de los modelos digitales de elevación-MDE), y características hidrológicas (distancia a los ríos y lagos). En cuanto a los factores socio-

económicos, el modelo podría utilizar la infraestructura (carreteras) y la demografía (Oñate-Valdivieso y Bosque Sendra, 2010).

Después de haber especificado las variables que impulsan el tipo y transición a llevarse a cabo, el modelo predecirá, para el futuro especificado la asignación espacial de los cambios en la cubierta del suelo. El LCM también incluye las regulaciones de zonificación del territorio, restricciones o incentivos, como nuevas infraestructuras planificadas o planificación de corredores con el fin de hacer el modelo más completo.

En varios estudios se utilizó este modelo para predecir la dinámica de cambio del suelo. En Bolivia, LCM se implementó para estudiar el impacto del desarrollo de carreteras en el uso del suelo y la conservación de la biodiversidad (Oñate-Valdivieso y Bosque Sendra, 2010). En este estudio las carreteras puede crecer sobre la base de las proyecciones del cambio de cobertura del suelo y la información de las carreteras se retroalimenta de nuevo en la predicción del cambio de la tierra. En Madagascar, la LCM fue utilizado para identificar un conjunto de fuerzas motrices que pueden influir en los patrones espaciales de conversión agrícola (Jiang, 2007). El LCM se utilizó también para analizar el cambio del uso del suelo en México, a través de una matriz de transición de clase, construida con técnicas de regresión para entender las ganancias y pérdidas del de uso del suelo en los bosques (Jaimes 2008).

La principal ventaja de este modelo es la sencilla interfaz que puede ser utilizado como una herramienta de apoyo para la evaluación del impacto en el hábitat y la biodiversidad. El resultado proporciona una serie de escenarios espaciales explícitos y mapas de vulnerabilidad. Los mapas de vulnerabilidad son generalmente elegidos para la evaluación del impacto de uso del suelo, ya que provee análisis integrales del potencial de cambio. Una herramienta de validación está disponible también para evaluar la calidad del mapa de predicción en relación con un mapa de la realidad.

2.8.3 CA_Markov (Eastman, 2009)

CA_Markov es un procedimiento de predicción del cambio del uso del suelo que utiliza la combinación de Autómatas Celulares / Cadenas de Markov. Añade un elemento de contigüidad espacial, así como el conocimiento de la probable distribución espacial de la

transición al análisis del cambio de Markov. Los componentes celulares-autómata permiten que las probabilidades de transición de un píxel sean una función de los píxeles vecinos (Eastman, 2009).

El CA_Markov puede simular cambios de predicción de varias clases de transición. La cadena espacio-temporal de Markov se puede utilizar para cuantificar la cantidad de cada categoría en el paisaje. Por lo tanto, la ubicación de la transición el cambio se basa en mapas de aptitud y la regla contigüidad (Pontius, et al., 2005). El mapa de vulnerabilidad para cada transición se construyen a través de la Evaluación Multi-Criterio EMC o el método de regresión logística, e incluyen variables de vulnerabilidad al cambio (por ejemplo, la pendiente, la altitud, la hidrología) que describe la capacidad natural de la tierra para apoyar la transición en cuestión y las fuerzas motrices (por ejemplo, infraestructura) que captura de los aspectos históricos que establecen que a algunos lugares sean más propensos al cambio que otros (Eastman, 2005). La regla de contigüidad tiene su efecto en la predicción del crecimiento de una categoría cerca de los lugares en la categoría ya existe, por ejemplo un píxel que está cerca de una zona urbana es más probable para convertirse en un píxel urbano que un píxel que está más lejos.

En Mississippi Delta, EE.UU., el modelo CA_Markov se utilizó para modelar las tendencias del pasado, crear escenarios futuros de cobertura del suelo y examinar las respuestas de las transiciones costeras al aumento del nivel del mar y evaluar la eficacia de los esfuerzos de gestión (Shirley y Battaglia, 2008).

2.8.4 CLUE (Conversion of Land use and its Effects)

El modelo CLUE es una herramienta para comprender mejor los patrones de uso del suelo y explorar posibles cambios futuros en el uso del suelo a escala regional. La metodología integra el análisis espacialmente explícito de las relaciones entre el uso del suelo y sus fuerzas motrices a una técnica dinámica de simulación para explorar los cambios en el uso del suelo bajo los supuestos de los escenarios.

La estructura del modelo CLUE incluye dos versiones diferentes. El modelo CLUE ha sido desarrollado para aplicaciones a nivel continental / mundial. Utiliza datos “soft” cuando los

datos de alta resolución no están disponibles, lo que suele ocurrir en las áreas extensas. El modelo CLUE-s (Verburg y Overmars, 2007) se basa en datos de alta resolución en donde cada píxel sólo contienen un tipo de uso de suelo. Este modelo ha sido utilizado principalmente en estudios de casos nacionales con extensiones locales a regionales, y, recientemente, también es posible simular el cambio de uso del suelo en alta resolución para áreas más grandes.

La ubicación del uso del suelo se basa en una combinación de la vulnerabilidad del sitio en sí y la ventaja competitiva de los diferentes tipos de uso de suelo, que es una función de la demanda. La demanda es proporcionada por los modelos exógenos y puede basarse en diferentes técnicas que van desde simples extrapolaciones de las tendencias hasta avanzadas modelaciones multi-sectorial (por ejemplo EURURALIS y SENSOR). Los datos de entrada suministrados a la configuración del modelo son las políticas de ordenación y las limitaciones incluyendo los parques, áreas protegidas y zonas agrícolas; la sucesión de la transición de uso del suelo; la demanda de uso de la tierra, que incluye las tendencias históricas, escenarios y, finalmente, la características del suelo, ubicación, accesibilidad, etc. (Verburg y Overmars, 2007).

Este modelo es uno de los modelos de asignación del suelo más utilizado en el mundo con aplicaciones en diferentes regiones y diversa extensión. El modelo CLUE-s se utiliza para diferentes propósitos, tales como agricultura, deforestación y análisis urbano.

El modelo CLUE-s fue utilizado en varios proyectos como el proyecto EURURALIS y SENSOR como un modelo de asignación de tierras para definir los posibles cambios futuros en el uso del suelo teniendo en cuenta las demandas de los diferentes sectores (por ejemplo, agricultura y economía).

2.8.5 METRONAMICA

METRONAMICA es un modelo de uso del suelo espacio-dinámico desarrollado para analizar los efectos de escenarios políticos alternativos en la calidad del contexto socio-económico y físico en ciudades, regiones o países causados por desarrollos autónomos, factores externos y medidas políticas. El sistema crea los mapas de uso del suelo año tras año, así como

indicadores espacialmente explícitos económicos, ecológicos, y sociales representados en alta resolución espacial. La principal característica de METRONAMICA es la integración a tres niveles geográficos:

- El nivel global (una entidad administrativa o física): se refiere a las tendencias globales de crecimiento de la población, las actividades por sector económico, y la expansión de determinados usos del suelo naturales.
- El regional (pueden ser entidades administrativas o físicas dentro del nivel global): el crecimiento nacional se extenderá por toda la zona modelada, a continuación, asignará las diferencias interregionales de las actividades y los residentes basada en el atractivo relativo de cada región.
- El local (muchas unidades celulares dentro de cada entidad regional): en consecuencia, las demandas regionales se asignan a los mapas de uso del suelo por medio del uso del suelo basado en autómatas celulares. Los cambios en el uso de la tierra a nivel local son impulsados por cuatro factores importantes (Van Delden, et al., 2005):

La idoneidad física, es el grado en que la célula está en condiciones de soportar una función particular de uso de la tierra y la actividad económica o residencial asociada para la actividad particular.

La zonificación o adecuación institucional para la planificación de diferentes períodos especificando qué áreas son permitidas o restringidas por un uso de suelo en particular.

La accesibilidad es una expresión de la facilidad con que una actividad pueda cumplir con sus necesidades de transporte y movilidad en una celda en particular basada en el sistema de transporte.

Los efectos dinámicos de los usos del suelo en el área que rodea un lugar. Para una función de uso del suelo, un conjunto de reglas de interacción espacial determina el grado en que son atraídos o repelidos por las otras funciones presentes en su entorno. Si el atractivo es lo suficientemente alta, la función será tratar de ocupar el lugar, si no, se buscan lugares más atractivos.

El modelo METRONAMICA se ha utilizado en varios proyectos a nivel europeo, por ejemplo para EEA-PRELUDE. METRONAMICA también fue utilizado como apoyo a la formulación de

políticas, para explorar el impacto de escenarios de uso del suelo en Europa. Hay varios proyectos de la Unión Europea y no Unión Europea que aplican METRONAMICA como un modelo de asignación de uso del suelo integrado.

El MoLAND (JRC) -Monitoring Land Use/Cover Dynamics-Joint Research Centre- fue desarrollado para simular el desarrollo urbano y regional futuro basado en regulaciones de zonificación y políticas, la accesibilidad y adecuación, para supervisar el la sostenibilidad y la adaptación a los riesgos naturales. Este modelo integra METRONAMICA como un modelo de uso del suelo con los modelos de otros sectores (económicos, demográficos y de sub-sistemas transporte). El modelo MoLAND ha sido aplicado a una amplia red de ciudades y regiones, contribuyendo por ejemplo a la evaluación y el análisis del impacto de eventos climáticos extremos (Genovese, 2006) y analizar las zonas de desarrollo urbano y la demanda económica de la región turística europea a través de escenarios del cambio de uso del suelo.

El Modelo Integrado de Evaluación DeSurvey (IAM, proyecto EC FP6 - European Commission, Sixth Framework Programme-) es un marco para desarrollar sistemas de apoyo a las políticas con el objetivo de apoyar a los planificadores y formuladores de políticas que acuerdo con el desarrollo regional y la desertificación. Este modelo se utiliza para la evaluación del impacto de diversos factores externos y medidas políticas. Este modelo mejora los anteriores proyectos de la UE tales como el MODULUS y contiene 20 modelos integrados, con diferentes escalas espaciales y temporales (por ejemplo, clima, la hidrología, la gestión del agua, la erosión, la salinización, el crecimiento de vegetación, uso de la tierra, la macroeconomía, la elección de cultivos, riego). Al igual que en los proyectos anteriores, METRONAMICA se integra como un módulo de uso del suelo para asignar la demanda de uso de la tierra en el mapa de uso del suelo.

El proyecto LUMOCAP fue desarrollado conjuntamente por el JRC, KU Leuven, IUNG, Instituto de Investigación de Sistemas de Conocimiento-RIKS Países Bajos. El modelo dinámico de cambio de uso de suelo para la PAC tiene como objetivo evaluar los diferentes escenarios políticos impactarán en el uso del suelo y el paisaje en los 27 Estados miembros de la Unión Europea. El LUMOCAP PSS consiste en una selección de modelos relacionados en

un único modelo integrado que integra factores biofísicos y socio-económicos. En LUMOCAP, el modelo de uso del suelo es también METRONAMICA utilizado para asignar las demandas de uso del suelo a partir del modelo de interacción espacial a nivel NUTS 2 (Van Delden, et al., 2010).

2.9 Datos generales necesarios para la modelación

a) Cambio de la cubierta y uso del suelo

- Proyecciones geográficas de la información de la cobertura y uso del suelo (líneas base: dinámica del desarrollo urbano, industrial, agricultura de regadío y de secano, áreas semi-naturales y áreas naturales forestales / no forestales)
- Proyecciones geográficas de áreas legalmente protegidas
- Proyecciones geográficas históricas (a partir de datos históricos)

b) Ambiental

- El clima (precipitación, temperatura, radiación, humedad relativa, etc.)
- Datos topográficos (altitud, pendientes y orientaciones)
- Suelos (carbono orgánico del suelo, fertilidad, textura, etc.)
- Transporte de nutrientes
- Degradación de los recursos: suelo, agua (superficial y subterránea), aire

c) Económico

- Estructura de la producción multisectorial (economía en su totalidad, no sólo los sectores agrícolas)
- Usos de los insumos (tecnología, insumos agroquímicos, mano de obra, maquinaria, riego)
- Precios, subsidios e impuestos (a nivel provincial o nacional)
- Infraestructura (energía, transporte y comunicaciones). Dos aspectos: la ubicación física y la tasa de uso.

d) Social

- Censo de población y los patrones espaciales

- La distribución del ingreso
- Migraciones
- Aspectos institucionales (tenencia de la tierra, derechos de agua, acceso a las tierras comunales, etc.)
- Salud (distribución de la relación real / potencial de enfermedades)

e) Factores multinivel (local/global)

- Crecimiento demográfico, cambio en la estructura poblacional y la migración
- Demanda de energía, productos y servicios (patrones de consumo, turismo)
- Estilos de vida y las interacciones urbano-rurales
- Fenómenos extremos y variabilidad en las condiciones biofísicas
- Fuerzas macroeconómicas
- Políticas y directivas nacionales
- Fuerzas externas (globalización, regímenes comerciales, acuerdos internacionales)

2.10 Análisis de los patrones de uso del suelo con el método LEAC

Los patrones de uso del suelo podrían ser analizados a través de la metodología contable de uso del suelo desarrollado por la EEA y ETC-LUSI (European Topic Centre on Land Use and Spatial Information). Desde el año 2002, ETC-LUSI, junto con la EEA, ha estado trabajando en una metodología contable para el uso del suelo y el ecosistema, el método de LEAC. El reporte de la EEA (nº 11/2006) "Land accounts for Europe LEAC 1990-2000", presenta la primera aplicación de este método, demostrando una caracterización detallada (incluidos cálculos cuantitativos) de los mayores patrones y cambio del uso del suelo en la UE – Coberturas urbana, agrícola, forestal y semi-naturales.

El método LEAC se basa en los conceptos de las reservas y flujos en las cuentas convencionales. El enfoque clave de la contabilidad de la cobertura del suelo es la comprensión de la forma en que las reservas de diferentes coberturas de suelo y usos se

transforman con el tiempo. Las transformaciones se clasifican en 50 tipos de flujos de la cubierta terrestre (Ver anexos).

ETC-LUSI ha desarrollado diferentes herramientas para consultar los datos de cobertura del suelo y los cambios de ocupación del suelo en dos períodos diferentes (1990 y 2000, 2000 y 2006). Estas herramientas trabajan con una base de datos On-line Analytical Processing (OLAP), accesible a través de Internet. La base de datos está estructurada de acuerdo a un enfoque multi-dimensional para la recuperación de la cobertura del suelo con diferentes unidades de información analítica (LARU), sin embargo el sistema no está cerrado a otro tipo de datos (población, protección de la naturaleza, transporte, activos de agua). La herramienta LEAC permite un eficiente procesamiento, una recuperación de datos a escala continental y llevar a cabo consultas espaciales directamente (sin SIG). En esta etapa LEAC incluye tipos de datos de coberturas, pero con la posibilidad teóricamente ilimitada de incluir otros temas, como las áreas de las diferentes tasas de productividad primaria y las áreas con diferentes grado de riqueza de hábitat, entre otros.

Las cuentas de uso del suelo pueden potencialmente ser utilizadas para ayudar a explorar cuestiones clave relacionadas con preguntas sobre el desarrollo sostenible. En este contexto, las cuentas de cobertura del suelo puede proporcionar una imagen completa del cambio de la cobertura y del uso del suelo para cualquier región de Europa en la que información sobre las tendencias se pueden derivar y construir indicadores de cambio. Es una manera de estandarizar la clasificación de la cobertura del suelo, uso del suelo y las causas (fuerzas) de cambios en la cobertura y uso del suelo (EEA, 2006). El método LEAC se puede implementar tan pronto como dos pasos de tiempo de cobertura del suelo están disponibles para permitir una comparación cuantitativa.

2.11 Datos de ocupación del suelo

Como se mencionó anteriormente, el volumen de literatura sobre el análisis de cobertura del suelo y el mapeo del cambio es muy extensa, y especialmente bien desarrollado para niveles locales y regionales, por ejemplo, centrándose en los sitios, áreas de especial interés

o países enteros. Los estudios que aplican conjuntos de datos a nivel mundial o pan-europeos son menos comunes.

Por lo general el cambio de cobertura del suelo se puede expresar en términos del cambio neto por clase en las zonas midiendo el mayor o menor número de hectáreas. Las fuentes estadísticas de cobertura del suelo permiten la extracción de tales cambios netos por país o unidades administrativas más pequeñas en donde dichos datos se recogen.

2.11.1 Tipo de cobertura MODIS

La colección 5 de MODIS Global Land Cover Type MCD12Q1 (lanzado a finales del 2008) es una metodología mejorada de levantamiento de mapas mundiales utilizando los instrumentos MODIS-Terra y Aqua-MODIS. Se deriva del algoritmo original de MODIS con importantes mejoras, pero lo más importante es una mayor resolución espacial de 500 m (en comparación con el anterior 1 km). La colección 5 incluye una nueva definición de la clase urbana que fue producido independientemente del algoritmo principal utilizando métodos desarrollados específicamente para levantamiento de mapas mundiales de la cobertura del suelo urbano (Friedl et al., 2010). Los mapas anuales generados a través de la clasificación supervisada con un algoritmos base (un árbol de decisión), y las clasificaciones de conjunto se estiman permitiendo al algoritmo al derivar estimaciones de la clase condicional probabilidades para cada tipo de cobertura de suelo en cada píxel (Friedl et al., 2010). Se desarrolló un método también para estabilizar las variaciones de la clasificación de año a año. La validación cruzada evaluación de la exactitud indica una precisión de 75%, con una variabilidad sustancial en específico de la clase precisión (Friedl et al., 2010).

2.11.2 GlobCover y GlobCORINE

El GlobCover es el levantamiento de mapas mundiales más recientes (Ariño et al., 2008). Se trata de una iniciativa de la Agencia Espacial Europea (ESA), que fue lanzada en 2005. Está dirigido por un una red internacional de asociados, entre ellos el EEA, la FAO, GOF-C-GOLD, IGBP, JRC, y El PNUMA. El mapa GlobCover se produce en una resolución de 300 m (el global más detallado mapa hasta ahora) a raíz de la FAO y PNUMA sobre el esquema LCCS -Land

Cover Classification System-, y el uso de ENVISAT-MERIS -Environmental Satellite - Medium-spectral resolution, imaging spectrometer- imágenes del 2005 y 2006 como entrada. Un gran esfuerzo se hizo para mejorar la exactitud de los datos de geo-localización de MERIS. Una precisión superior a 150 metros fue solicitada por la comunidad científica y, en consecuencia, se puede utilizar GlobCover con MERIS sólo si tal exigencia es satisfecha.

GlobCorine fue derivado de las mismas entradas aplicadas a GlobCover pero forzando todo a otro esquema de clasificación, uno de ellos adaptado de acuerdo con la cobertura del suelo del proyecto europeo CORINE. Se ha producido con una cobertura paneuropea (publicado en mayo de 2010) para ese mismo período 2005-06 y con la misma resolución espacial de 300 m. La verificación de la base de datos de GlobCorine se llevó a cabo sólo en Francia (sobre todo el territorio). La verificación se realizó por la interpretación visual comprobando las clases del Corine Land Cover (urbana, bosques, agricultura, humedales).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Metodología

Este capítulo describe la metodología seguida para la obtención de los escenarios futuros al horizonte planteado. Diversos modelos que pueden asistir en completar esta tarea se han descrito anteriormente, sin embargo el modelo utilizado en esta investigación es el Land Change Modeler (ver sección 2.8).

El modelo LCM se ha escogido porque presenta las siguientes características: es espacialmente explícito, dinámico, descriptivo, inductivo, basado en la resolución y de uso local-regional. Este modelo provee un conjunto de herramientas que permiten una cuantificación rápida del cambio, permitiendo generar evaluaciones y predicciones de las ganancias y las pérdidas, el cambio neto, la persistencia, las transiciones específicas en forma de mapas o gráficos.

3.1.1 Descripción de la metodología

El Cambio en la Cobertura y los Usos del Suelo (CCUS) es un proceso complejo y dinámico en el cual influyen gran cantidad de variables. La incorporación de todos los factores que influyen en el cambio o simplemente la transformación de un suelo en otro, o de su uso por otro, es una tarea que hasta hace muchos años se consideraba tediosa, casi imposible y de una escala local. El uso de las computadoras y de las imágenes satelitales, junto con el aumento del interés por todos los agentes que influyen en el cambio climático ha permitido desarrollar nuevas metodologías y modelos que permiten analizar los cambios, las transformaciones e incluso proyectar a futuro las tendencias actuales a nivel local, regional y global.

Para el análisis del cambio y la predicción se necesitan como mínimo dos mapas de cobertura/uso del suelo que pueden ser usados como base para el entendimiento de la naturaleza del cambio en la región de estudio y dictar las bases de las transiciones a ser modeladas. Los mapas de cobertura/uso del suelo deben ser imágenes con leyendas idénticas y de la misma extensión.

Existen dos tipos de análisis: modelación del cambio para determinar las principales causas que lo han determinado y modelación del cambio para tener una herramienta de proyección de escenarios futuros.

El modelo está organizado en tres tareas primarias: análisis de los cambios en la cobertura/uso del suelo pasados, modelado de las transiciones potenciales, y predicción del cambio de cobertura/uso del suelo en el futuro. Se ha decidido plantear dos modelos o fases:

- Modelo 1, que pretende validar la metodología propuesta por LCM con tres imágenes de la cobertura/uso del suelo clasificadas según el sistema Corine Land Cover: 1990, 2000 y 2006.
- Modelo 2, que realice la proyección de los escenarios futuros basada en el conocimiento del pasado reciente (2000-2006) y en los resultados de los escenarios de diversos proyectos europeos con horizonte al 2030.

En ambos análisis, como primer paso se deben analizar los factores que han inducido el cambio en el período de estudio. El conocimiento de las diversas disciplinas o la conformación de un equipo interdisciplinario que ayude en la determinación y simplificación de las variables es un paso necesario antes de proceder al modelado del cambio.

La estructura del modelo está dada por la incorporación y definición de todas las variables (fuerzas motrices) que influyen en el mismo. Se deben seleccionar aquellas variables que influyan más en la explicación de una determinada cobertura/uso del suelo, definir su dependencia del tiempo y tener claro el tipo de proceso que se lleva a cabo para influir en una determinada cobertura/uso del suelo. Debido a que existen muchas variables influyentes, y además interdependientes, es casi imposible modelar los procesos exactamente como pasan en la realidad. Los procesos económicos interactúan con los procesos sociales y ambos lo hacen con los procesos ambientales. Introducir simplificaciones dentro de la modelación para representar las tendencias de la mejor manera posible ha significado optar por un umbral de cambio que no comprometiera la precisión del modelo en detrimento del tiempo computacional al agregar mayor número de procesos (transiciones) y por tanto de incertidumbre.

Las suposiciones usualmente son una consecuencia de las limitaciones o vacíos que existen en la información disponible para representar una variable cualquiera. En el caso de las proyecciones a futuro, las suposiciones deben estar en concordancia con los diferentes escenarios a nivel global, regional y local hechos hasta el momento y aceptados por la mayoría de la comunidad científica a nivel mundial.

A partir de los resultados y líneas base, diversos escenarios futuros de proyectos europeos se analizan y cuantifican sus proyecciones en el área de estudio. La inclusión de estos análisis incorpora automáticamente las variaciones de mercado, políticas, economía, medio ambiente y demografía a futuro, así como de sus incertidumbres y suposiciones.

3.1.2 Metodología detallada

La siguiente metodología fue utilizada dentro de la presente investigación:

- Análisis histórico de los CCUS. A partir de imágenes CLC de 1990, 2000 y 2006 se medirán las diferencias en superficie de cada categoría, su evolución en el tiempo, y se identificarán y cuantifican las principales transiciones/conversiones en el área de estudio.
- Determinación del umbral de área para la modelación. El umbral permite controlar el proceso de modelación sin perder precisión en el mismo. Mediante comparación del número de procesos, el área mínima a modelar (umbral) y el porcentaje de cambio que representa una transición específica se escoge este valor.
- Caracterización de las transiciones mediante el método LEAC de flujos de suelo. LEAC describe las transiciones en función de los principales procesos que influyen en ellas o que mejor los describen permitiendo tener una mejor idea de las fuerzas motrices que inducen el CCUS.
- Identificación y selección de las principales fuerzas motrices. Esta tarea fue realizada mediante revisión bibliográfica, consulta a fuentes de información y juicio de experto.

- Preparación de los diferentes mapas (en formato raster) que representan las fuerzas motrices. Para esta tarea se trabaja con diferentes bases de datos, programas de hojas de cálculo y sistemas de información geográfica.
- Transformación de los mapas de las fuerzas motrices. La intención de esta actividad fue la de reducir al mínimo las diferencias entre extremos y ayudar a disminuir la desviación típica usualmente observada en los registros naturales.
- Selección de las fuerzas motrices que mejor explican los diferentes cambio en base a criterios estadísticos (Cramer $V > 0.15$).
- Generación de mapas de transición potencial. Estos mapas son generados a base de la localización espacial de la cobertura/uso del suelo mediante el entrenamiento de redes neuronales y autómatas celulares que miden la vulnerabilidad de cada pixel al cambio de acuerdo a lo que pasa a su alrededor.
- Generación de la matriz de transición. La matriz de transición determina la probabilidad que existe de cambiar de una cobertura a otra en un tiempo determinado. Esta puede ser generada de dos maneras: por modelos económicos (escenarios de proyectos europeos) o mediante las cadenas de Markov.
- Acoplamiento del Modelo 1: predicción y validación de la metodología. A partir del conocimiento histórico plasmado en las imágenes Corine Land Cover –CLC- de 1990 y 2000 se genera una imagen del uso del suelo en el 2006 y se compara con la imagen de referencia correspondiente del proyecto CLC.
- Acoplamiento del Modelo 2: predicción de escenarios futuros. A partir de las tendencias de los últimos años (2000 y 2006) se generan escenarios al 2010, 2020 y 2030 utilizando las tendencias de los resultados proyectados por los proyectos europeos.
- Valorar los cambios de uso de suelo en el escenario futuro comparándolo con la situación actual (cuantificación de los flujos).

- Valorar el impacto de los usos de suelo en el futuro (recursos hídricos y contaminación difusa por nitrógeno)

3.1.3 Supuestos y limitaciones

- La modelación depende en gran medida de los insumos que se le proporcionan. Debido a lo complejo de los procesos es muy difícil llegar a determinar todos los factores que condicionan el cambio de una cobertura a otra.
- El sistema de clasificación condiciona los procesos a modelar. A mayor número de clases, más inversión en la modelación. Es tarea del investigador encontrar en punto intermedio entre lo inútil de la simplicidad y lo absurdo de la complejidad que represente mejor la realidad.
- El indicador estadístico de Cramer V ha sido utilizado para determinar el grado de influencia que tiene una cierta variable sobre determinado proceso.
- Se asume que las redes neuronales suponen una mejor herramienta de aproximación que las regresiones lineales múltiples.
- Los escenarios de cambio climático no han influido en la matriz de transición final. Un estudio más detallado deberá incluir la influencia del cambio climático como limitante del modelo, el cambio en el régimen pluvial y de temperatura, la producción de CO₂, la producción de NO₂, población futura, etc. Incluidas en los diferentes escenarios futuros.
- Se asume que los escenarios de los proyectos europeos son confiables en sus resultados y proyectan los posibles escenarios de cobertura/uso del suelo a futuro producto de las influencias de la interacción de diversas fuerzas motrices a nivel global, pan-europeo y regional.
- Las fuerzas motrices identificadas en la literatura como las más influyentes son influyentes también en la zona del SMO. Esto aunque la variedad de estudios verifique que es veraz en otros sistemas, no necesariamente es válido para el nuestro y por tanto una validación es necesaria.

CAPÍTULO IV:
CASO DE APLICACIÓN:
SISTEMA DE LA MANCHA ORIENTAL

Caso de aplicación: Acuífero de la Mancha Oriental

En este capítulo se pretende predecir los usos de suelo a futuro creando escenarios hipotéticos basados en la literatura, y modelos basados en herramientas matemáticas que aplican la metodología descrita en el capítulo anterior. El acuífero de la Mancha Oriental ha sido escogido por ser un sistema en riesgo por la sobreexplotación a la que ha venido siendo sometido y los problemas derivados que se han producido en su entorno. Los escenarios de cobertura y uso del suelo en el futuro, espacialmente distribuidos, pretende incluir cambios desde una perspectiva holística y cuantificar los diferentes impactos del cambio global en los recursos hídricos, específicamente los subterráneos, y las consecuencias de las actividades humanas sobre el medio ambiente.

4.1 Descripción del Sistema de la Mancha Oriental

El acuífero de la Mancha Oriental (Unidad Hidrogeológica 08.29) se localiza en el extremo oriental de la Llanura Manchega y pertenece en su totalidad a la Cuenca Hidrográfica del Júcar (Figura 4.1). Se puede observar que la ubicación geográfica del acuífero está localizada en su mayor parte en la provincia de Albacete, estando parte de él en las provincias de Cuenca al Norte y Valencia al Este.

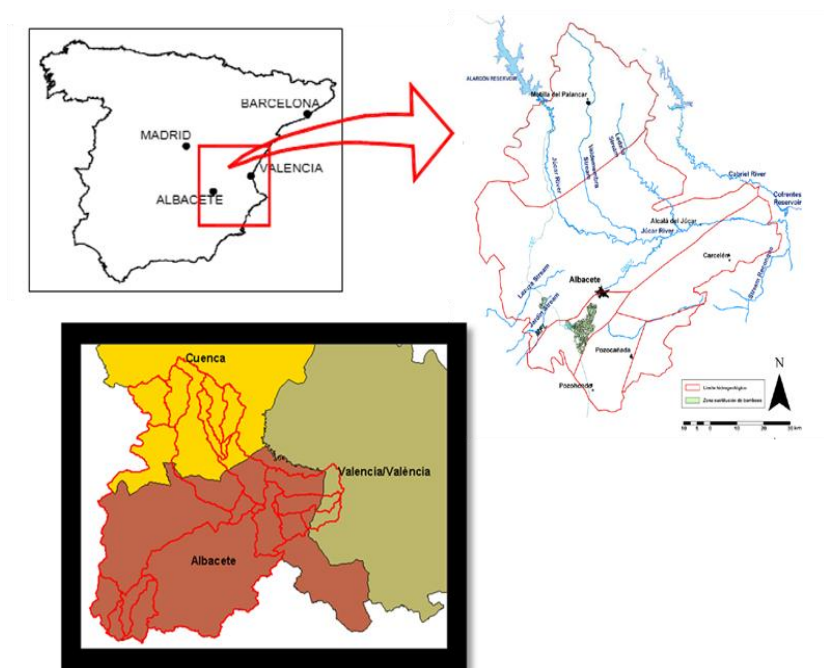


Figura 4.1 Plano de localización del acuífero de La Mancha Oriental.

Fuente: Pulido Velázquez, 2011

La superficie de dicho acuífero se estima en unos 7260 km². El desarrollo socioeconómico de la región durante los últimos 30 años se ha llevado a cabo gracias a la explotación intensiva de los recursos hídricos subterráneos para abastecer más de 70.000 ha de cultivos de regadío según datos de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ, 2006). Los bombeos de agua subterránea han provocado un continuado descenso de los niveles piezométricos, una reducción de la descarga del acuífero al río Júcar e impactos en las demandas aguas abajo.

Desde una perspectiva hidrogeológica el Sistema de la Mancha Oriental (SMO) está formado por la superposición de tres Unidades Hidrogeológicas (UH) acuíferas (UH2, UH3 y UH7), separadas por acuitardos/acuífugos que constituyen las UH6, UH5, UH4 y UH1. La UH8, compuesta por margas, arcillas y yesos conforma el impermeable de base y el límite suroeste del acuífero (Figura 4.2).

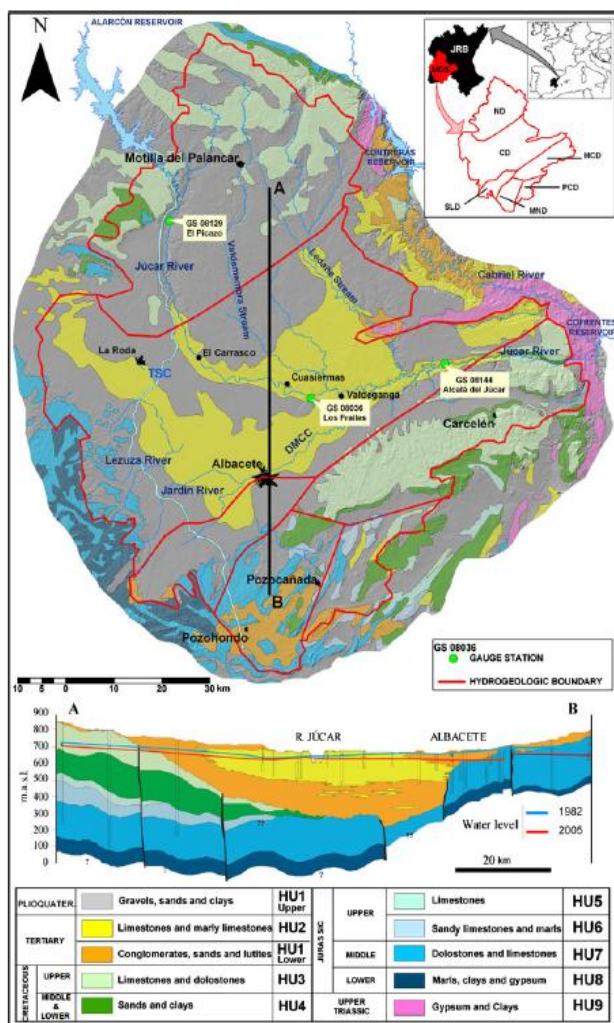


Figura 4.2 Mapa y corte geológico simplificado del SMO. DS: Dominio Septentrional; DC: Dominio Central; DSL: Dominio Salobral-Los Llanos; DMN: Dominio Moro-Nevazos; DPC: Dominio Pozo Cañada; DMC: Dominio Montearagón-Carcelén. Localización de estaciones de aforo (El Picazo, Los Frailes, Alcalá del Júcar). Fuente: Sanz et al., 2009

La UH7, presente en todo el SMO, está formada por calizas y dolomías fracturadas y karstificadas de edad Jurásico medio. Presenta una potencia que oscila entre los 100 y los 500 m. La UH3, que ocupa la mitad del sector nororiental del SMO, está constituida por calizas y dolomías fracturadas y karstificadas de edad Cretácico superior. Esta unidad tiene una potencia que varía entre 50 y 200 m. La UH2 se denomina tradicionalmente como Acuífero Mioceno Pontiense y está formada por una secuencia alternante de margocalizas y margas.

La figura 4.3 muestra la distribución espacial de las estaciones meteorológicas de las cuales se han obtenido los registros de temperatura y precipitación.

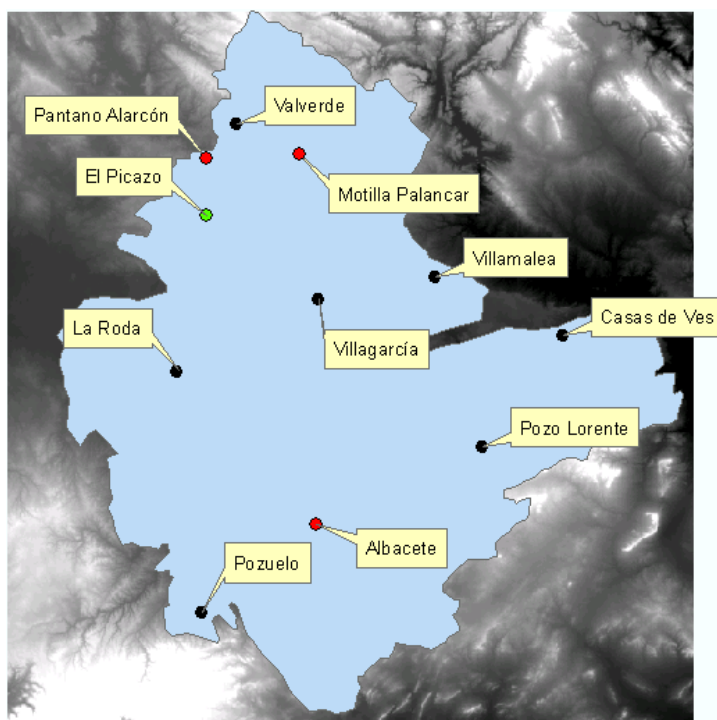


Figura 4.3 Ubicación de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio.
Fuente: Pulido Velázquez, 2011

Las temperaturas medias mensuales en la zona presentan las mismas variaciones estacionales en todas las estaciones meteorológicas que miden este parámetro. Los veranos tienen temperaturas máximas cercanas a los 35°C y los inviernos son fríos con temperaturas mínimas ligeramente por debajo de los 0°C en enero (Gráfico 4.1).

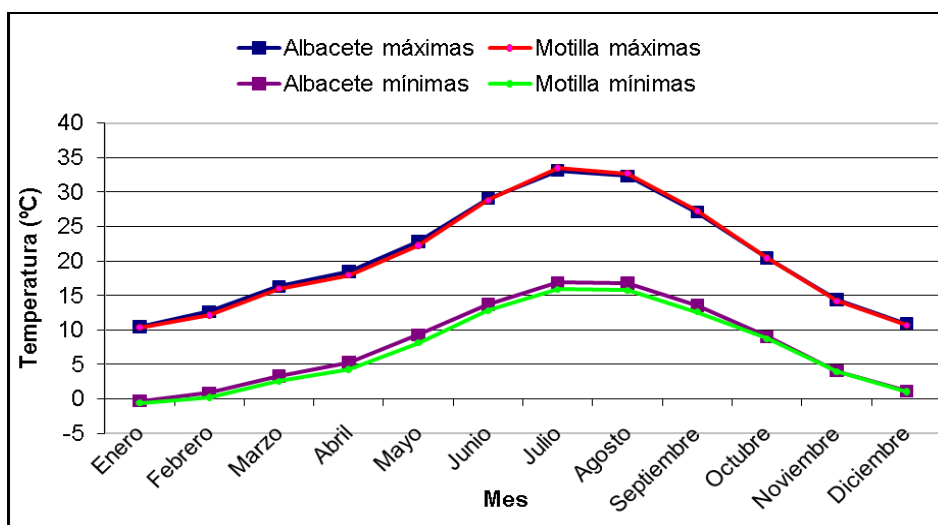


Gráfico 4.1 Temperaturas medias en las estaciones de Albacete y Motilla. Fuente: Pulido Velázquez, 2011

La precipitación muestra una mayor variabilidad que la temperatura en las dos estaciones escogidas (Gráfico 4.2), sin embargo ambas demuestran la estacionalidad de las lluvias, siendo más copiosas en los meses de noviembre y mayo (otoño y primavera), mientras que son escasas en febrero y julio (invierno y verano).

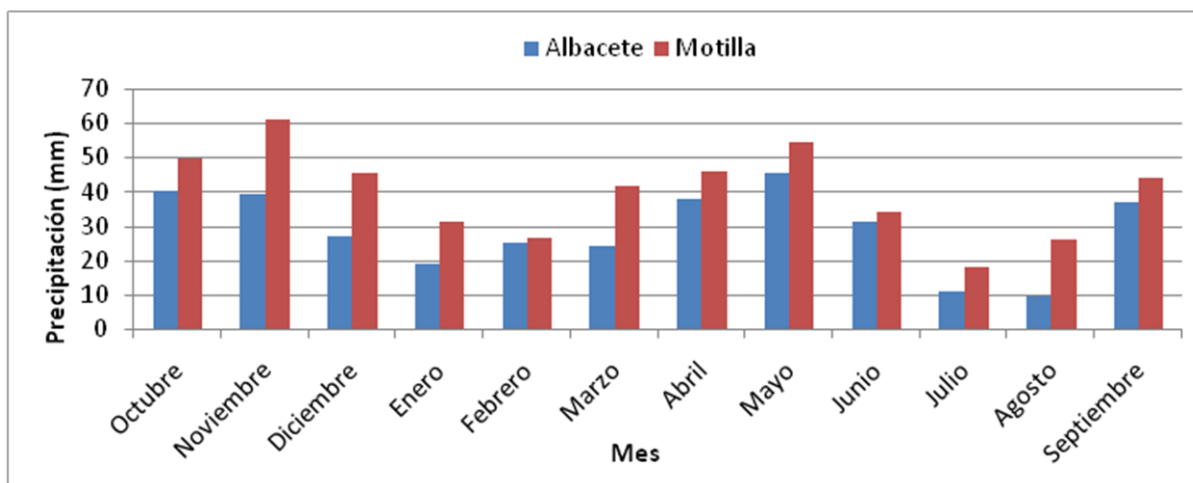


Gráfico 4.2 Precipitaciones medias en las estaciones de Albacete y Motilla. Fuente: Pulido Velázquez, 2011

La red hidrográfica superficial (ríos, lagos y embalses) con la delimitación del acuífero de la Mancha Oriental (línea negra) se muestra en la figura 4.4. Las estaciones de aforo con mayor número de registros continuos y su régimen de caudales desde 1988 hasta la actualidad se muestran en la Gráfico 4.3.

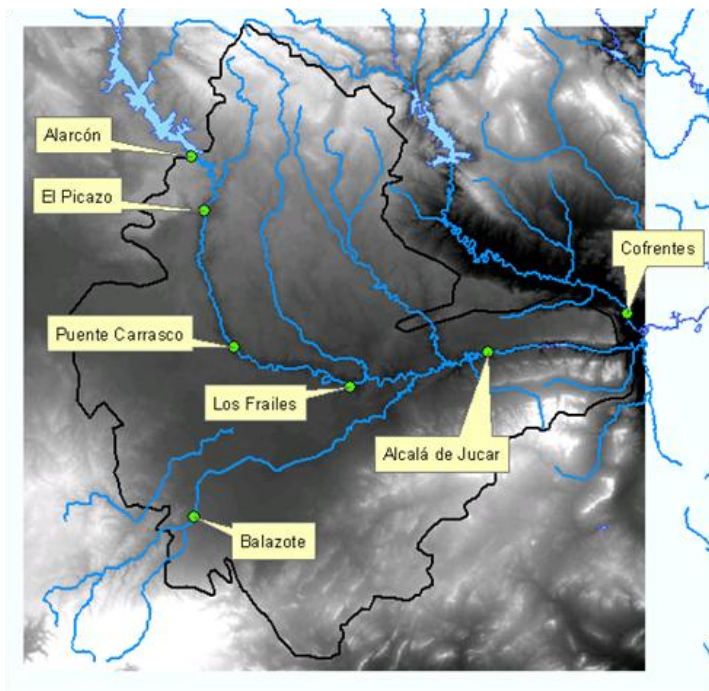


Figura 4.4 Red hidrográfica superficial sobre el acuífero de la Mancha Oriental y estaciones de aforo. Fuente: Pulido Velázquez, 2011

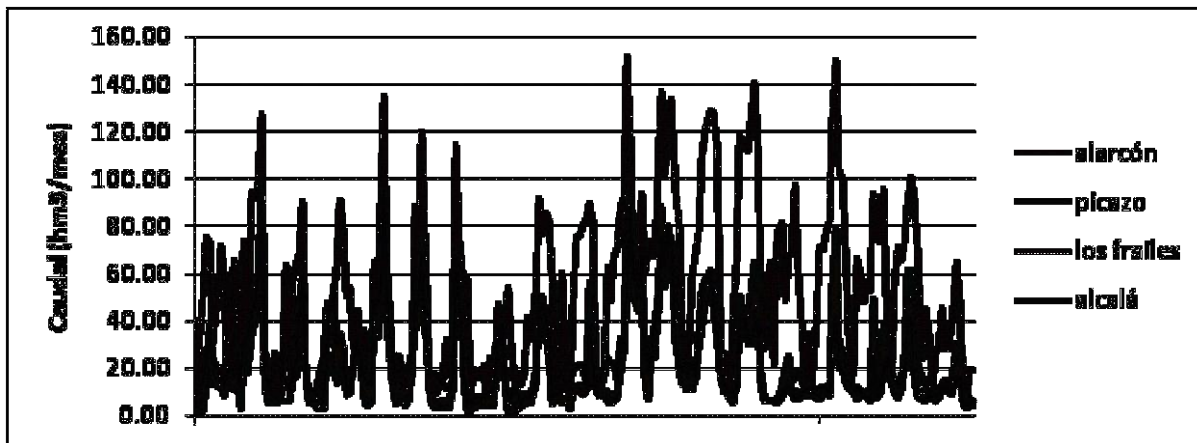


Gráfico 4.3 Registros de caudales en las estaciones de aforo indicadas – Período 1988 al 2006. Fuente: Pulido Velázquez, 2011

Una de las amenazas inminentes al acuífero es su sobreexplotación y la aplicación de fertilizantes en las tierras agrícolas, lo que ha provocado un deterioro en el estado químico del acuífero y el consiguiente aumento de niveles nitratos (CHJ, 2004; 2007). Esto ha llevado a declarar el acuífero como zona vulnerable a la contaminación por nitratos por el Gobierno de Castilla-La Mancha (DOCM, 1998).

La preocupación de cuantificar las futuras demandas y los impactos del aumento de los niveles de nitratos ha llevado a los investigadores a modelar el acuífero en su estado actual,

pero también a futuro, incluyendo los efectos del cambio global de manera de proponer recomendaciones que tiendan al manejo sustentable del SMO a largo plazo.

La generación de escenarios futuros de uso de suelo viene a complementar los esfuerzos de los científicos tratando de incluir todas cuantas fuerzas influyen en la dinámica de los procesos naturales y antropogénicos. Los escenarios de cambio climático, junto con los escenarios de uso de suelo y ayudados de herramientas de modelación hidrológica tanto superficial como subterránea, pretende formar una idea de los posibles escenarios globales y cuantificar las nuevas demandas o fuentes de contaminación para tomar medidas en la búsqueda de un desarrollo sostenible.

4.1.1 Fuentes de información (Datos disponibles)

Debido al gran número de fuerzas motrices que participan en el cambio de la cobertura y el uso del suelo se recopilaron datos de diversas fuentes:

- Instituto Nacional de Estadística (INE), del cual se obtuvieron las variables demográficas, económicas y agrícolas más importantes.
- Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), en donde se recopilaron mapas de las características biofísicas del sistema.
- Dirección General de Planificación Territorial, organismo encargado del Plan de Ordenamiento Territorial de Castilla La Mancha.
- El Instituto Geológico Minero de España (IGME), quienes tienen información detallada sobre la geología y litología de la zona en estudio.
- El Instituto Técnico Agronómico Provincial (ITAP), quienes mantienen un monitoreo constante de las necesidades de riego de los diferentes cultivos.
- Otras fuentes de referencia como los informes de los proyectos europeos ATEAM, HYDE, PRELUDE, LUCC, EURURALIS.

En relación con la cuantificación de las extracciones de aguas subterráneas, y gracias al avance en las técnicas de teledetección en las últimas décadas, se dispone del seguimiento temporal de las superficies de riego en el acuífero (Calera, 2010). Esto combinado con los

datos de dotaciones de riego que proporciona el Servicio de Asesoramiento de Riegos de Albacete (SARA), permite disponer de información contrastada de las extracciones de agua subterránea del sistema acuífero.

La geometría de las unidades acuíferas y sus parámetros hidrogeológicos, existen muchos estudios del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), la Dirección General de Obras Hidráulicas (DGOH) y la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) que quedan recogidos y sintetizados en el trabajo presentado por Sanz et al. (2009).

La distribución espacio-temporal de la recarga ha sido estudiada en detalle y se dispone de datos de recarga por infiltración de agua de lluvia procedente de los modelos SIMPA - Sistema Integrado de Precipitación Aportación- (Ruiz, 1999) e HydroMORE (Rubio et al., 2007).

Existen datos de alturas piezométricas en 154 pozos para el periodo comprendido entre 1975-2005. Sin embargo, los datos referentes a concentraciones de nitratos son muy escasos. También se dispone de las medidas de distintas estaciones de aforo en el Júcar proporcionados por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX, 2011).

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) dispone para la zona alrededor de 80 estaciones meteorológicas, las cuales miden valores diarios de: precipitación, temperatura, humedad, radiación, velocidad del viento. Para ser consistente con la estadística se han escogido solo aquellas estaciones que poseen 30 años o más de registros continuos.

Se dispone también de información sobre los requerimiento de agua para los distintos cultivos y el uso de fertilizantes, los precios de los cultivos y los costes de los agricultores proporcionados por el Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP, 2010).

4.2 Clasificación de la cobertura y uso del suelo

Para la descripción de las coberturas y usos del suelo en la zona del acuífero de la Mancha Oriental se ha optado por utilizar el sistema de clasificación del proyecto Corine Land Cover (CLC) –ver descripción lateral-. Su sistema de clasificación¹ es de uso muy extendido por toda Europa y posee compatibilidad con los sistemas SIOSE² y LUCAS³, además de la disponibilidad temporal (1990, 2000 y 2006) y una resolución espacial de 100 metros. La nomenclatura del proyecto CLC se divide en tres niveles (en España existe un cuarto nivel, pero que se ha obviado por la extensión de este estudio) de los cuales se han desagregado a nivel 3 las zonas agrícolas, a nivel 2 las zonas boscosas y semi-naturales, dejando agregadas el resto. Finalmente se han obtenido 15 categorías, como se aprecia en la tabla 4.1, con las que se basará la descripción de la zona del Sistema de la Mancha Oriental.

La figura 4.5, muestra la imagen CLC de España de 1990. A partir de esta imagen se ha aplicado una máscara (se ha recortado) obteniendo así la cuenca del SMO para este año específico y el mismo

Proyecto CORINE Land Cover (CLC)

El proyecto CORINE Land Cover (CLC), tiene como objetivo fundamental la captura de datos de tipo numérico y geográfico para la creación de una base de datos europea a escala 1:100.000 sobre la Cobertura y/o Uso del Territorio (Ocupación del suelo).

El proyecto se engloba dentro del Programa CORINE (Coordination of Information of the Environment), el cual se inicia El 27 de junio de 1985 en virtud de una decisión del Consejo de ministros de la Unión Europea (CE/338/85). El programa CORINE pasa en 1995 a ser responsabilidad de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA)

Debido a el seguimiento por parte de los países de la Unión Europea de una serie de directrices comunitarias (relativas especialmente a aspectos técnicos, como son la escala, resolución, nomenclatura, etc.) a la hora de realizar este proyecto, hoy se cuenta con información perfectamente comparable entre los países de la UE, habiéndose constituido en una herramienta fundamental para la política medioambiental y estadística en el ámbito europeo.

¹ El sistema de nomenclatura y sus definiciones fueron objeto de numerosas discusiones con expertos de los estados miembros y usuarios finales.

² Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE), dependencia del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

³ Land Use and Cover Area frame Survey (LUCAS) publicado por Eurostat.

procedimiento se ha seguido para las otras imágenes del 2000 y 2006 que han servido de base para el estudio con la clasificación mencionada.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Clase
Superficies artificiales	Todas (zonas urbanas continuas y discontinuas; parques comerciales, industriales y de transporte; minas, vertederos y sitios de construcción; áreas vegetales no agrícolas/artificiales)		1
	Zonas agrícolas	Tierras cultivables	Tierras de labor en secano
Terrenos regados permanentemente			3
Viñedos			4
Frutales			5
Olivares			6
Zonas agrícolas heterogéneas		Cultivos anuales asociados a cultivos permanentes	7
		Mosaico de cultivos	8
		Terrenos principalmente agrícolas, con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	9
		Sistemas agroforestales	10
		Bosques	11
Zonas forestales y áreas semi-naturales	Matorrales y vegetación herbácea asociada	12	
	Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación	13	
Humedales			14
Superficies de agua			15

Tabla 4.1 Nomenclatura CLC (nivel 1, 2 y 3) para describir la cobertura de suelo. Fuente: elaboración propia

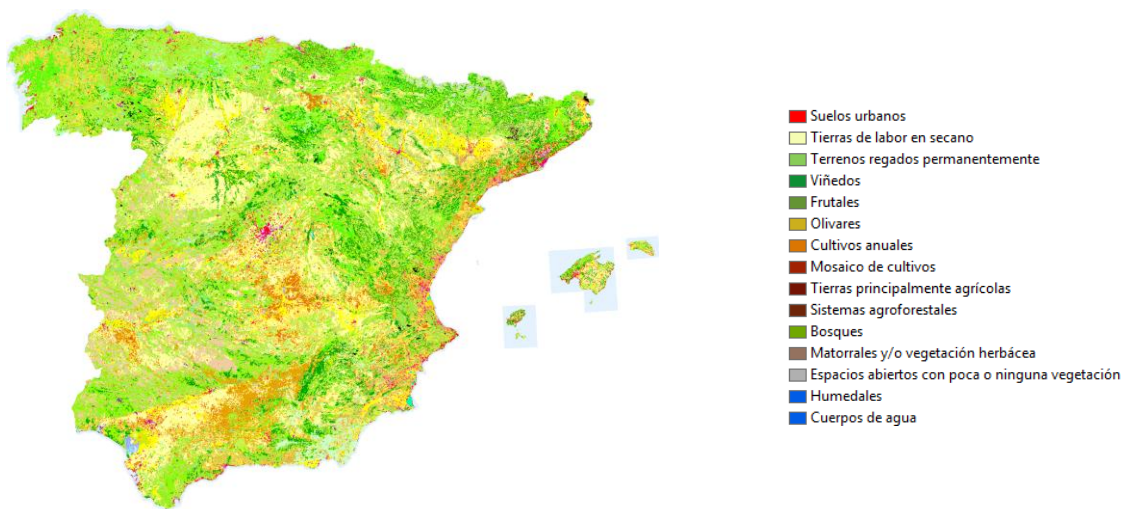


Figura 4.5 Mapa de España del Proyecto Corine Land Cover (CLC) correspondiente al año 1990

La menor unidad de área superficial representada en el proyecto CLC es de 25 Ha. En una escala de 1:100.000, 25 hectáreas es representado por un cuadrado de 5 x 5 mm o un círculo de 2.8 mm de radio.

4.2.1 Descripción de la Nomenclatura

a) *Superficies artificiales*

Las superficies artificiales representan todas las zonas cubiertas por edificios, caminos y superficies artificiales asociadas o no con superficies vegetadas (parques, jardines, cementerios, campos de juego, pistas de carreras); zonas industriales, vías férreas, autopistas e instalaciones asociadas (estaciones de servicio, plataformas, aeropuertos); sitios de extracción minera, depósitos de residuos o sitios en construcción.

b) *Áreas agrícolas*

Las tierras de labor en secano se refieren a todas aquellas zonas con cereales, leguminosas, cultivos de forraje, tubérculos y barbecho. Incluye flores y cultivo de árboles (infantes) y vegetales, tanto a cielo abierto como en invernaderos. Incluye también plantas aromáticas, medicinales y culinarias. No toma en cuenta los pastos permanentes.

Los terrenos regados permanentemente incluyen cultivos regados de forma permanente o periódica usando infraestructura permanente (canales de irrigación, redes de drenaje,

aspersores). La mayoría de estos cultivos no podrían ser cultivados sin aportaciones artificiales de agua. No incluye tierras esporádicamente irrigadas.

Los Viñedos son áreas cultivadas con viñas.

Los frutales incluyen parcelas cultivadas con árboles frutales o arbustos de una sola especie o mixta, árboles frutales asociados a con superficies cubiertas permanentemente de pasto. Incluye huertos de castañas y almendras.

Los olivares son áreas sembradas con olivos, incluyendo ocurrencia mixta de olivos y viñas en la misma parcela.

Los cultivos anuales asociados a cultivos permanentes son cultivos no permanentes (de tierras cultivables o pastizales) asociados con cultivos permanentes en la misma parcela.

Los mosaicos de cultivos son aquellas parcelas en las que existe una yuxtaposición de pequeñas parcelas de diversos cultivos anuales, pastizales o cultivos permanentes.

Los terrenos principalmente agrícolas con importantes espacios de vegetación natural son áreas principalmente ocupadas por agricultura intercaladas con significantes áreas naturales.

Los sistemas agroforestales son áreas con cultivos anuales o tierras de pastoreo bajo cubierta boscosa o especies forestales.

c) Zonas forestales y áreas semi-naturales

Los bosques son zonas de árboles de hoja ancha, coníferas o mixtos, incluyendo arbustos de sotobosque en donde estas especies predominan.

Los matorrales y vegetación herbácea asociada son aquellas áreas de pradera natural, páramos, vegetación esclerófila y bosques o arbustos de transición.

Los espacios abiertos con poca o ninguna vegetación son principalmente playas, dunas y zonas arenosas, áreas rocosas, zonas con muy poca vegetación (estepas o tundras), superficies quemadas, afectadas especialmente por incendios, glaciares y nieves perpetuas.

d) *Humedales y cuerpos de agua*

Los **humedales** son todas aquellas áreas costeras o continentales no forestadas parcialmente, estacionalmente o permanentemente sumergidas. El agua puede estar estancada o en circulación, ser salada, salobre o dulce.

Finalmente los **cuerpos de agua** son todas aquellas aguas continentales o marinas (ríos, lagos naturales o artificiales, lagunas, estuarios, mar u océano).

4.2.2 Verificación y justificación

Como sistema de verificación para comprobar que los mapas del proyecto CLC representaba la evolución de la cobertura de suelos en el SMO se ha procedido a comparar las imágenes del proyecto CLC con las correspondientes del proyecto ERMOT⁴. El proyecto ERMOT ha venido realizando un seguimiento continuo de las superficies en riego en el acuífero de la Mancha Oriental mediante técnicas de teledetección espacial y por ello se considera como referente ante la validación de cualquier otra fuente de información disponible.

Puede apreciarse en la gráfica 4.4 que el valor total de las superficies que en algún momento han estado en regadío del proyecto ERMOT (Calera, 2010) coincide con el valor total de los terrenos regados permanentemente del proyecto CLC.

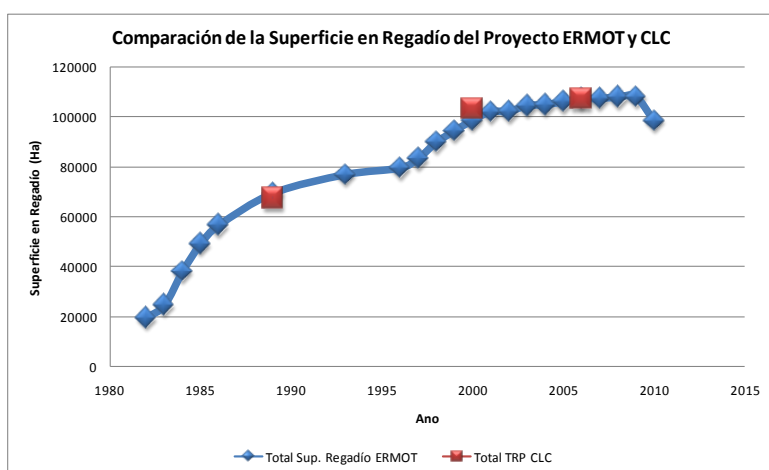


Gráfico 4.4: Comparación de las superficies en regadío del proyecto ERMOT y los terrenos regados permanentemente del proyecto CLC.

⁴ Convenio de colaboración entre la confederación Hidrográfica del Júcar, la Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, la Universidad de Castilla-La Mancha y la Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental, para la realización de un estudio sobre la evolución de las superficies de regadío, en el ámbito del Acuífero de la Mancha Oriental mediante el empleo de técnicas de teledetección.

Espacialmente la correspondencia entre unas imágenes y otras es evidente, sin embargo se encuentran algunas discrepancias debidas principalmente a la diferencia en escala de trabajo de los diferentes proyectos, lo que se refleja en la clasificación más detallada que posee el proyecto ERMOT (especializado sólo en los regadíos de la Mancha Oriental) comparada con todas las categorías de cobertura y uso del suelo que posee el proyecto Corine Land Cover.

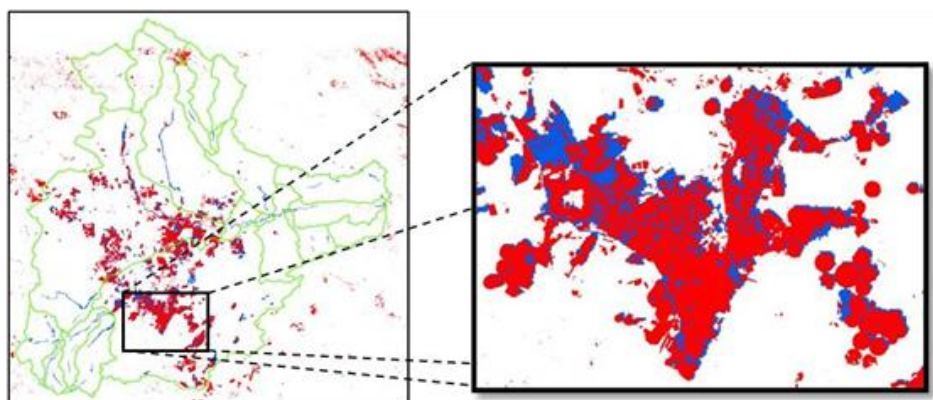


Figura 4.6: Comparación de la distribución espacial entre el proyecto ERMOT y el proyecto CLC para 1990

Las zonas en color rojo de la figura 4.6 denotan la superficie en regadío del proyecto ERMOT de 1989⁵ y las zonas en azul las del proyecto CLC para el año 1990. Se puede apreciar la superposición espacial entre representaciones indicando el alto grado de representatividad y correspondencia de una con la otra. Las diferencias, como ya se ha comentado, se deben a factores de clasificación, escala y a que el proyecto ERMOT muestra las superficies en regadío de ese año específico, mientras las imágenes CLC muestra todas aquellas superficies que han estado en algún momento bajo regadío permanente.

Aunque el proyecto ERMOT denota un mayor detalle en la descripción de las superficies regadas, la modelación de la superficie terrestre no puede circunscribirse a sólo el análisis de esta superficie sin tomar en cuenta las otras coberturas o usos, por tanto a partir de la semejanza en los valores totales de superficie regada y de la correspondencia espacial entre representaciones se opta por utilizar las imágenes del proyecto CLC para la modelación de las coberturas/usos del suelo en el SMO.

⁵ No se encuentra disponible la imagen de 1990.

4.3 Cuantificación del Cambio en la Cobertura y Uso del Suelo en la Cuenca Superficial del Acuífero de la Mancha Oriental

Si bien el Acuífero de la Mancha Oriental tiene su delimitación bien definida, determinada principalmente por límites geológicos, es imperioso extender los límites a la cuenca superficial del mismo para el análisis de la recarga que incurre en él. La cuenca superficial (figura 4.7), de 8945 Km², capta el recurso disponible del cual una parte se percolará a través de las capas de suelo para llegar a formar parte del acuífero. Las capas de suelo están caracterizadas por su cobertura y uso, las cuales a su vez están influenciadas por agentes físicos y antropogénicos que determinarán su impacto en el ciclo hidrológico.

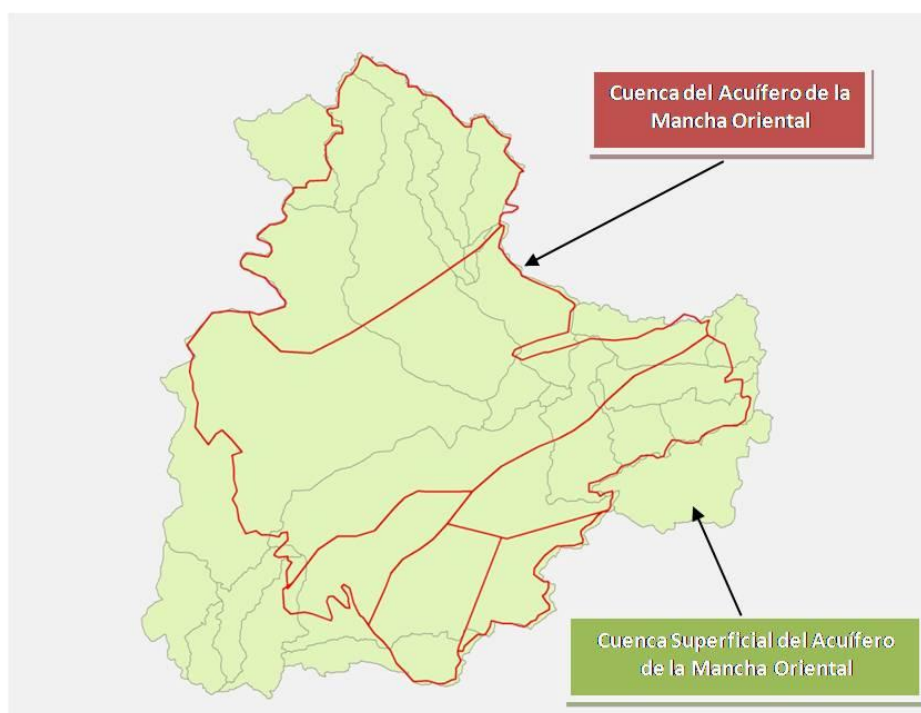


Figura 4.7: Cuenca Superficial de la Mancha Oriental y la Cuenca del Acuífero (ubicación y delimitación)

La cobertura y uso del suelo y el ciclo hidrológico están relacionados íntimamente:

- Las zonas urbanas cubren la cubierta natural y modifican la producción de escorrentía, disminuyendo la tasa de infiltración en la superficie.
- La deforestación (pérdida de masa forestal), los incendios, la tala no regulada o cualquier otra fuente de formación de suelo desnudo suelen facilitar la erosión,

proceso que aumenta la escorrentía, disminuye la infiltración y acrecienta los riesgos de que se produzcan eventos extremos.

- Las superficies agrícolas imponen una demanda elevada de agua, influyen directamente en el clima (y viceversa) puesto que tienen relación directa con la evapotranspiración, determinan tasas de infiltración y de producción de escorrentía muy variadas según el tipo de cultivo. También afectan la calidad de las aguas superficiales y subterráneas por el uso de fertilizantes y fitosanitarios.

4.3.1 Análisis Histórico

Una fotografía de los usos de suelo más recientes (CLC, 2006) de la cuenca superficial de la Mancha Oriental muestra que la cobertura de suelo predominante son las tierras de labor en secano (36.6%), seguido por los matorrales (18.7%), los mosaicos de cultivos (15.1%), los terrenos regados permanentemente (12%) y los bosques (7.9%). El resto de coberturas/ usos del suelo (10 categorías) representan el restante 9.73% de la cuenca superficial.

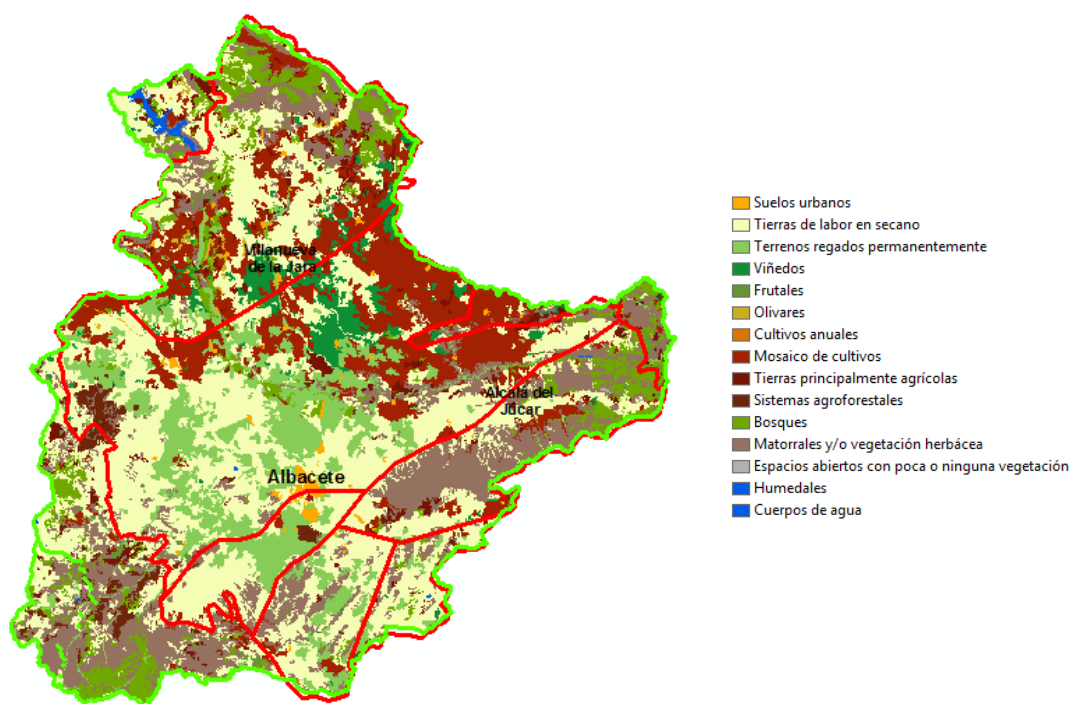


Figura 4.8: Imagen más reciente (CLC, 2006) de las categorías de coberturas y usos de suelo de la cuenca superficial del acuífero de la Mancha Oriental.

El análisis de los cambios de ocupación del suelo durante el período de 1990 al 2006 (tabla 4.2) muestra que se han producido cambios muy rápidos en la cuenca con importantes implicaciones ambientales, económicas y sociales. Se pueden destacar como los cambios más importantes el aumento de los espacios abiertos con poca o ninguna vegetación (688.6%/303Ha), el aumento de los terrenos regados permanentemente (59.4%/39944Ha), los terrenos principalmente agrícola (9.3%/2087Ha) y del crecimiento urbano (55.6%/2718Ha). Por otra parte, la pérdida de bosques (-3.1%/2225Ha) y la transformación de la tierras de labor en seco en otras coberturas o usos son los cambios más importantes en disminución de superficie.

Clasificación	Área (Ha)			Aumento/Decrecimiento de Superficie (Ha)			Tasa anual de cambio (%)	
	1990	2000	2006	1990-2000	2000-2006	1990-2006	1990-2000	2000-2006
Urbano (1)	4884	5767	7602	883.00	1835.00	2718.00	1.39	5.30
Tierras de labor en seco (2)	372992	343958	327110	-29034.00	-16848.00	-45882.00	-0.60	-0.82
Terrenos regados permanentemente (3)	67193	103342	107137	36149.00	3795.00	39944.00	4.14	0.61
Viñedos (4)	31584	28295	31246	-3289.00	2951.00	-338.00	-0.80	1.74
Frutales (5)	2855	2822	3077	-33.00	255.00	222.00	-0.09	1.51
Olivares (6)	3364	2689	2752	-675.00	63.00	-612.00	-1.54	0.39
Mosaico de cultivos (8)	131509	129007	135420	-2502.00	6413.00	3911.00	-0.15	0.83
Terrenos principalmente agrícolas (9)	22437	22574	24524	137.00	1950.00	2087.00	0.05	1.44
Sistemas agroforestales (10)	14604	14384	14309	-220.00	-75.00	-295.00	-0.12	-0.09
Bosques (11)	72786	71600	70561	-1186.00	-1039.00	-2225.00	-0.13	-0.24
Matorrales y vegetación herbácea asociada (12)	167120	166774	167307	-346.00	533.00	187.00	-0.02	0.05
Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación (13)	44	184	347	140.00	163.00	303.00	24.48	14.76
Humedales (14)	87	87	85	0.00	-2.00	-2.00	0.00	-0.38
Superficies de agua (15)	3078	3054	3060	-24.00	6.00	-18.00	-0.06	0.03

Tabla 4.2: Estudio del cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca superficial del SMO

Fuente: elaboración propia.

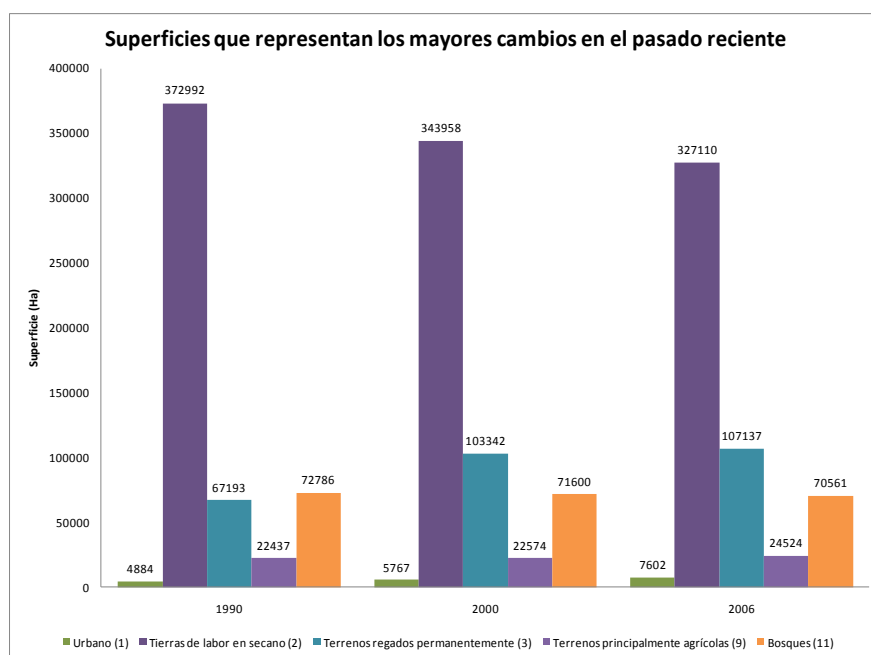


Gráfico 4.5: Superficies que representan los mayores cambios entre 1990 y 2006 en el Sistema de la Mancha Oriental.

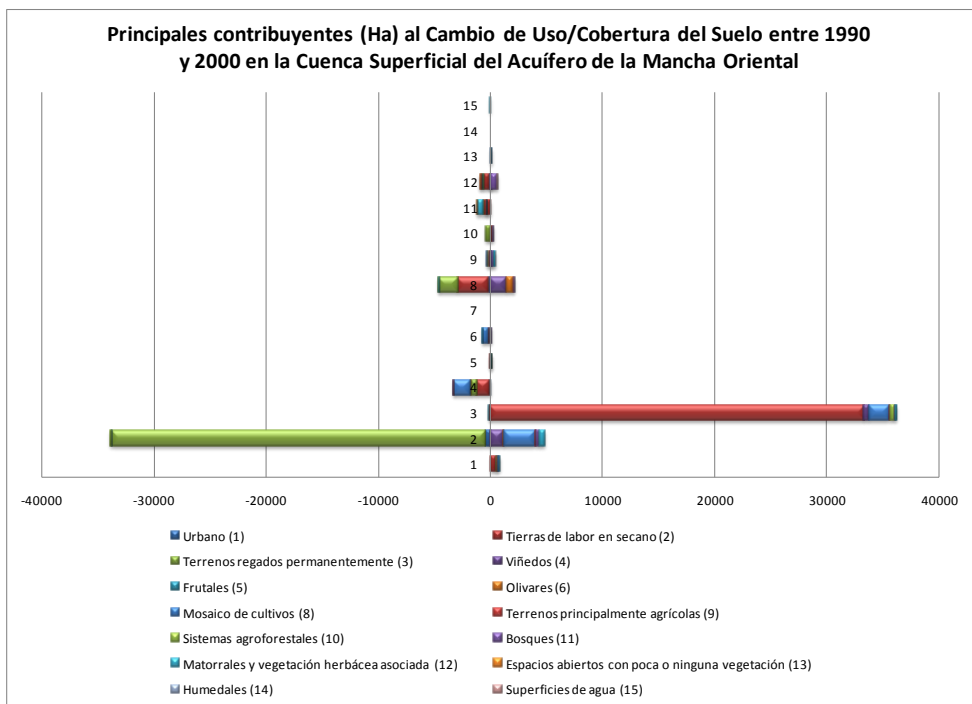


Gráfico 4.6: Principales contribuyentes al cambio entre 1990 y 2000 en el Sistema de la Mancha Oriental.

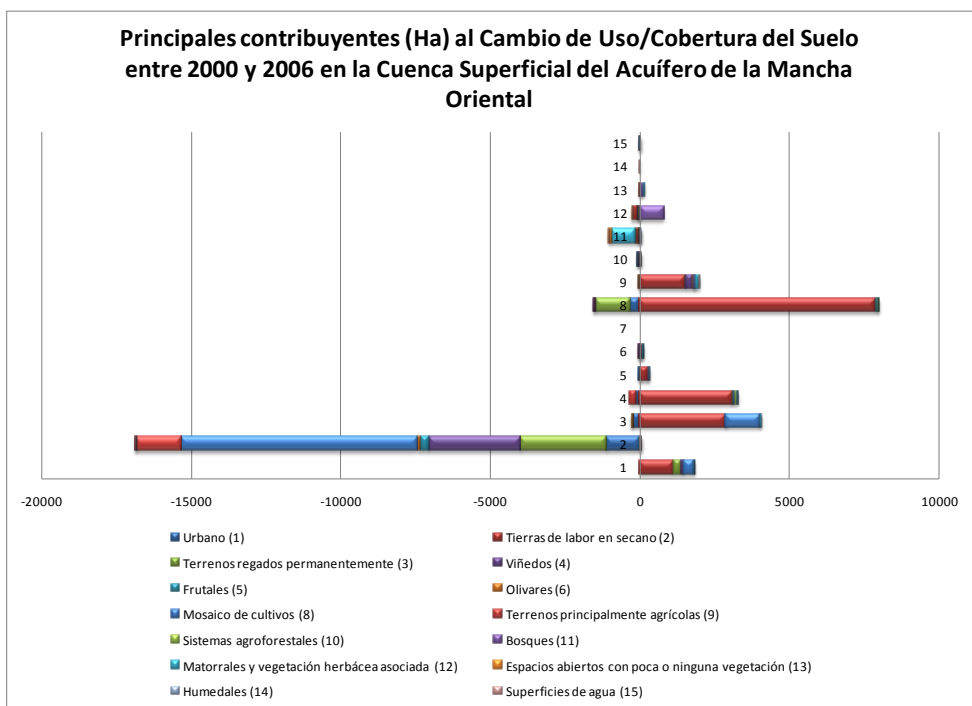


Gráfico 4.7: Principales contribuyentes al cambio entre 2000 y 2006 en el Sistema de la Mancha Oriental.

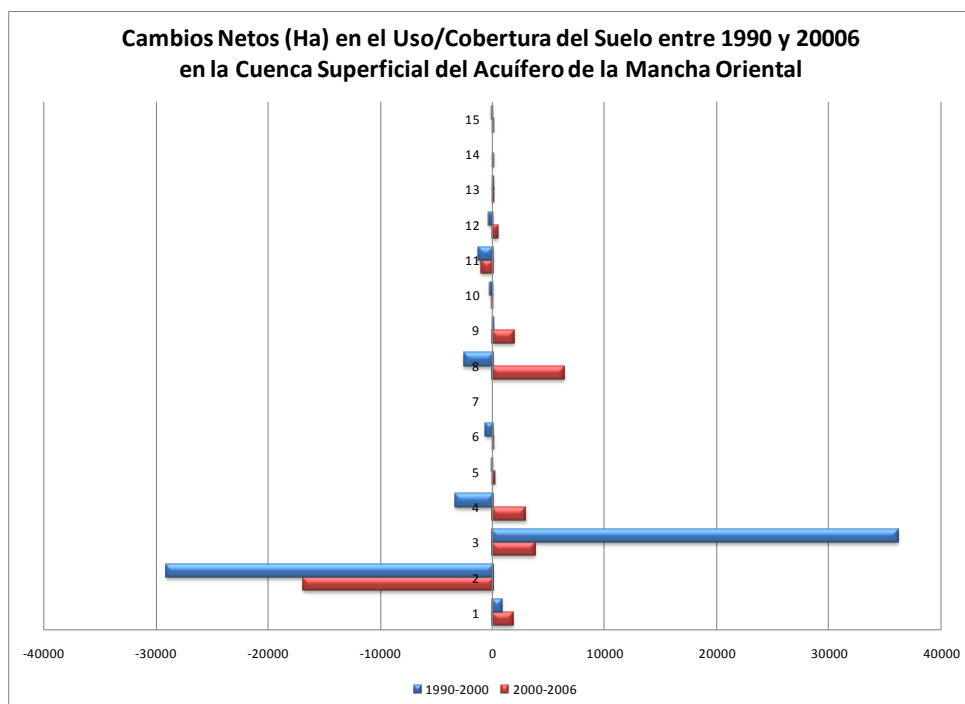


Gráfico 4.8: Cambios netos en la cobertura/uso del suelo entre 1990 y 2006 en el SMO.

Centrándonos en las zonas urbanas, destaca la diferencia entre la tasa de crecimiento anual del período 1990-2000 (1.39%) y la respectiva al período 2000-2006 (5.3%) –ver tabla 4.2 y gráficos 4.6 y 4.7. La primera concuerda con las tasas medias de todo el territorio español (OSE, 2006), sin embargo la segunda pone en evidencia un alto crecimiento económico, manifestado en la consolidación del nuevo modelo de urbanización dispersa y la fuerte inversión en infraestructuras durante el período en mención. El impacto que tiene la conversión de cualquier tipo de suelo a suelo urbano es irreversible provocando efectos irreversibles sobre los recursos ambientales. La figura 4.9 muestra la localización de los mayores cambios producidos entre 1990 y el 2000 (izquierda) y entre el 2000 y el 2006 (derecha). En ambas imágenes puede observarse que el mayor cambio se ha producido en la zona de Albacete y alrededores de acuerdo con el crecimiento urbano experimentado en la región.

Los bosques y los sistemas agroforestales decrecieron un total de 2646 Ha en todo el período de estudio. El 56% de estas superficies se han convertido en matorrales y espacios abiertos, 23% ha sido convertido en tierras de labor en secano y superficies agrícolas y el

resto en otros usos o coberturas. El decrecimiento de la zona forestal de la cuenca causa mayor erosión del suelo, pérdida de biodiversidad, muestra el avance de la agricultura sobre las superficies forestales y por tanto evidencia un proceso de desertificación que avanza lentamente al cual hay que poner atención por las autoridades competentes. La figura 4.10 muestra cómo en el período de 1990-2000 el cambio se focalizó en las zonas altas de la cuenca, especialmente en la zona de la provincia de Cuenca al Norte de la cuenca superficial del Sistema de la Mancha Oriental. Otro foco importante de pérdida de bosque entre 1990 y el 2000 es la zona oriental, ubicada en la provincia de Valencia, sitio donde también se repite el cambio de superficie más importante observado entre el 2000 y 2006.

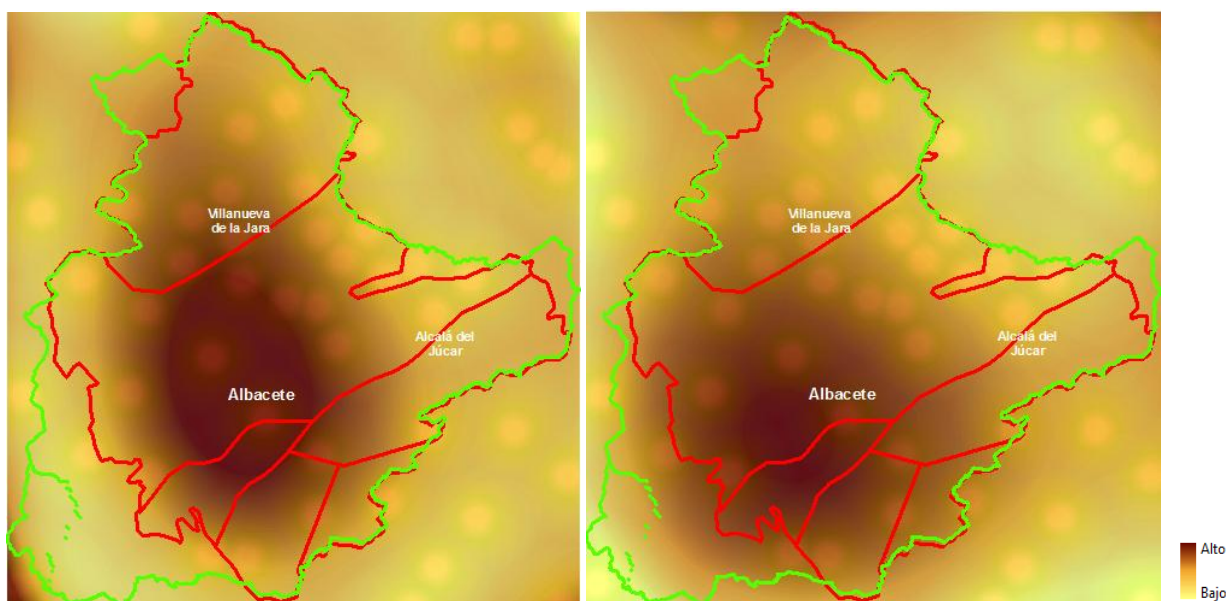


Figura 4.9. Localización de los cambios de todos los tipos de coberturas/ usos del suelo a suelo urbano. Los círculos representan aglomeraciones urbanas. Izquierda período 1990-2000. Derecha período 2000-2006⁶.

⁶ La variación de tonalidad simplemente localizan la magnitud del cambio y no representan ninguna escala específica de cambio.

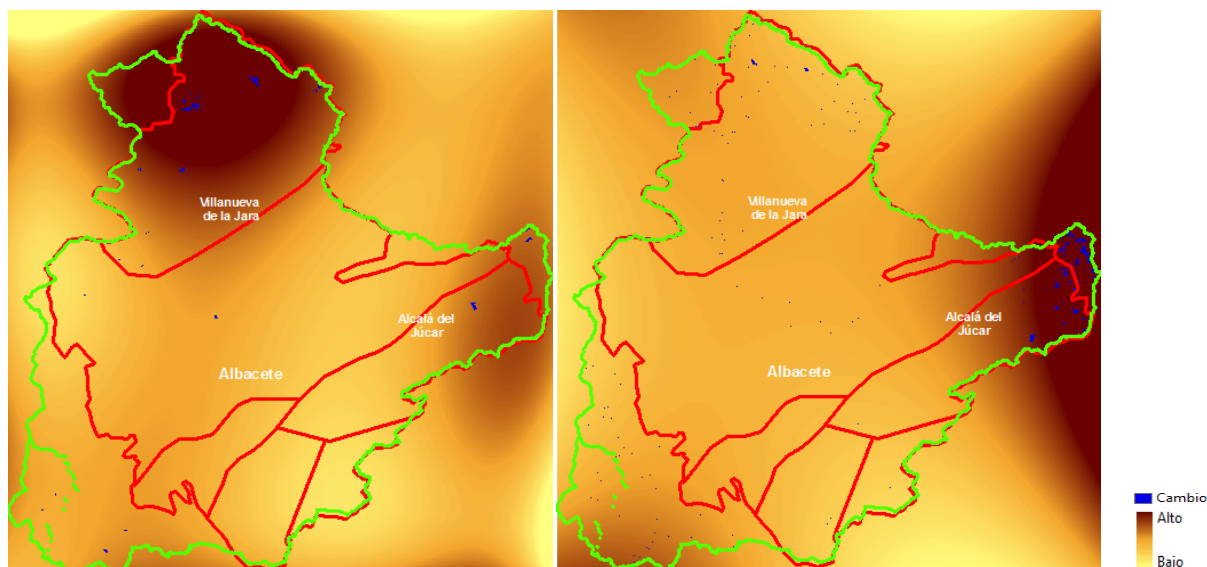


Figura 4.10: Localización de la pérdida de bosques (conversión del bosque a cualquier otro tipo de cobertura/uso del suelo). Izquierda período 1990-2000. Derecha período 2000-2006.

Los espacios abiertos con poca o ninguna vegetación es también una superficie en aumento, siendo su principales contribuyentes los bosques y los matorrales. El ritmo de crecimiento es muy elevado 24% y 15% para el período de 2000 a 2006. Aunque su superficie aun no representa una gran cantidad dentro de la totalidad de la cuenca, si llama la atención la rapidez con que ha crecido y que posiblemente siga haciéndolo en la actualidad. Un eficiente plan de manejo de cuenca en donde se promueva la reforestación y la recuperación de suelo es evidentemente necesario ante el avance de los suelos desnudos, la pérdida de bosque y matorrales, y la transformación de éstos en suelos agrícolas. La figura 4.11 muestra la correspondiente correlación espacial que existe entre el aumento de matorrales y espacios abiertos con la pérdida de masa boscosa, las mismas zonas con la mayor pérdida de bosques son las que corresponden al mayor aumento en matorrales y espacios abiertos.

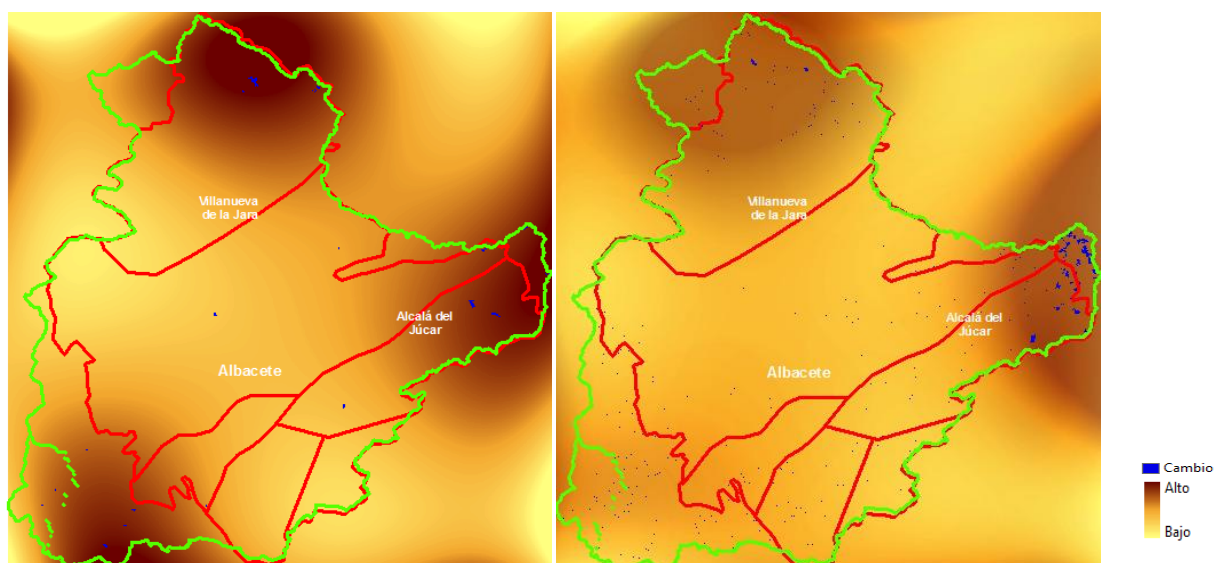


Figura 4.11 Localización del aumento de matorrales y/o vegetación herbácea asociada y espacios abiertos con poca o ninguna vegetación. Izquierda período 1990-2000. Derecha período 2000-2006.

Especial atención hay que darle a la tierras de labor en secano, las cuales han perdido superficie a lo largo de todo el período 1990-2006. Al observar la tasa de decrecimiento no parece ser muy importante el cambio, sin embargo al evaluarlo en términos de superficie el impacto de la disminución de su extensión es amplio (45882 Ha). Desagregando a qué tipos de superficie ha contribuido la mengua de las tierras de labor en secano se observa que los terrenos regados permanentemente han sido los mayores beneficiados con 36153 Ha (78.8%) en todo el período estudiado. En el período 1990-2000 es donde se observa la mayor contribución directa de las tierras de labor en secano a terrenos regados permanentemente, siendo significativamente menor en el período 2000-2006, que si bien contribuyeron mucho a los terrenos permanentemente regados, las tierras de labor en secano se transformaron en una mayor diversidad de coberturas/ usos del suelo como viñedos, mosaicos de cultivos y terrenos principalmente agrícolas denotando una evidente restricción al uso del agua en la zona y diversificación de los cultivos. La figura 4.12 muestra que la concentración del cambio de tierras de labor en secano a terrenos regados permanentemente ha sido, al igual que el cambio a suelos urbanos, en la zona de Albacete y alrededores, confirmando las afirmaciones que López Fuster en su libro “Los regadíos de la Mancha Oriental: una quimera hecha realidad” (2000) ha hecho sobre los descensos de los

niveles freáticos del acuífero y asociando éstos al aumento del uso de las aguas subterráneas por los regadíos de la zona, llegando a afirmar que el aumento de extracciones en los últimos 30 años ha modificado el régimen natural de flujo del acuífero concentrando los flujos subterráneos en la zona que marca los mayores cambios en la figura 4.11.

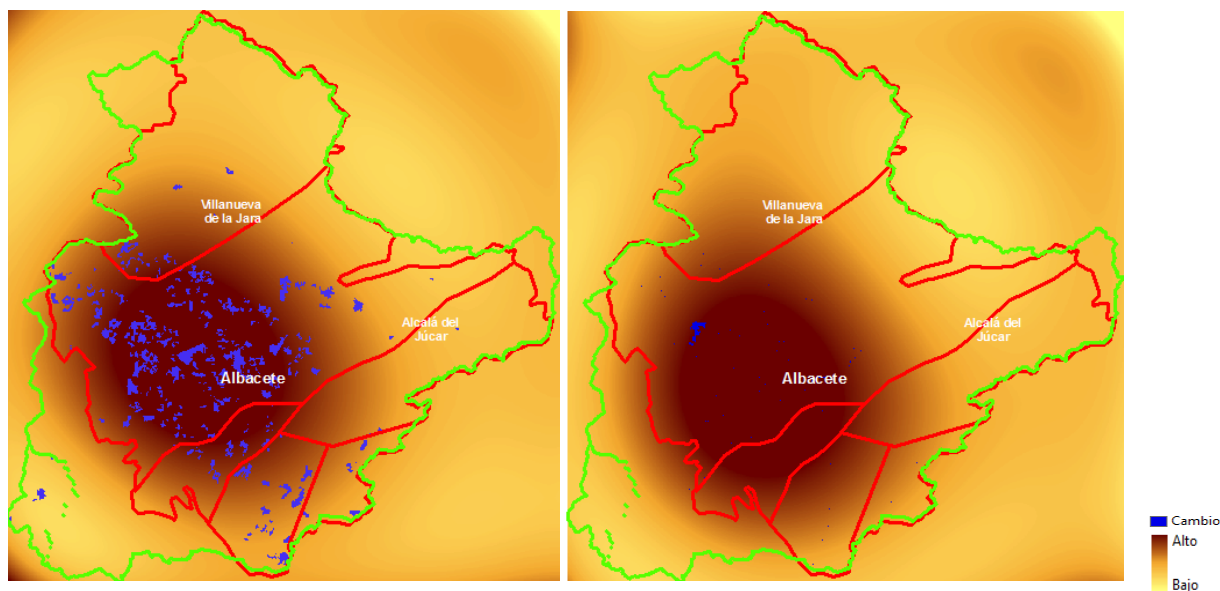


Figura 4.12: Localización del cambio de tierras de labor en seco a terrenos regados permanentemente. Izquierda período 1990-2000. Derecha período 2000-2006.

4.3.2 Transiciones (Conversiones)

Como se mencionó previamente las transiciones entre una cobertura o uso del suelo y otra pueden ser de dos tipos: conversiones o modificaciones. Las primeras se refieren al cambio total de una superficie por otra y las segundas a un cambio parcial. Este estudio sólo se enfocará en las conversiones entre períodos debido a que las modificaciones son muy difíciles de detectar en la actualidad mediante las técnicas disponibles y requerirá un seguimiento más continuo de la zona junto con una mayor resolución espacial.

Algunas transiciones⁷ que ocurrieron en el período de 1990 al 2000 no están presentes en el período del 2000 al 2006 y viceversa. El número de cambios entre coberturas es diferente según el período estudiado, existen 55 transiciones durante 1990-2000, en contraste con

⁷ A partir de aquí se utilizará el término transición para indicar la conversión de una cobertura o uso del suelo a otra.

107 transiciones que hubo durante 2000-2006. La tabla 4.3 muestra las transiciones más importantes para ambos períodos de estudio. En los anexos se puede encontrar una tabla con todas las transiciones por período y su magnitud en hectáreas.

1990-2000

Número de procesos	Clasificación	Área (ha)	% cambio	% acumulado
	Persistencia en cuenca	839994		
1	Tierras de labor en secano a terrenos regados permanentemente	33292	61.0	61.0
2	Mosaico de cultivos a tierras de labor en secano	4654	8.5	69.6
3	Vinedos a tierras de labor en secano	2690	4.9	74.5
4	Tierras de labor en secano a mosaico de cultivos	1937	3.6	78.1
5	Mosaico de cultivos a terrenos regados permanentemente	1841	3.4	81.4
6	Vinedos a mosaico de cultivos	1690	3.1	84.5
7	Tierras de labor en secano a vinedos	1548	2.8	87.4
8	Bosques a matorrales	626	1.1	88.5
9	Matorrales a tierras de labor en secano	590	1.1	89.6
10	Olivares a mosaico de cultivos	562	1.0	90.6
11	Vinedos a terrenos regados permanentemente	527	1.0	91.6

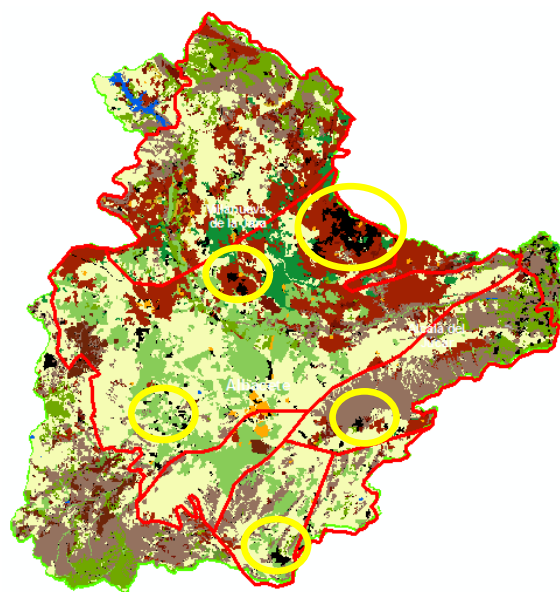
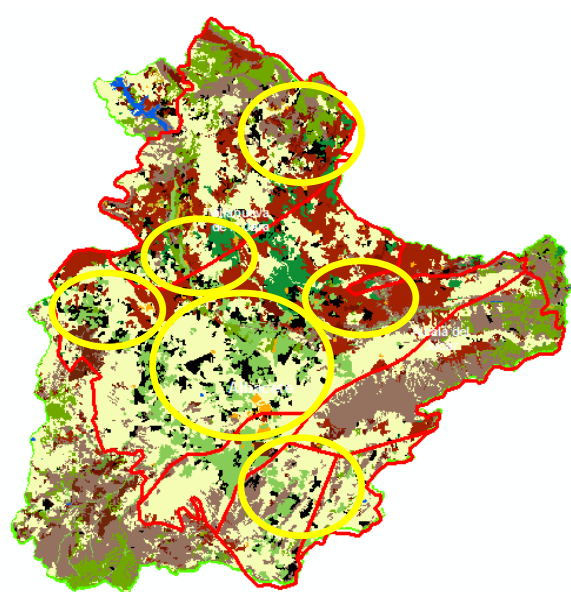
2000-2006

Número de procesos	Clasificación	Área (ha)	% cambio	% acumulado
	Persistencia en cuenca	862273		
1	Tierras de labor en secano to Mosaico de cultivos	8190	25.4	25.4
2	Tierras de labor en secano to Terrenos regados permanentemente	3970	12.3	37.7
3	Tierras de labor en secano to Vinedos	3229	10.0	47.7
4	Bosques to Matorrales y/o vegetación herbácea	2336	7.2	54.9
5	Tierras de labor en secano to Tierras principalmente agrícolas	1659	5.1	60.1
6	Matorrales y/o vegetación herbácea to Bosques	1544	4.8	64.9
7	Mosaico de cultivos to Terrenos regados permanentemente	1205	3.7	68.6
8	Tierras de labor en secano to Urbano	1156	3.6	72.2
9	Terrenos regados permanentemente to Tierras de labor en secano	1109	3.4	75.6
10	Matorrales y/o vegetación herbácea to Tierras de labor en secano	906	2.8	78.4
11	Tierras de labor en secano to Matorrales y/o vegetación herbácea	900	2.8	81.2

Tabla 4.3 Transiciones más importantes de cobertura/uso del suelo en el Sistema de la Mancha Oriental. El área representa la superficie que ha cambiado de una cobertura/uso a otro.

La persistencia (figura 4.13), es decir áreas en donde no se ha producido ningún cambio y se ha mantenido la misma cobertura/uso del suelo a lo largo del tiempo, ha sido la mayor área observada. Entre 1990 y el 2000 la persistencia representa el 93.9% del total de la superficie de la cuenca, mientras que entre el 2000 y el 2006 es del 96.4% de la misma. El importante valor de la persistencia denota la resistencia al cambio y el valor de las tradiciones que se manifiesta en la zona a lo largo del tiempo.

El cambio de las tierras de labor en secano a terrenos regados permanentemente es el cambio en común más importante en ambos períodos, tanto la tabla 4.2, como la figura 4.11 muestra la magnitud y localización de este cambio de uso del suelo. Otro cambio importante común a ambos períodos son la tierras de labor en secano que se convirtieron en mosaico de cultivos, quizá a la incursión de nuevas personas al mundo de la agricultura, con pequeñas superficies cultivadas promovidas por las ayudas que la Política Agraria Común ofrece. La figura 4.14 muestra que la localización principal de esta transición ha sido al Norte de la cuenca en el período de 1990 al 2000 y al Noreste de la misma en el período de 2000 al 2006. Contrario a la transición de tierras de labor en secano a terrenos regados permanentemente en donde en el período de 2000 al 2006 disminuye el cambio, en la conversión de tierras de labor en secano a mosaico de cultivos aumenta (ver tabla 4.3).



- Suelos urbanos
- Tierras de labor en secano
- Terrenos regados permanentemente
- Viñedos
- Frutales
- Olivares
- Cultivos anuales
- Mosaico de cultivos
- Tierras principalmente agrícolas
- Sistemas agroforestales
- Bosques
- Matorrales y/o vegetación herbácea
- Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación
- Humedales
- Cuerpos de agua

Figura 4.13: Mapa de la persistencia entre 1990-2000 (izquierda) y 2000-2006 (derecha). Las zonas en negro dentro de la cuenca muestran las áreas en donde se han producido transiciones

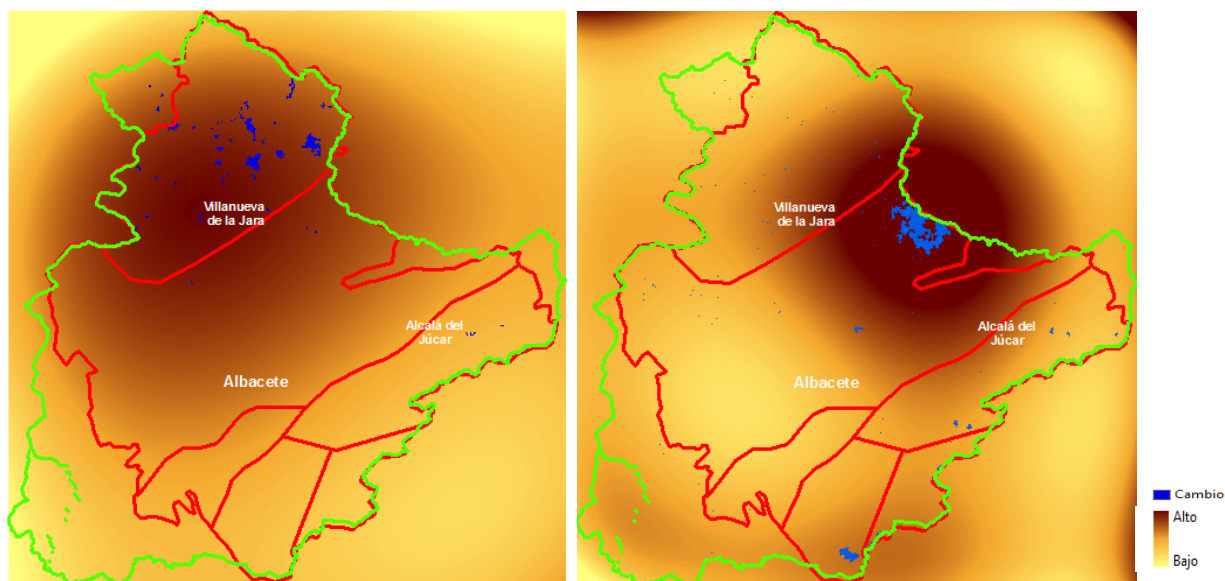


Figura 4.14: Localización de las principales conversiones de tierras de labor en secano a mosaico de cultivos entre 1990-2000 (izquierda) y 2000-2006 (derecha)

Las transiciones de las tierras de labor en secano a viñedos (figura 4.15) también son importantes, localizados estos mayoritariamente en la parte Centro-Norte de la cuenca del SMO.

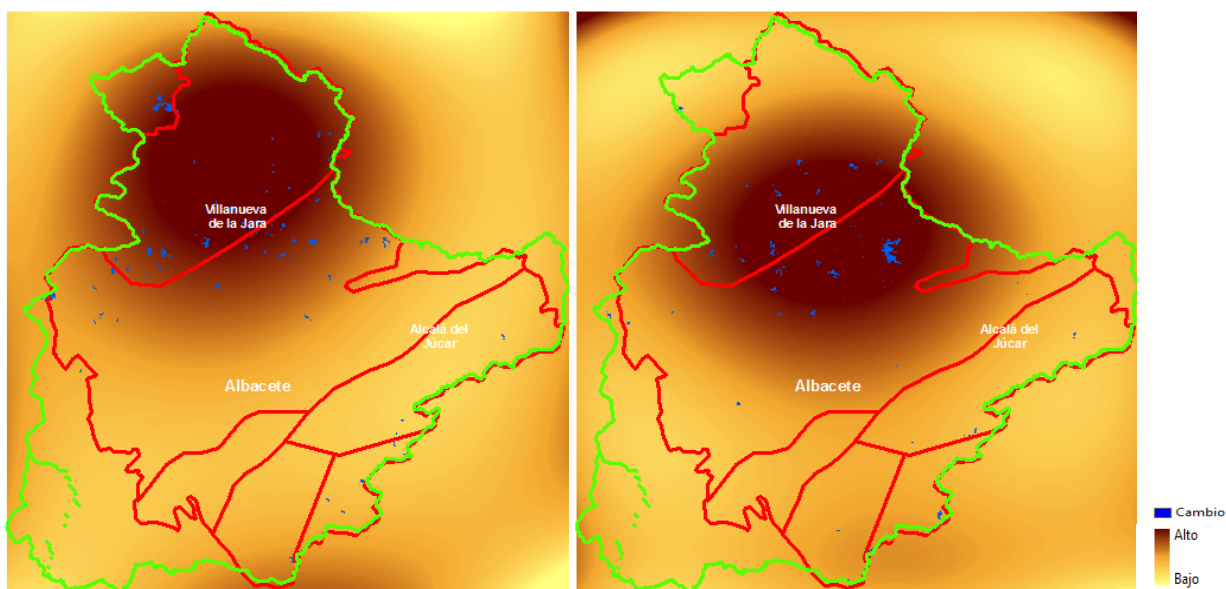


Figura 4.15: Localización de las principales conversiones de tierras de labor en secano a viñedos entre 1990-2000 (izquierda) y 2000-2006 (derecha)

4.3.3 Caracterización de los cambios (Método LEAC): Flujos de Cobertura/Usos del Suelo

En el proyecto CLC la intersección de dos capas produce 1936 posibles combinaciones (utilizando los tres niveles de clasificación), de las cuales 1892 están clasificadas como cambios y 44 como persistencia. En el caso del SMO la intersección de dos capas, acorde a la clasificación que se ha optado, produce 225 posibles combinaciones, de las cuales 210 son clasificadas como cambios y 15 como persistencia.

Para interpretar toda esta información, los cambios en la cobertura del suelo la metodología LEAC (Land and Ecosystem Accounts) se han clasificado en alrededor de 50 flujos de cobertura/uso del suelo (Gómez y Páramo, 2005).

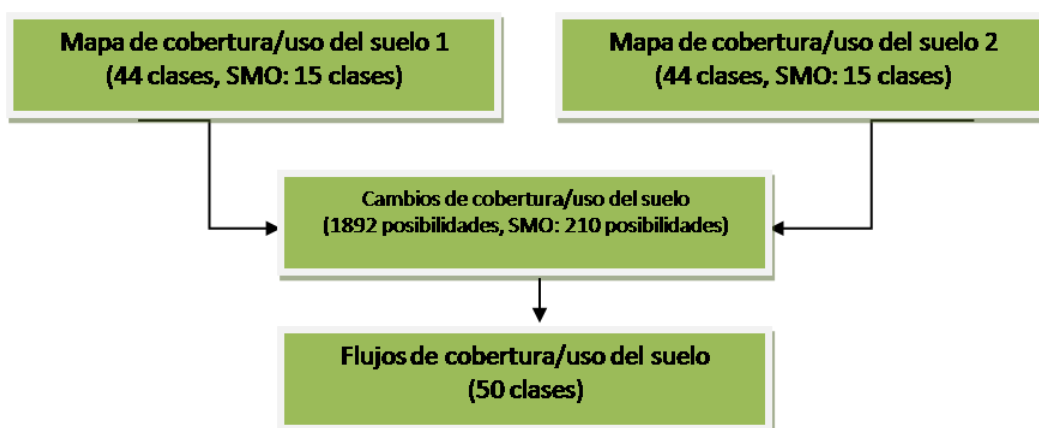


Figura 4.16: Proceso de determinación de los flujos de cobertura/uso del suelo

Los flujos de cobertura/uso del suelo se clasifican en tres niveles según los mayores procesos que se relacionan con las superficies (tabla 4.4). La clasificación de los flujos de cobertura/uso del suelo es producto de estudios de factibilidad y revisiones subsecuentes después de discusiones con expertos en medio ambiente, agrícolas y bosques. Básicamente, la clasificación de los flujos distingue entre una gran cantidad de clases de cobertura y usos del suelo, y los cambios internos que se producen dentro de ellas. El análisis de los flujos de la cobertura y uso del suelo proporciona una visión rápida de los procesos que se están llevando a cabo en la región de estudio.

Flujo	Descripción
LCF1	Gestión de las tierras urbanas
LCF2	Extensión de los suelos residenciales
LCF3	Extensión de los lugares e infraestructuras económicas
LCF4	Conversión interna agrícola
LCF5	Conversión de tierra forestal y natural a agrícola
LCF6	Desalojo de la agricultura
LCF7	Creación y manejo de bosques
LCF8	Creación y gestión de embalses y balsas
LCF9	Cambios en la cobertura/uso del suelo por múltiples causas naturales

Tabla 4.4. Descripción de los principales flujos de cobertura/uso del suelo (nivel 1)

Los flujos más importantes, identificados por las transiciones más importantes (tabla 4.3) se muestran en la tabla siguiente. Todos los flujos identificados en la zona del SMO se pueden encontrar en los anexos.

Número de procesos	Clasificación	Flujos	Descripción
1	Tierras de labor en secano a terrenos regados permanentemente	lcf421	Conversión de tierra agrícola a perímetros de irrigación permanente
2	Tierras de labor en secano a mosaico de cultivos	lcf412	Extensión difusa de despojo de tierras de barbecho y pastos
3	Mosaico de cultivos a terrenos regados permanentemente	lcf463	Conversión difusa de pastos a tierras agrícolas y cultivos permanentes
4	Tierras de labor en secano a viñedos	lcf451	Conversión de tierras agrícolas a viñedos y huertas
5	Bosques a matorrales	lcf73/lcf74	Conversiones internas del bosque/transiciones o tala de bosques
6	Matorrales a tierras de labor en secano	lcf521	Conversión intensiva de tierras semi-naturales a agrícolas
7	Mosaico de cultivos a tierras de labor en secano	lcf463	Conversión difusa de pastos a tierras agrícolas y cultivos permanentes
8	Viñedos a tierras de labor en secano	lcf442	Conversión de viñedos o huertas a tierras agrícolas
9	Viñedos a mosaico de cultivos	lcf444	Conversión difusa de cultivos permanentes a tierras agrícolas
10	Olivares a mosaico de cultivos	lcf443	Conversión de olivares a tierras agrícolas
11	Viñedos a terrenos regados permanentemente	lcf441	Conversión de cultivos permanentes a perímetros de irrigación permanente
12	Tierras de labor en secano a Tierras principalmente agrícolas	lcf62	Retirada de la agricultura sin creación significativa de bosques
13	Matorrales y/o vegetación herbácea a Bosques	lcf71/lcf72	Conversión de bosques de transición a bosques/creación de bosques o repoblación
14	Tierras de labor en secano a Urbano	lcf21 lcf22 lcf31 lcf32 lcf33 lcf34 lcf35 lcf36 lcf37 lcf13 lcf38	Extensión de residencias urbanas/extensión de espacios económicos e infraestructuras/ Desarrollo de áreas verdes urbanas
15	Terrenos regados permanentemente a Tierras de labor en secano	lcf422	Conversiones internas de las tierras agrícolas
16	Tierras de labor en secano a Matorrales y/o vegetación herbácea	lcf61/lcf62	Retirada de la agricultura con o sin creación significativa de bosques

Tabla 4.5. Definición y descripción de los principales flujos presentes en la zona del SMO.

De las 16 transiciones, 10 de ellas están determinadas por los diferentes flujos de conversión interna de tierras agrícolas (LCF4). Esto podía esperarse dado el enfoque del estudio, sin

embargo como se ha demostrado en la sección anterior, más del 99% de los cambios ocurridos en el SMO en el período de 1990 al 2006 está caracterizado por estas transiciones, y por tanto por estos flujos.

La conversión de tierras a uso urbano es un proceso complejo como lo demuestra la cantidad de flujos que intervienen en el proceso 14 de la tabla 4.5. Esta transición es solo un ejemplo de la cantidad de variables que intervienen en la caracterización de los procesos urbanos y un estudio en mayor detalle debe realizarse con el fin de determinar sus causas, consecuencias e impactos en la zona.

La identificación de los flujos (urbanización, retirada, repoblación, cambio de secano a zona irrigada, etc.) y las diferentes sugerencias de la revisión bibliográfica permiten tener una mejor idea de las fuerzas motrices que han propiciado el cambio de la cobertura/uso del suelo en el pasado en la zona del SMO.

4.4 Causas del cambio (análisis y selección de Fuerzas Motrices)

Tal como se comentó en el capítulo 2, las causas que influyen en el cambio nunca actúan solas, son de diversa naturaleza (biofísica, económica, social, política, cultural) e interactúan entre sí. Las escalas espaciales y temporales también influyen en la selección de las variables cuando se intentan develar las acciones promotoras del cambio.

En estricto rigor, primero se deben determinar las causas que producen el cambio (o al menos las que más influyen) y luego proceder a la predicción de la cobertura y el uso del suelo a futuro. Debido a que la determinación fiel de las causas es otra investigación que debe llevarse a cabo en paralelo, se ha optado por tomar las causas más relevantes que propone la literatura basadas en la caracterización de los diferentes flujos de Cambio en la Cobertura y el Uso del Suelo (CCUS). Como se verá más adelante, según criterios estadísticos la validez de las fuerzas motrices elegidas se corrobora con los resultados de los sub-modelos necesarios para la predicción de escenarios.

Como podrá observarse los factores biofísicos son los mayoritarios en el análisis. Esto se debe a que han sido considerados como los que mayor estabilidad tienen a lo largo del tiempo y a la facilidad de representarlos espacialmente. Los factores sociales, económicos, políticos y culturales han presentado dificultades de desagregación espacial siendo insuficiente para poder representar todas las fuerzas motrices potenciales a nivel de cuenca. Los factores sociales y culturales se han asociado para mayor simplicidad y los factores políticos se han agrupado en un solo mapa de pertenecía a una determinada provincia a falta de mayor análisis.

4.4.1 Factores biofísicos

Los factores biofísicos definen la capacidad natural o condiciones ambientales mediante un conjunto de factores bióticos y abióticos. Para el estudio del Sistema de la Mancha Oriental se han escogido los siguientes:

- Distancia hacia los ríos y cauces principales
- Distancia a los embalses, lagos y balsas
- Precipitación media anual distribuida (polígonos de Thiessen)
- Temperatura media anual distribuida (polígonos de Thiessen)

- Pendiente
- Topografía (Modelo Digital de Elevación –MDE)
- Orientación
- Tipo de suelo (proporción de materia orgánica)
- Tipo de suelo (proporción de arena)
- Tipo de suelo (proporción de limos y arcillas)
- Delimitación de la cuenca superficial del acuífero
- Distancia hacia las presas existentes en la zona
- Cercanía a las zonas inundables

En los factores en los que interviene la cercanía o distancia se refiere a la facilidad con que se cuenta para acceder a dicho recurso, por ejemplo el agua, medida mediante la distancia relativa que existe entre ellos mismos. La orografía está representada mediante la pendiente, la topografía y la orientación. El tipo de suelo es determinante para la elección del tipo de cultivo, así como la precipitación y la temperatura. Y por último, si una zona pertenece o no a la cuenca y tiene acceso a los recursos subterráneos también determinará el uso que se le dé a ese determinado suelo.

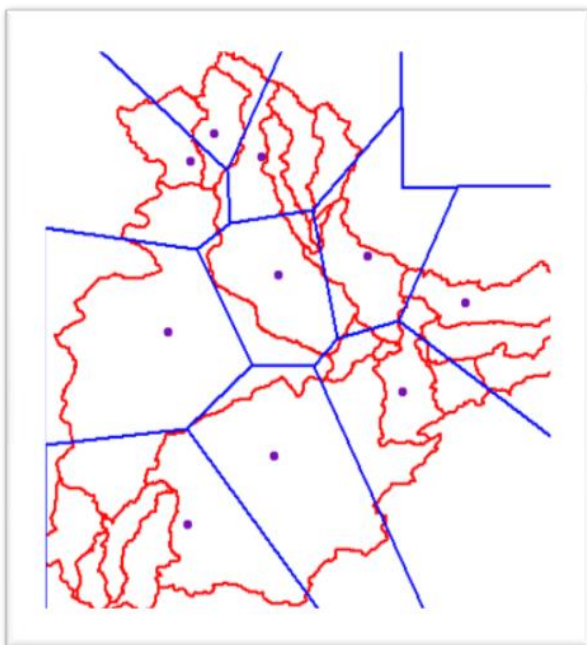


Figura 4.17 Distribución de las estaciones meteorológicas (precipitación y temperatura) que han servido de base para delimitar los polígonos de Thiessen

Fuente: Sistema de Información del Agua (SIA), 2011

4.4.2 Factores sociales

Desde hace mucho el crecimiento de la población y la presión que esto supone sobre el medio ambiente ha sido el centro de atención de letrados y estudiosos. La distribución y composición de las poblaciones son las características principales del crecimiento poblacional manifestándose generalmente en cambios de usos de la tierra o migraciones.

La cuenca superficial del SMO está incluida dentro de tres provincias: Albacete (71%), Cuenca (26%) y Valencia (3%). De los 110 municipios que tienen algún porcentaje de área dentro de la cuenca superficial 58 pertenecen a la provincia de Albacete, 46 a la provincia de Cuenca y 6 a la provincia de Valencia. Albacete y Cuenca cuentan con el 97% de la superficie del SMO y son las que mayor impacto ejercen sobre el sistema, por tanto serán las provincias en las que se enfocará este estudio.

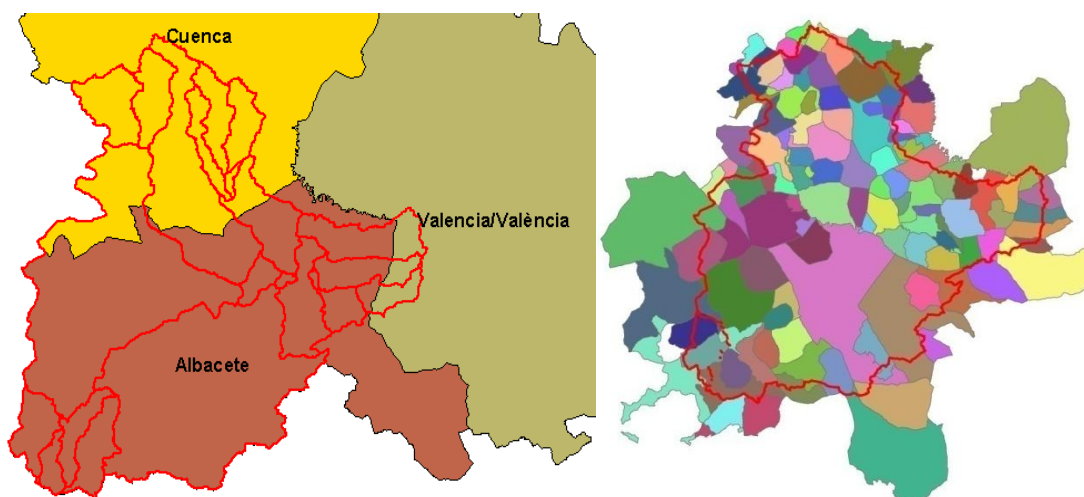


Figura 4.18: Ubicación del SMO dentro de los límites políticos de provincias (izq) y municipios (der).
Fuente: Sistema de Información del Agua (SIA), 2011. Elaboración propia.

El análisis demográfico proporciona información sobre la evolución y composición de la población que caracteriza el principal factor social que induce al cambio de la cobertura y uso del suelo. Esta información es de gran relevancia económica y social, ya que sirve para medir la oferta de mano de obra así como las necesidades de diversos bienes y servicios, teniendo un importante valor a la hora de tomar decisiones políticas de diversa índole y de ocupación del suelo.

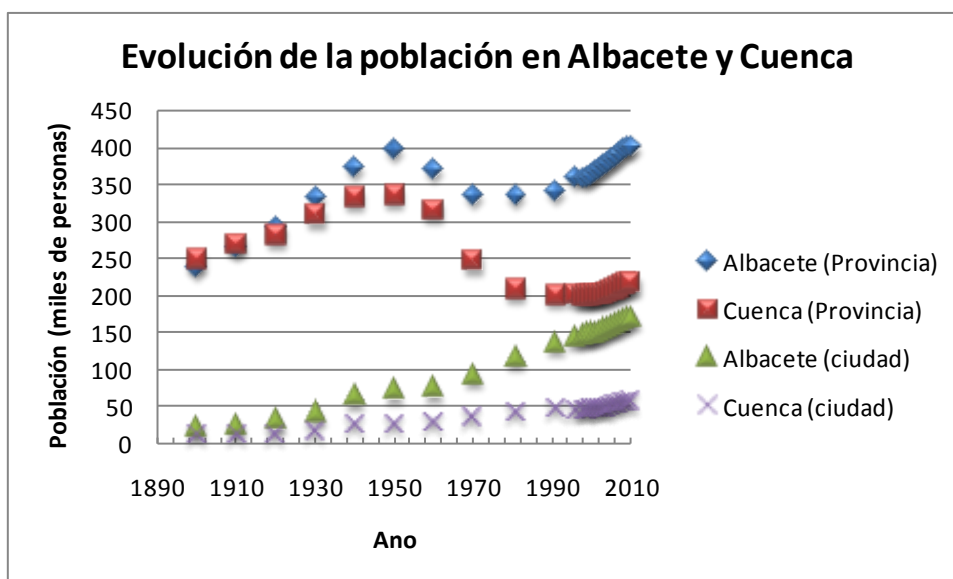


Gráfico 4.9: Evolución de la población en Albacete (provincia y ciudad) y Cuenca (provincia y ciudad).
Fuente: INE, 2011. Elaboración propia.

Puede observarse de la gráfica 4.9 que la población de la provincia de Albacete dobla a la población en Cuenca, sin embargo en lo que se refiere a la población de las respectivas capitales de provincias Albacete triplica a la población de Cuenca, llegando incluso a alcanzar valores muy cercanos al total de la provincia de Cuenca. Las migraciones al exterior de la provincia han tenido un efecto más prolongado en Cuenca (1940-1998) que en Albacete (1950-1991), sin embargo este factor no ha parecido afectar a las ciudades como se aprecia en la gráfica.

Castilla-La Mancha presenta una reducida densidad de población (21.5 hab/km^2), muy alejada de la expresada por España (78.4 hab/km^2), y por la UE (120 hab/km^2). A la baja densidad se añade una importante dispersión de la población ya que en las provincias estudiadas solo 2 municipios tienen más de 50000 habitantes (las dos capitales de provincia) y el 55% de los municipios tienen menos de 500 habitantes.

En el SMO el municipio de Albacete es el mayor poblado (2003: 155.142 habitantes) y con mayor densidad poblacional (2003: 138 hab/Km^2) comparándose a las correspondientes de la UE, sin embargo los municipios con densidades menores a 30 hab/Km^2 representan el 88% de la cuenca corroborando las estadísticas regionales de Castilla La Mancha.

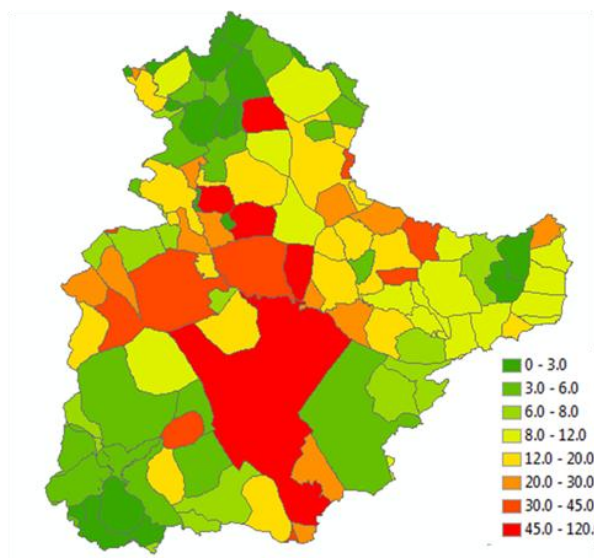


Figura 4.19: Densidades poblacionales⁸ de los Municipios del SMO en 2003. Fuente: INE, 2011. Elaboración propia.

La población en el SMO al 2003 era de 382.864 habitantes. Si definimos los municipios con menos de 2000 habitantes como población rural y a todos aquellos mayores a 10.000 habitantes como población urbana, en el SMO el 77% de los municipios son menores a 2.000 habitantes y 4.5% mayores a 10.000 habitantes. El 17.5% de la población reside en medio rural y un 61.8% de la población reside en medio urbano.

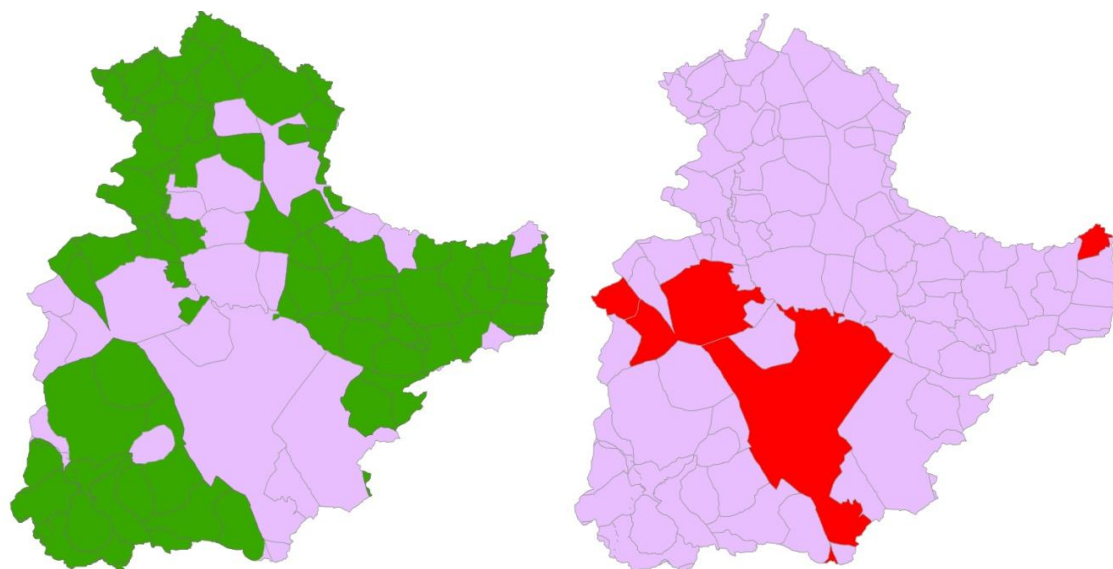


Figura 4.20: Municipios con poblaciones menores a 2.000 habitantes (izquierda en verde) y poblaciones mayores a 10.000 habitantes (derecha en rojo). Fuente: INE, 2011. Elaboración propia.

⁸ Se han tomado las poblaciones de 1996 (para el período 1990-2000) y de 2003 (para el período 2000-2006) como valores de referencia para el análisis histórico.

La Proyección de Población de España elaborada por el INE constituye una simulación estadística del tamaño y estructura demográfica de la población que residiría en España en los próximos años, en caso de mantenerse las tendencias y los comportamientos demográficos actualmente observados. De esta forma, estos resultados muestran, básicamente, el efecto que tendrían la evolución recientemente observada de la fecundidad, la mortalidad y las migraciones en cada uno de estos territorios.

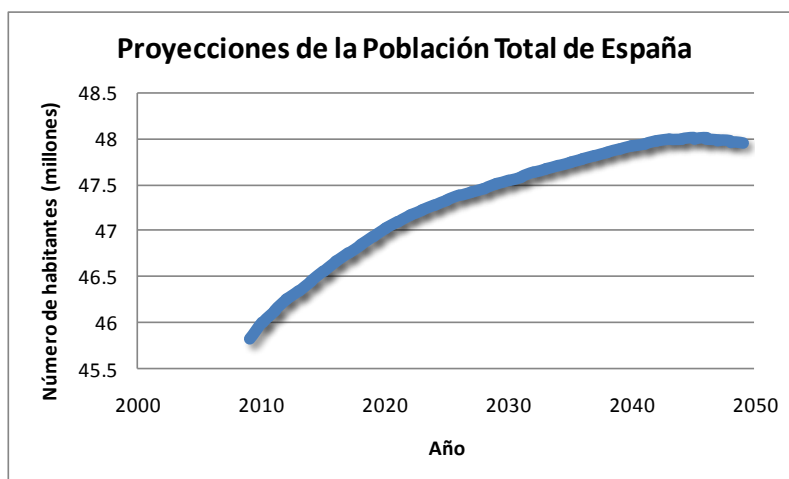


Gráfico 4.10 Proyección de la población total española a futuro. Fuente: INE, 2011. Elaboración propia.

La población de Castilla-La Mancha puede crecer hasta un 6,4 por ciento hasta el 2020, según se desprende de la encuesta 'Proyección de la Población de España a corto plazo 2010-2020', del Instituto Nacional de Estadística (INE) que refleja que, a nivel nacional, la población puede crecer hasta un 2,7 por ciento en ese periodo si se mantiene las tendencias demográficas actuales, frente al 14,8 por ciento de la última década, de forma que se mantendría una tasa anual de crecimiento demográfico en los próximos años con niveles inferiores al 0,35 por ciento y en ligera tendencia decreciente.

Los mapas de las densidades poblacionales de los años 1996 y 2003 de los municipios dentro de la cuenca, los municipios con poblaciones rurales y urbanas (núcleos poblacionales y aglomeraciones urbanas), y las restricciones que imponen las proyecciones de la población a futuro han sido los insumos utilizados para caracterizar la población y su evolución.

4.4.3 Factores económicos

El uso que se le da al suelo determina las actividades sociales y económicas de una determinada región. La actividad económica de las últimas décadas ha incrementado la demanda de muchos servicios y bienes ambientales, y de hecho muchos cambios en el uso del suelo están determinados por respuestas individuales o sociales a condiciones económicas, usualmente condicionadas por factores institucionales.

El Producto Interno Bruto (PIB) de la zona está compuesto en su mayoría por los aportes del sector servicios, seguido por la agricultura, la industria y la construcción que mantienen valores muy similares, dejando por último al sector energía (gráfico 4.11). Como puede apreciarse en las gráficas, la distribución porcentual de los sectores es muy similar en ambas provincias y si tomamos en cuenta también los gráficos 4.12 y 4.13 de la evolución del PIB y el PIB per cápita en ambas regiones, podemos afirmar que la economía de ambas provincias (y por ende del SMO) es alimentada por los mismos sectores principales.

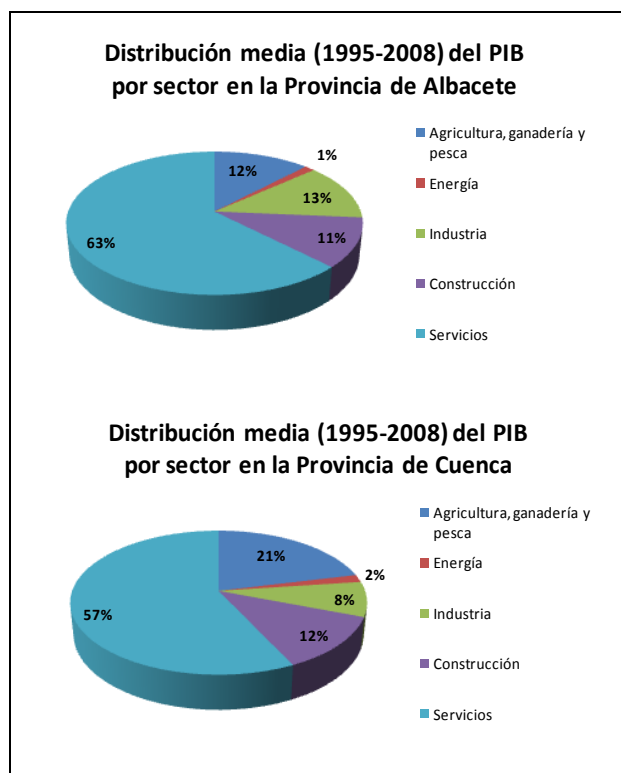


Gráfico 4.11. Distribución del Producto Interno Bruto (PIB) por sectores en las Provincias de Albacete y Cuenca. Fuente: INE, 2011. Elaboración propia.

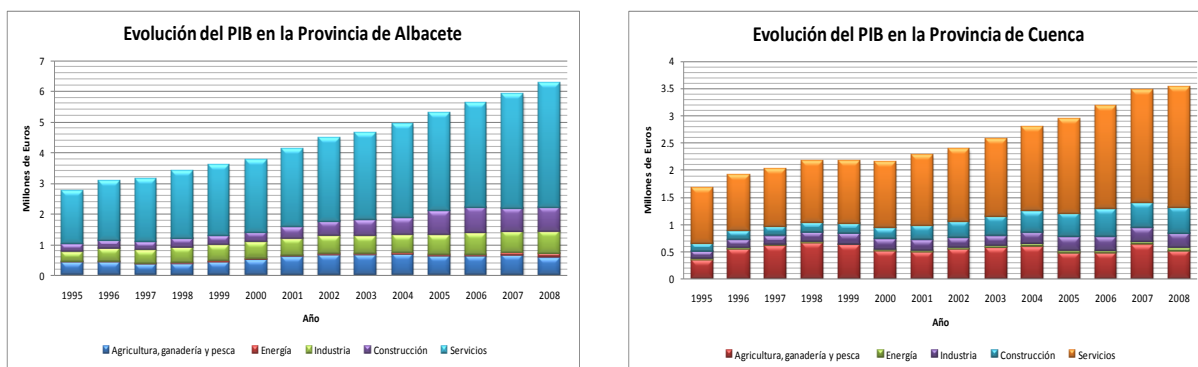


Gráfico 4.12: Evolución del Producto Interno Bruto (PIB) por sectores en las Provincias de Albacete (izquierda) y Cuenca (derecha). Fuente: INE, 2011. Elaboración propia.

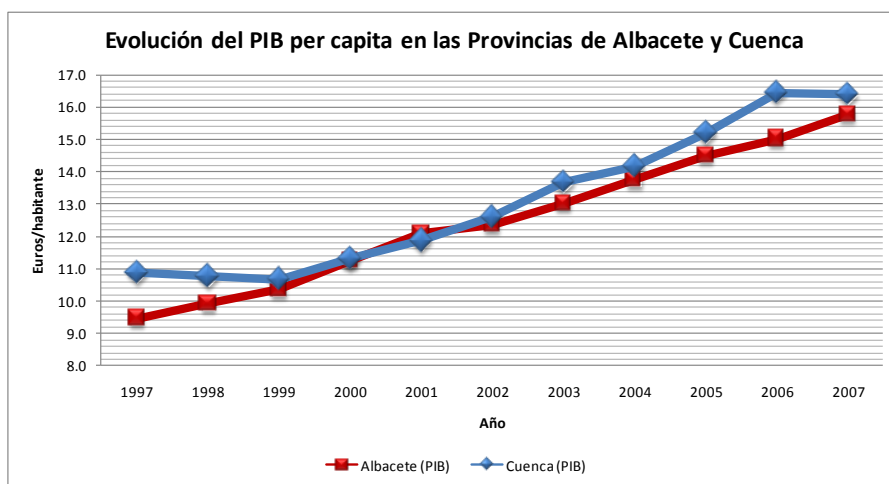


Gráfico 4.13: Evolución del PIB per cápita en las Provincias de Albacete y Cuenca (1997-2008). Fuente: INE, 2011. Elaboración propia.

La diferencia en los ingresos reflejados en el PIB por provincias (gráfico 4.12) muestra que el PIB de Albacete es casi el doble que el de Cuenca. Lo anterior se explica al comparar las poblaciones de ambas provincias (gráfico 4.9), en donde la población de la provincia de Albacete supera en casi el doble a la población de la provincia de Cuenca y por tanto el crecimiento económico reflejado en el PIB es simplemente reflejo de una mayor población y no de una mayor productividad como se puede apreciar en la comparación del PIB per cápita (gráfico 4.13).

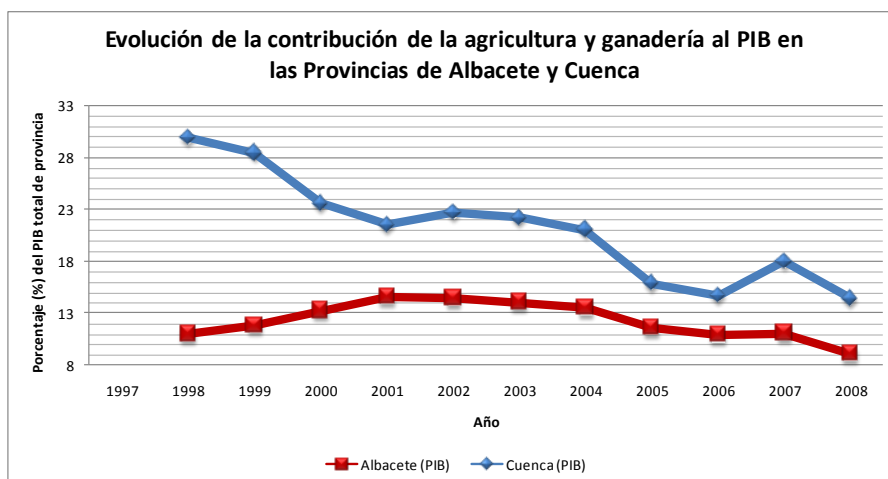


Gráfico 4.14: Evolución de la contribución de la agricultura y ganadería al PIB en las provincias de Albacete y Cuenca

Debido a la casi ausencia de pastos (sólo 12%) en la zona podríamos asegurar que el aporte al PIB es casi netamente hecho por la agricultura. De acuerdo con el Servicio de Estadística de Castilla La Mancha, en el 2009 (último dato oficial disponible) el sector ganadero representó sólo el 18% de la producción total atribuida al sector agrario. Es trascendente que haya existido un retroceso en el ingreso por este sector en ambas provincias como se aprecia en el gráfico 4.14. Si bien la agricultura es el tercer sector de contribución a los ingresos de la zona, su colaboración es de gran importancia al PIB regional de Castilla La-Mancha, convirtiéndolo en uno de los aportes agrícolas más importantes del país. El empobrecimiento de este sector en Albacete y Cuenca justifica en gran medida las migraciones de los jóvenes a las zonas urbanas, el desalojo de tierras de labor y la preferencia del sector servicios.

Las explotaciones se dedican en su gran mayoría a cultivos de secano, pero cada día es mayor la dedicación al regadío. No obstante, la sobre explotación de los acuíferos, y la escasez del caudal de los ríos pone en peligro estas explotaciones a medio plazo. Los titulares de las explotaciones son de edades cercanas a la jubilación, y las generaciones jóvenes no se incorporan a este sector lo que pone en peligro la continuidad de las explotaciones. El barbecho, aunque se practica, está en franco retroceso.

Los cereales dominan amplias extensiones, ya que se cultivan en régimen de secano en grandes explotaciones de llano. El viñedo es un cultivo tradicional. Castilla-La Mancha es la región con más viñedos de España. El olivar es un cultivo que hoy en día se ha reducido mucho. Las frutas y hortalizas tienen cada día más presencia, debido a su alto valor añadido, aunque necesitan de grandes cantidades de agua de regadío. Aún son pocas las explotaciones de cultivos bajo plástico, y es que los meses de heladas dificultan la producción de invernadero tradicional. Los cultivos industriales son, también, muy importantes: girasol, remolacha y tabaco. La explotación forestal tiene menor importancia económica.

La facilidad de acceso es un factor que influye en el costo de los servicios o productos. Las carreteras juegan un papel primordial en el desarrollo de una región y en el cálculo del costo de las materias primas, precio de los cultivos y los productos elaborados. La red vial existente se ha dividido en tres niveles para su análisis: carreteras locales, carreteras comarcales y carreteras nacionales.

4.4.4 La evolución de los regadíos

El cambio de superficie en secano a superficie regada, y su cambio de ritmo a principios de nuestro siglo es la principal transformación observada en la zona del Sistema de la Mancha Oriental. Esta transición es consecuencia de dos razones primordiales: a) el ingreso de España en la Comunidad Europea (1986) y b) la entrada en vigor de la Ley de Aguas de 1985 con su consecuente Plan Hidrológico del Júcar de 1998.

La entrada en la CE significó una serie de cambios en el país ibérico, principalmente con el ingreso de la Política Agraria Común (PAC) y sus posteriores reformas (1992 y 2003). La PAC tiene como objetivos básicos (artículo 39, Tratado de Lisboa): aumentar la productividad de la agricultura, asegurar un nivel de vida equitativo a la población agraria, estabilizar los mercados, garantizar la seguridad del abastecimiento y, asegurar precios razonables a los consumidores.

Si bien la PAC ha logrado contribuir a la estabilidad social de la UE, este conjunto de políticas agrarias han sido marcadas por su ineficiente eficacia desde el punto de vista económico, a

destacar: la aparición de excedentes de producción, el sobrecoste pagado por los consumidores europeos y la concentración de apoyo a los ingresos de las grandes explotaciones. A partir de los ochenta se vienen sucediendo una serie de medidas correctoras para paliar los efectos colaterales de la PAC, sin embargo es a partir de 1992 cuando una verdadera reforma se hace presente: la introducción de los pagos directos por hectárea o por cabeza de ganado, asociados (o no) a los incentivos a la producción. La puesta en marcha de esta reforma determinó un nuevo horizonte para los productos y conformó un nuevo agricultor movido por las directivas e incentivos de la PAC, llegando a tal dependencia de las subvenciones comunitarias que eran éstas las que justificaban y orientaban su quehacer. Según Blanco y Esteban (1995), en esta época el agricultor valora primero la subvención, y después decide sobre los cultivos a sembrar, sin dejar de contar un poco la tradición. La libertad de decidir a qué cultivos dedicarse, regido por las reglas del mercado y los precios, se ve disminuida por las cuantías de las subvenciones, imprescindibles en muchas ocasiones para que la agricultura sea rentable, siendo los beneficios estrictamente lo aportado por las mismas.

Si observamos la evolución histórica (gráficos 4.15 y 4.16) de los regadíos en la zona se muestra claramente el crecimiento de los regadíos de primavera (cebada, trigo, colza, ajo)⁹ respecto a los regadíos de verano (maíz, remolacha, cebolla), que han venido disminuyendo su superficie a lo largo de los años. Las dobles cosechas (alfalfa, judías) muestran un crecimiento similar a los regadíos de primavera antes del 2000, año en el que las superficies de todos los cultivos alcanzan una superficie total muy similar, pero después de este año, una tendencia similar a los regadíos de verano. Tomando como referencia los años 1989, 2000 y 2006¹⁰, los regadíos de verano que representaban el 68% de la superficie regada en 1989 han pasado a representar el 38% y 33% en 2000 y 2006; los regadíos de primavera del 22%, han pasado a representar 30% y 48% respectivamente; y, las dobles cosechas del 10%, representan 32% y 19% de dichos años respectivamente.

⁹ Se han colocado a modo de ejemplo los cultivos más representativos de la zona.

¹⁰ Estos años se han tomado para comparar las superficies con las respectivas imágenes del proyecto CLC.

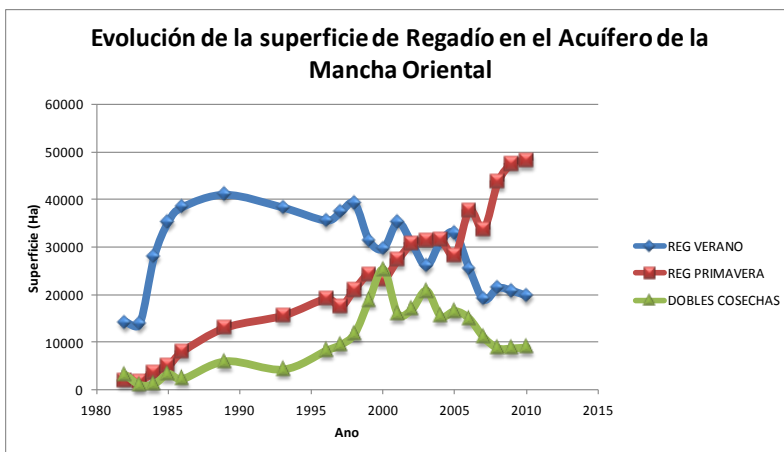


Gráfico 4.15: Evolución de las superficies de regadío en el Acuífero de la Mancha Oriental.
Fuente: Calera 2010. Proyecto ERMOT.

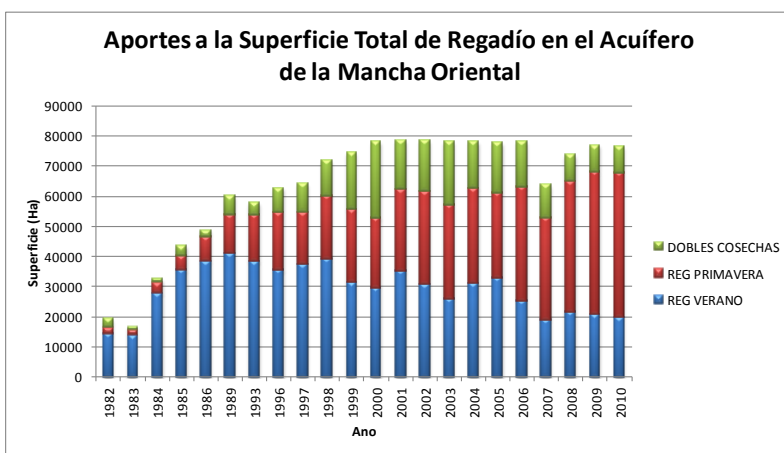


Gráfico 4.16. Aportes individuales de los diferentes regadíos a la superficie total regada en el SMO
Fuente: Calera 2010. Proyecto ERMOT.

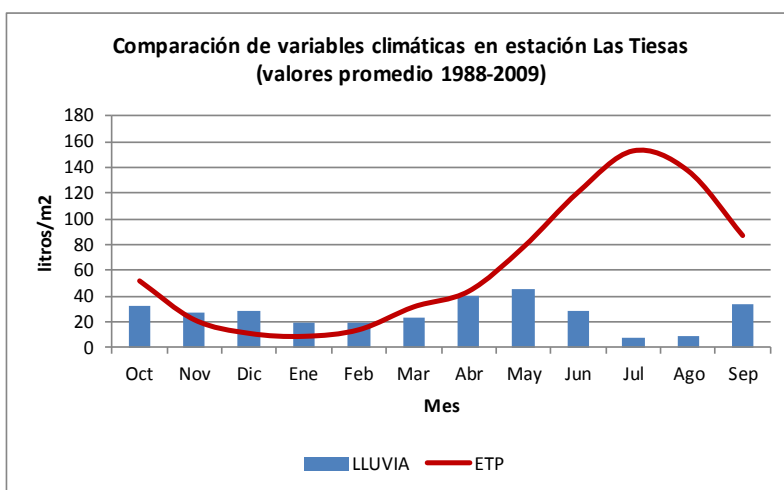


Gráfico 4.17: Distribución de la lluvia y la evapotranspiración potencial (Thornewaite) en el SMO.
Fuente: ITAP, Informe Climático, 2009

Al estudiar la evolución de los regadíos se deben analizar separadamente los regadíos de iniciativa pública y los regadíos de iniciativa privada. A partir de los 80's las iniciativas públicas comienzan a utilizar los riegos por aspersión mediante la instalación de aspersores fijos, diferente a la práctica habitual de riego por inundación a través de acequias hecho hasta el momento. A finales de los años 80 aparece una fórmula mixta de desarrollo agrario: la actuación de la iniciativa privada sobre la iniciativa pública. A través de este modelo, un adelanto significativo para su tiempo, se crean parcelas individuales de cobertura fija enterrada (riego por aspersión), pero con un hidrante-contador volumétrico automatizado que se encarga de controlar, administrar y facturar el agua.

La iniciativa privada ha sido la mayor responsable de las transformaciones en el sistema (80%), contrario a lo usual en el resto del país, en donde la iniciativa pública ha sido la gran promotora de las transformaciones y posteriormente se han concedido los derechos a los usuarios. A partir de sondeos en sus propios predios, los usuarios han transformado las superficies aptas para regar utilizando los mejores sistemas de riego a su disposición. Con la aparición del Pivot, las bombas sumergidas, las bombas de impulsión, motores, reproductores y los aparatos de accionamiento eléctrico comenzó una enfebrecida carrera que hizo que proliferaran hasta 1500 aparatos en menos de 20 años, la mayor concentración de toda Europa en ese tiempo. En la actualidad el 60% de las superficies de regadío utilizan estos sistemas y han tenido un impacto importante en la economía de la zona.

El Real Decreto 950/1989, conocido como el Decreto de las 50000 Ha, declara de interés general de la nación la transformación económica y social de las zonas regables de Manchuela Centro y Canal de Albacete en Castilla La Mancha. Si bien este Decreto logró un apoyo del gobierno en los objetivos de los legisladores, no se tomó en cuenta la disponibilidad de los recursos hídricos para lograr dicha transformación. La explotación irracional avalada por la Ley de aguas de 1985 en su artículo 52-2 (concedía a cualquier dueño de predio utilizar 7000 m³ para el uso que él mismo estime oportuno), el incremento de sistema de riego, la imposibilidad de contar con recursos superficiales adicionales debido a las disputas sobre el uso de los recursos en el embalse de Alarcón provocó un uso insostenible de las aguas subterráneas en la zona provocando disminución de los niveles piezométricos y en algunas superficies cambio del régimen del acuífero.

A partir de año 2000 se observa que el total de superficie en regadío en el SMO se mantiene con ligeras fluctuaciones, pero con una tendencia clara hacia la estabilización. La razón primordial de esta estabilización es la puesta en marcha de los planes de explotación de la Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental (JCRMO) a partir de 1996, año siguiente de la creación de la Junta. La JCRMO es el producto de un grupo de agricultores preocupados por el manejo sustentable del SMO y del Instituto Técnico de Albacete Provincia (ITAP) con diversas iniciativas públicas.

La entrada en vigor de la Ley de Aguas en 1985 tenía algunas lagunas en la ordenación de la explotación de las aguas subterráneas y contemplaba que las juntas centrales de usuarios eran imprescindibles para la explotación de las aguas superficiales, no siendo así para las aguas subterráneas, dejando a cada usuario la libertad de utilizar el recursos a su disposición (7000 m³). Diez años tuvieron que transcurrir hasta que la disputa por los recursos hídricos se comenzara a regularizar con la creación de la JCRMO en 1995 y el posterior Plan Hidrológico del Júcar en 1998. La nueva legislación vino a regular las asignaciones, las reservas, los caudales ecológicos y un balance en la administración de los recursos hídricos. Nuevos cambios se han introducido con el nuevo Texto Refundido de la Ley de Aguas (Real Decreto 1/2001 de 20 julio 2001), pero aun están en estudio sus repercusiones en el sistema (CHJ, 2007).

La evolución del precio de la energía eléctrica (gráfico 4.18) también ha sido determinante en los últimos años. Los precios de la energía en llano y en valle (los más utilizados en el bombeo) presentan una tendencia similar a la evolución de los precios al consumidor final particular o industrial en España en los últimos años. El precio punta no se ajusta a esta tendencia, sin embargo se observa que a partir del 2009 se ha estabilizado y que parece seguir la misma tendencia de los demás precios. La subida del precio parece coincidir con la entrada en vigor de nuevas leyes propuestas por la nueva legislatura en el 2004 y 2008, especialmente los cambios ocurridos en el costo de la potencia en el 2008 y publicados en el Boletín Oficial del Estado (BOE, 2008). La mayoría de los regadíos en la zona del SMO obtienen el recurso hídrico del acuífero por medio de bombeos, los cuales a su vez dependen de energía eléctrica para operar. El encarecimiento a partir de 2004 de la energía eléctrica ha sido determinante en la preferencia por los cultivos de primavera respecto a los

cultivos de verano o a las dobles cosechas. La razón parece obvia, aunque no necesariamente es la única: si en verano las temperaturas son mayores (evapotranspiración alta) y la precipitación menor (gráfico 4.17), para satisfacer las demandas hídricas del clima y de los cultivos, la demanda de bombeos debe crecer aumentando los costes directos de la producción. En primavera, cuando la evapotranspiración es menor, se puede hacer un uso conjunto de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, aumentando la eficiencia del riego y disminuyendo el costo del bombeo.

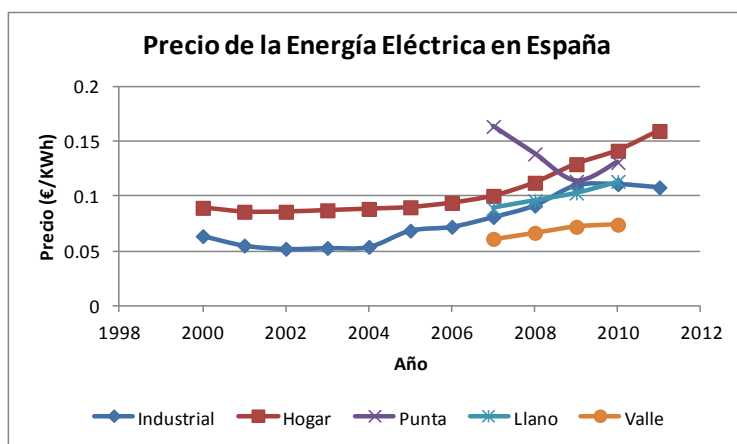


Gráfico 4.18: Evolución del precio de la energía eléctrica en España y en el SMO.

Fuente: Eurostat, 2011; JCRMO, 2010

Este aumento de la energía eléctrica ayuda a explicar el constante ahorro que los agricultores han venido practicando a lo largo de los años y las constantes quejas del encarecimiento de la producción con la consecuente reducción en las utilidades de producir un determinado cultivo. Con el aumento de la energía eléctrica y las constantes influencias políticas y ecológicas sobre el recurso hídrico escaso, en la zona es evidente la presión de las distintas fuerzas en la zona por reducir los costos, aumentar las utilidades y mantener un sistema de explotación sostenible que asegure la producción continuada a lo largo del tiempo.

Es difícil enmarcar en una sola razón la causa de los cambios, pero si se puede afirmar que los cambios en la PAC, las variables climáticas y el precio de los bombeos (reflejado en las tarifas eléctricas) han tenido una especial repercusión en la magnitud de los cambios en el régimen de producción de los agricultores, y por tanto de las tierras que dedican a sus cultivos.

4.4.5 Impactos en el Sistema de la Mancha Oriental

El impacto más importante de la evolución de las superficies en regadío en el SMO es la disminución de los niveles del acuífero debido a los bombeos para el riego (Martín de Santa Olalla, et al., 1999). En el gráfico 4.18 puede apreciarse la disminución de niveles del acuífero a raíz del aumento de superficie en regadío en el SMO. La cantidad de agua suministrada es directamente proporcional hasta 1986, año en que entra en vigor la Ley de Aguas de 1985 y comienzan las restricciones. La nueva tendencia a partir de 1986 también se corresponde con la introducción de las nuevas tecnologías de riego y su aplicación automatizada aumentando la eficiencia del mismo. Aunque la cantidad de agua utilizada en el riego no sigue la misma proporción que las tierras que se dedican a este uso, el nivel del acuífero ha continuado bajando (Gráfico 4.19). Esta tendencia ha sido producto de la poca recarga que recibe el acuífero y la explotación de la que es objeto (López, G., 2008).

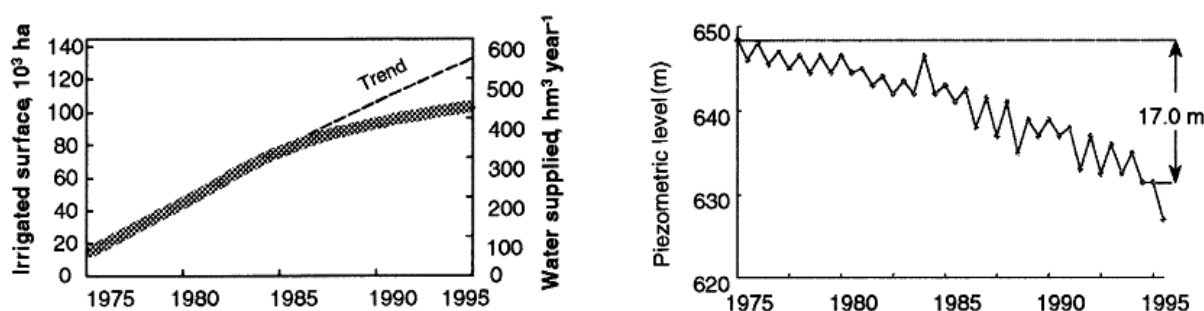


Gráfico 4.19. Evolución de las superficies en regadío, el agua suministrada y nivel piezométrico en el SMO. Fuente: López (2008)

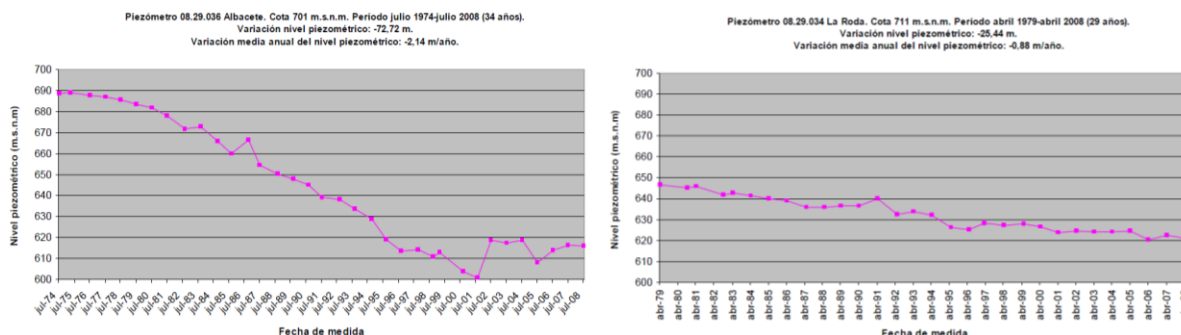
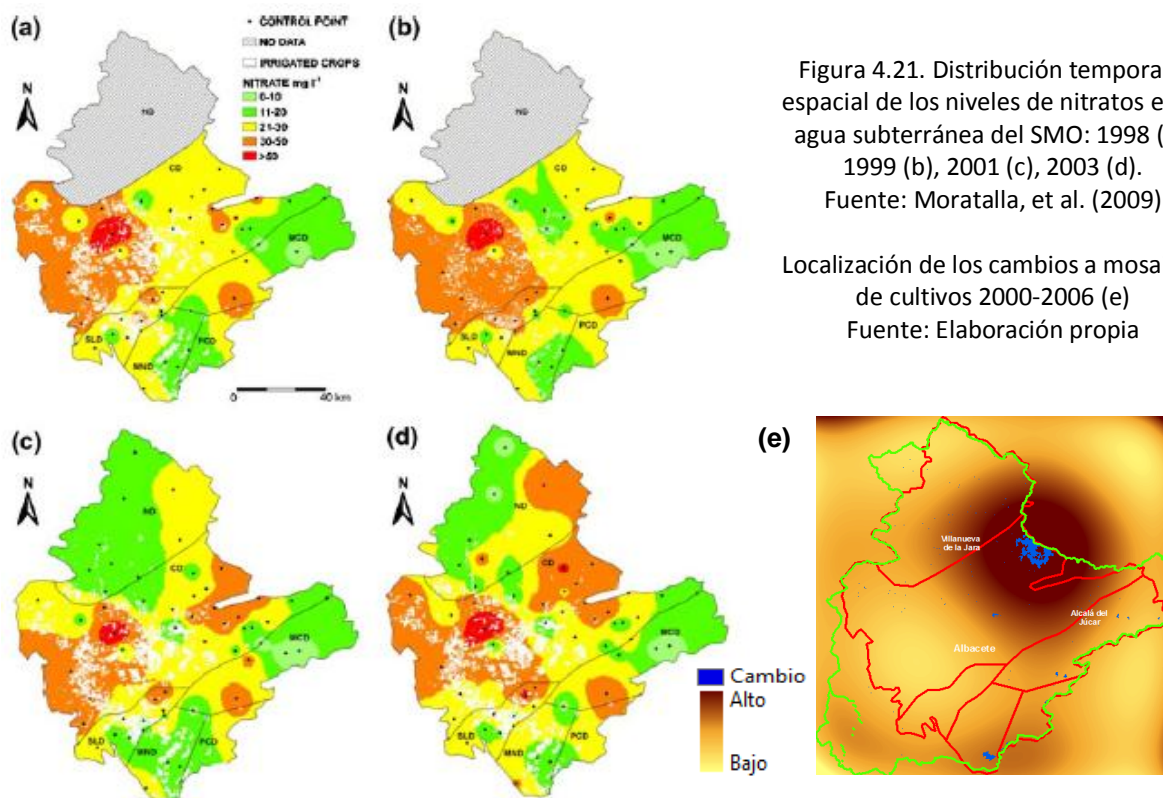


Gráfico 4.20. Evolución de los niveles piezométricos en dos estaciones en el SMO. Fuente: López (2008)

Otro de los mayores impactos que ha tenido lugar en los últimos años en el SMO es el aumento de los niveles de nitratos hasta el punto de ser declarado zona altamente vulnerable a la contaminación por nitratos (DOCM, 1998). El aumento de los niveles de nitratos se debe principalmente a la actividad agrícola (Moratalla, et al., 2009). Como se muestra en la figura 4.21, la distribución temporal y espacial ha estado relacionada con las zonas de terrenos regados permanentemente, sin embargo esta correlación no explica los aumentos de nivel de nitratos en la zona más oriental del Dominio Central del SMO (mapas c y d de la figura 4.21). La explicación al incremento de niveles de nitrato en esta zona está ligada a la conversión de tierras de labor en secano a mosaicos de cultivos (mapas c, d y e de la figura 4.21).



Los nitratos en el agua subterránea es una materia de preocupación por sus repercusiones en negativos en la salud humana (Babiker, et al., 2004) y por la eutrofización de las aguas superficiales (Moreno, et al., 2006). El control y seguimiento de los nitratos es una prioridad ante el alto uso que se le da a las aguas subterráneas para el uso agrícola y de abastecimiento de las poblaciones del Sistema de la Mancha Oriental.

4.4.6 Fuerzas motrices seleccionadas

La lista definitiva de las fuerzas motrices seleccionadas es la siguiente:

<i>Factores Biofísicos</i>
1. <i>Distancia hacia los ríos y cauces principales</i>
2. <i>Distancia a los embalses, lagos y balsas</i>
3. <i>Precipitación media anual (Thiessen)</i>
4. <i>Temperatura media anual (Thiessen)</i>
5. <i>Pendiente</i>
6. <i>Topografía (Modelo Digital de Elevación – MDE)</i>
7. <i>Orientación</i>
8. <i>Tipo de suelo (proporción de materia orgánica)</i>
9. <i>Proximidad a zonas inundables</i>

<i>Factores Sociales</i>
10. <i>Distancia a las aglomeraciones urbanas</i>
11. <i>Distancia a los núcleos poblacionales</i>
12. <i>Densidad poblacional en 2003 a nivel municipal</i>
13. <i>Tasa de crecimiento poblacional (1996-2003) por municipio</i>

<i>Factores Económicos y Políticos</i>
14. <i>Distancia a carreteras locales</i>
15. <i>Distancia a carreteras comarcales</i>
16. <i>Distancia a carreteras nacionales</i>
17. <i>Distancia hacia los pozos de extracción (ubicación de las bombas)</i>
18. <i>Ubicación de las zonas agrícolas (moda)</i>
19. <i>Pertenencia a una determinada provincia</i>
20. <i>Pertenencia a la cuenca del SMO</i>

Tabla 4.6. Fuerzas motrices seleccionadas en el análisis del SMO

4.5 Análisis para la asignación espacial del cambio de la cobertura/uso del suelo en el SMO

4.5.1 Selección de escenarios futuros¹¹

Antes de comenzar la discusión sobre la modelación espacial es necesario definir el o los escenarios que se utilizarán para el análisis del futuro. La resolución espacial, categorías y enfoque de análisis son muy importantes a la hora de escoger un determinado proyecto. En nuestro caso, para la región del SMO, de los proyectos expuestos en el capítulo 2 se ha optado por escoger las proyecciones de Eururalis (Klijn et al., 2005; Rienks, 2007). Los escenarios generados por este proyecto tienen como objetivo principal estudiar lo que puede pasar con la Europa rural del futuro. El SMO es eminentemente un sistema dependiente de la agricultura (López, 2000) y por tanto la importancia de enfocarnos en el medio rural es evidente.

Eururalis se ha desarrollado por Netherlands Environmental Assessment Agency a través del apoyo del Gobierno de Holanda en diferentes fases: 1.0 (2004), 2.0 (2008) y actualmente 3.0 (2010). Su horizonte temporal es el 2030 con año base el 2000 y con pasos de tiempo de 10 años, algunos de sus resultados tienen una resolución espacial de 1 Km., como los mapas de cobertura o uso del suelo que es la materia que nos ocupa. Cuenta con cuatro escenarios básicos (A1, A2, B1 y B2) a partir de los cuales diversas variantes se han cuantificado para ayudar a los tomadores de decisiones el estudio del impacto de políticas y medidas a nivel de país o de regiones (WUR/MNP, 2007).

Eururalis tiene su fuerte simulando los efectos de los efectos de contextos globales en la agricultura y áreas rurales de Europa. Para proveer resultados económicos y ecológicos consistentes, los diferentes modelos están ligados mediante el cambio del uso del suelo. Para capturar todos los procesos clave en el CCUS Eururalis utiliza una combinación de tres modelos (Verburg et al., 2007): LEITAP, IMAGE y CLUE-s. Alimentados por indicadores

¹¹ Para una descripción más detallada de Eururalis y otros proyectos similares ver capítulo 2.

cuantificados de escenarios, la combinación de estos tres modelos produce una serie de indicadores sociales, económicos y ecológicos.

4.5.2 Re-clasificación de las imágenes CLC

Para aprovechar los resultados del proyecto Eururalis es necesario hacer una reclasificación de las categorías CLC utilizadas hasta el momento para describir los cambios en el SMO.

La clasificación de las coberturas de Eururalis son 9 (una de ellas para representar las zonas fuera de estudio) y difiere de las 15 definidas anteriormente para estudiar los cambios históricos (proyecto CLC). La imagen en común para poder realizar una comparación entre ambos proyectos fue la imagen del 2000. Al comparar estas imágenes se ha encontrado una alta correlación entre ambas (ver gráfico 4.21 y figura 4.22) permitiendo la agregación de las clases del CLC a las clases de Eururalis. La tabla 4.7 muestra la correspondencia entre las clases del CLC y Eururalis para el análisis de los escenarios futuros del SMO.

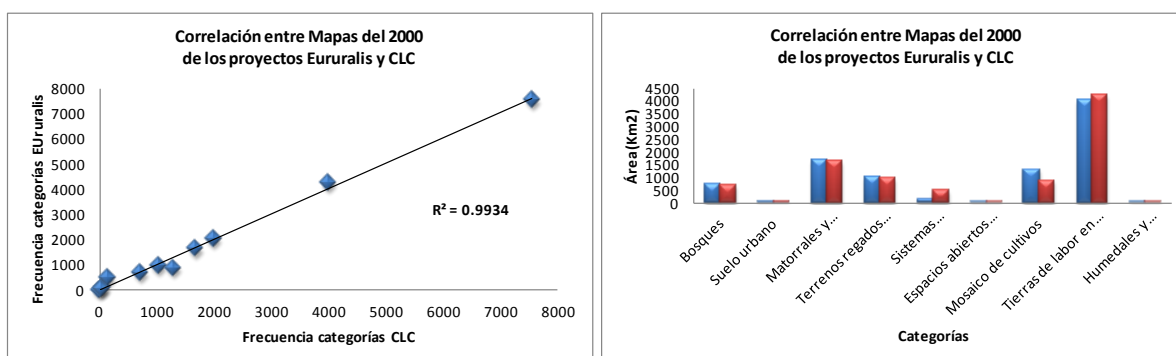


Gráfico 4.21. Relación entre mapas de coberturas/uso del suelo entre los proyectos CLC y Eururalis.

Clase	Eururalis - Descripción	Clase	CLC - Descripción
0	Out boundaries (fuera de cuenca)	0	Fuera de cuenca
1	Forest (Bosques)	11	Bosques
2	Built-up areas (Áreas construidas)	1	Suelo urbano
3	Pastures (Pastos y matorrales)	12	Matorrales y vegetación herbácea
4	Irrigated arable land (tierras irrigadas)	3	Terrenos regados permanentemente
5	Nature (Naturaleza)	10	Sistemas agroforestales
6	Static land use type (Uso de suelo estático)	13	Espacios abiertos con poca vegetación
7	Natural grassland (terrenos naturales)	8	Mosaico de cultivos
8	Abandoned lands (tierras abandonadas)	13	Espacios abiertos con poca vegetación
9	Non-irigated arable lands (tierras en secano)	2-9-4-5-6	Tierras de labor en secano, terrenos principalmente agrícolas, viñedos, frutales y olivares
10	Wetlands (Tierras húmedas)	14-15	Humedales y superficies de agua

Tabla 4.7. Correspondencia entre clasificación CLC y clasificación Eururalis.

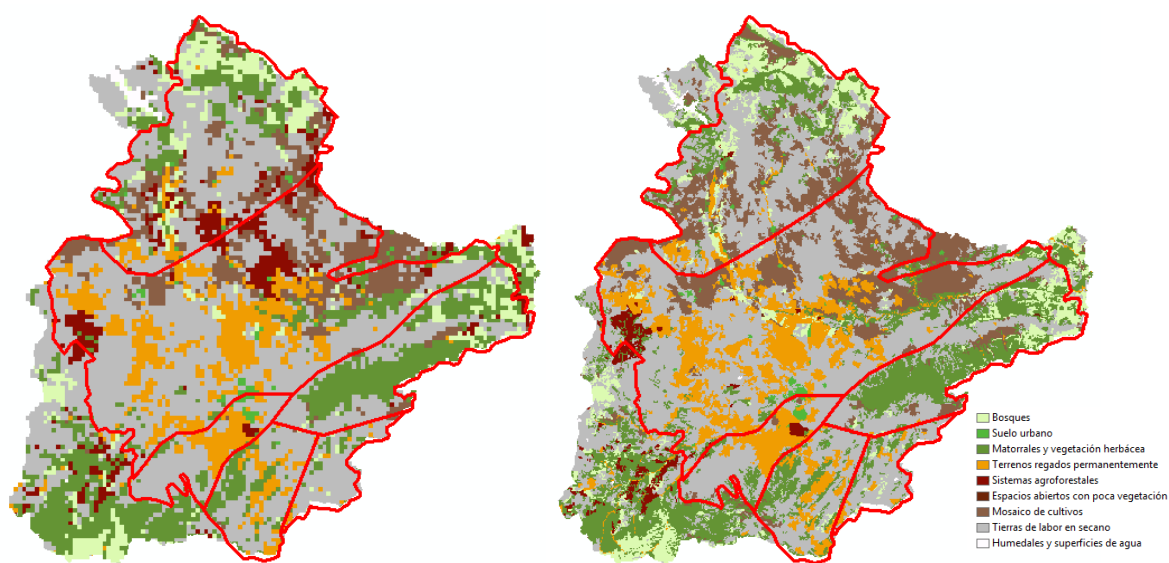


Figura 4.22. Correspondencia espacial entre imagen Eururalis-izq. (Res. 1 Km) y CLC-der. (Res. 100 m)

En la dinámica de los procesos de CCUS los tipos de suelo estático y las tierras abandonadas son procesos marcadamente diferentes, no obstante debido a las magnitudes de los cambios y a la complejidad de los mismos se decidió agregar estas categorías en la misma categoría CLC de espacios abiertos con poca vegetación. La clasificación final utilizada es la expresada en la tabla 4.8 y en la figura 4.22.

Clase	CLC - Descripción
0	Fuera de cuenca
1	Bosques
2	Suelo urbano
3	Matorrales y vegetación herbácea
4	Terrenos regados permanentemente
5	Sistemas agroforestales
6	Espacios abiertos con poca vegetación
7	Mosaico de cultivos
8	Tierras de labor en secano
9	Humedales y superficies de agua

Tabla 4.8. Clasificación final utilizada en el análisis del SMO

4.5.3 Modelación de transiciones

Las transiciones están caracterizadas por los flujos de cambio y éstos a su vez por las fuerzas motrices que mueven la conversión de una cobertura o uso a otro. A continuación se caracterizará cada transición y se describirán los coeficientes clave más importantes para su modelación a través de redes neuronales.

4.5.3.1 Selección de transiciones a modelar

Al realizar una reclasificación de los mapas a un sistema unificado entre Eururalis y Corine Land Cover la magnitud de las transiciones ha cambiado y posiblemente su importancia a la hora de evaluarla para la modelación. Un nuevo análisis de las transiciones se ha elaborado con la clasificación de la tabla 4.8 y se resumen en las tablas 4.9 y 4.10.

Número de procesos	Clasificación	Área (ha)	% cambio	% acumulado
	Persistencia dentro de cuenca	846665		
1	Tierras de labor en secoano to Terrenos regados permanentemente	33989	68.3	68.3
2	Mosaico de cultivos to Tierras de labor en secoano	5073	10.2	78.5
3	Tierras de labor en secoano to Mosaico de cultivos	4446	8.9	87.4
4	Mosaico de cultivos to Terrenos regados permanentemente	1841	3.7	91.1
5	Matorrales y vegetación herbácea to Tierras de labor en secoano	796	1.6	92.7
6	Bosques to Matorrales y vegetación herbácea	626	1.3	94.0
7	Tierras de labor en secoano to Suelo urbano	579	1.2	95.1
8	Bosques to Tierras de labor en secoano	522	1.0	96.2

Tabla 4.9. Transiciones más importantes de cobertura/suelo en el SMO entre 1990-2000

Número de procesos	Clasificación	Área (ha)	% cambio	% acumulado
	Persistencia dentro de cuenca	871489		
1	Tierras de labor en secoano to Mosaico de cultivos	8529	32.4	32.4
2	Tierras de labor en secoano to Terrenos regados permanentemente	4066	15.5	47.9
3	Bosques to Matorrales y vegetación herbácea	2336	8.9	56.7
4	Matorrales y vegetación herbácea to Bosques	1544	5.9	62.6
5	Tierras de labor en secoano to Suelo urbano	1264	4.8	67.4
6	Terrenos regados permanentemente to Tierras de labor en secoano	1234	4.7	72.1
7	Mosaico de cultivos to Terrenos regados permanentemente	1205	4.6	76.7
8	Matorrales y vegetación herbácea to Tierras de labor en secoano	1178	4.5	81.1
9	Tierras de labor en secoano to Matorrales y vegetación herbácea	1046	4.0	85.1
10	Mosaico de cultivos to Tierras de labor en secoano	646	2.5	87.6

Tabla 4.10. Transiciones más importantes de cobertura/suelo en el SMO entre 2000-2006

Realizar la modelación de todos los cambios de cobertura resulta muy extenso, demandante en recursos e impráctico para la escala a la que se está realizando el análisis, por lo que el análisis se ha limitado a observar el comportamiento de aquellas transiciones o cambios que

hayan afectado a más de 500 hectáreas (tablas 4.9 y 4.10) y cuyos procesos representan el 96.2 % del cambio entre 1990-2000 y el 87.6 % en el período 2000-2006. Los gráficos 4.22 y 4.23 muestra las relaciones respectivas entre número de procesos, representación del cambio y diferentes potenciales umbrales de análisis. Se puede apreciar de las gráficas que en ambos períodos el aumento en la precisión no justifica el número de procesos o transiciones a modelar. Se decidió utilizar, por tanto, un umbral de 500 Ha el cual incluye 8 procesos en el primer período y 10 procesos en el segundo período y 10 procesos a modelar en el segundo. La mayoría de las transiciones son comunes a ambos períodos de estudio lo cual reduce el número total de transiciones a modelar a 11 (tabla 4.11).

Si consideramos la persistencia junto con las transiciones seleccionadas estamos representando el 99.79% de la superficie de la cuenca en el período 1990-2000 y el 99.63% de superficie de la cuenca de el período 2000-2006.

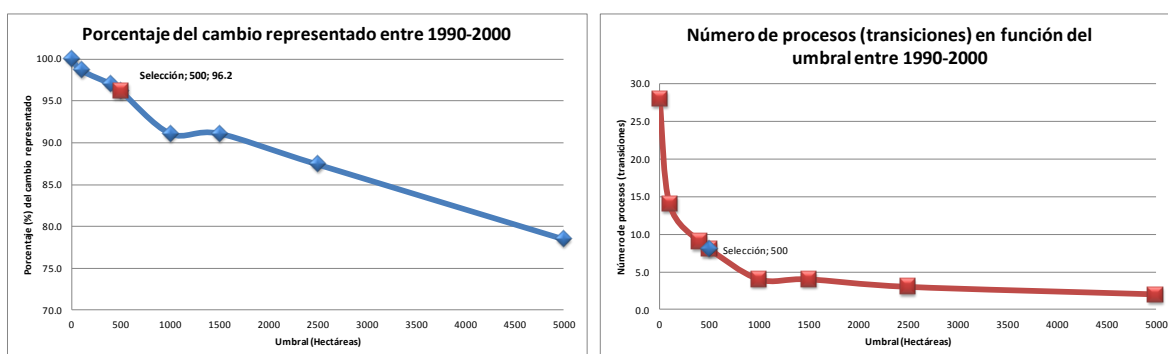


Gráfico 4.22. Relación de porcentaje de cambio representado por las transiciones entre 1990 y 2000, número de transiciones y potencial umbral para la modelación. El punto representa el umbral seleccionado.

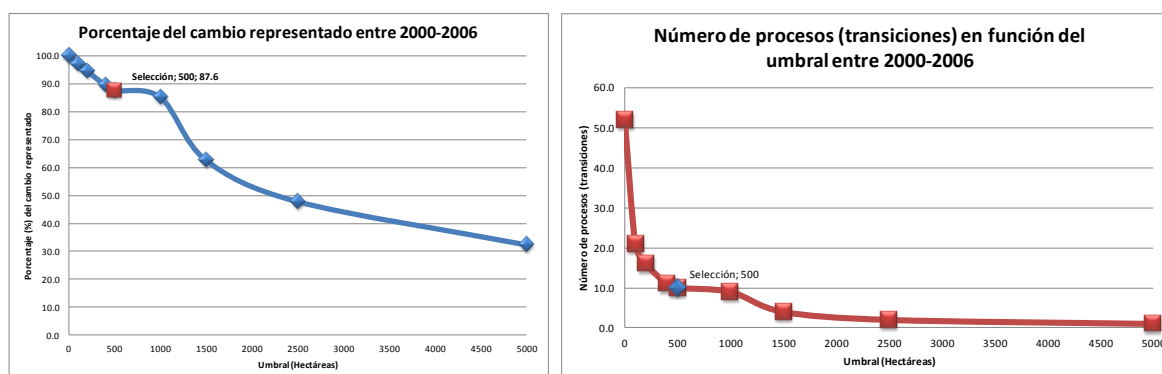


Gráfico 4.23. Relación de porcentaje de cambio representado por las transiciones entre 2000 y 2006, número de transiciones y potencial umbral para la modelación. El punto representa el umbral seleccionado.

Número de procesos	Clasificación
1	Tierras de labor en secano to Terrenos regados permanentemente
2	Mosaico de cultivos to Tierras de labor en secano
3	Tierras de labor en secano to Mosaico de cultivos
4	Mosaico de cultivos to Terrenos regados permanentemente
5	Matorrales y vegetación herbácea to Tierras de labor en secano
6	Bosques to Matorrales y vegetación herbácea
7	Tierras de labor en secano to Suelo urbano
8	Bosques to Tierras de labor en secano
9	Matorrales y vegetación herbácea to Bosques
10	Terrenos regados permanentemente to Tierras de labor en secano
11	Tierras de labor en secano to Matorrales y vegetación herbácea

Tabla 4.11. Transiciones a modelar en la cuenca superficial del Sistema de la Mancha Oriental.

4.5.3.2 Transiciones y sus fuerzas motrices

Del análisis histórico (ver sección 4.3.1), analizamos y obtuvimos una serie de fuerzas que podrían explicar el CCUS en el SMO. La lista de las 20 fuerzas motrices evaluadas se encuentra en la tabla 4.6, la cual evidencia la influencia de los factores biofísicos, económicos, sociales y políticos dentro del SMO. Con la ayuda de estas fuerzas motrices se caracterizarán las transiciones más importantes (tabla 4.11) que han tenido lugar en la zona de estudio.

Para indicar la influencia o capacidad de explicar una determinada cobertura o transición se utilizará el estadístico Cramer's V. El estadístico Cramer's V es una popular medida de asociación entre dos variables nominales incluidas en matrices mayores a 2x2. Su valor varía entre 0 (que corresponde a ninguna correlación entre las variables) y 1 (inclusive, que corresponde a una asociación completa). Un valor alto de Cramer's V indica que el valor explicativo potencial de la variable es bueno, pero no garantiza un buen funcionamiento pues no mide

Procedimiento del Test para la selección de Variables explicativas

Este procedimiento está basado en un análisis de una tabla de contingencia (Matriz de Confusión). Para variables cualitativas, usa las categorías nativas de la variable para probar la asociación con la distribución de la cubierta/uso del suelo en el mapa de cobertura más reciente. Variables cuantitativas se clasifican en 256 categorías para elaborar el test. La medida cuantitativa de asociación usada es Cramer V. El valor de p expresa la probabilidad que Cramer V no sea significativamente diferente de 0. Nótese que esto asume que todos los píxeles son muestras independientes y no tienen dependencia espacial en sus valores. Por tanto un bajo valor de p no es buen indicador de que la variable vale la pena, pero un valor alto es por seguro un indicador que esa variable puede ser desechada.

los requerimientos matemáticos de un enfoque de modelación ni la complejidad de las relaciones. Aun así, es un buen indicador, y si el Cramer's V es bajo, la variable puede ser descartada. Está basado en el estadístico de Pearson chi-cuadrado y fue publicado por el matemático suizo Harald Cramer en 1946. Cramer V se calcula tomando la raíz cuadrada del estadístico chi-cuadrado dividido por el tamaño de la muestra y la longitud de la mínima dimensión:

$$\phi_c = \sqrt{\frac{\chi^2}{N(k-1)}}$$

Donde:

χ^2 es chi-cuadrado derivado del test de Pearson; N es el número total de observaciones; y k es el número de filas o columnas, el menor de ellas.

03 Densidad Poblacional			09 Moda de cultivos		
	Total	0.1787		Total	0.2689
Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia
Sistemas agroforestales	0.3636	0	Terrenos regados permanentemente	0.5469	0
Tierras de labor en seco	0.3576	0	Humedales y superficies de agua	0.5257	0
Suelo urbano	0.2679	0	Sistemas agroforestales	0.495	0
Terrenos regados permanentemente	0.259	0	Suelo urbano	0.4027	0
Espacios abiertos con poca vegetación	0.2065	0	Tierras de labor en seco	0.2592	0
Humedales y superficies de agua	0.1496	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.1773	0
Matorrales y vegetación herbácea	0.1078	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.0929	0
Mosaico de cultivos	0.0234	0	Mosaico de cultivos	0.0183	0
Bosques	0	1	Bosques	0	1

13 Lluvia (thiessen)			14 Topografía		
	Total	0.1537		Total	0.1327
Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia
Tierras de labor en seco	0.3623	0	Terrenos regados permanentemente	0.4076	0
Sistemas agroforestales	0.2937	0	Suelo urbano	0.3458	0
Suelo urbano	0.2923	0	Sistemas agroforestales	0.3278	0
Terrenos regados permanentemente	0.2536	0	Humedales y superficies de agua	0.2683	0
Espacios abiertos con poca vegetación	0.1451	0	Tierras de labor en seco	0.2106	0
Humedales y superficies de agua	0.133	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.0904	0
Matorrales y vegetación herbácea	0.0889	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.0903	0
Mosaico de cultivos	0.0239	0	Mosaico de cultivos	0.0226	0
Bosques	0	1	Bosques	0	1

Tabla 4.12. Ejemplo del resultado del cálculo del estadístico Cramer's V para algunas fuerzas motrices y su influencia en las diferentes coberturas/ usos del suelo

De la estimación de Cramer's V se desprenden varias deducciones lógicas, pero que a su vez refuerzan el valor de la estimación y confirman la influencia de determinadas fuerzas en las diferentes coberturas:

- El mapa de la moda de cultivos explica en mayor parte los terrenos regados permanentemente, el resto de cultivos también se ven influenciados fuertemente, excepto los mosaicos de cultivo. La no representatividad para estos últimos quizá se deba al tamaño de sus parcelas o a que no tienen una frecuencia marcada a lo largo del tiempo.
- Los suelos urbanos se ven influenciados por la mayoría de las fuerzas motrices, por ejemplo las cuatro de la tabla 5. En algunos casos una fuerza motriz puede actuar proporcional como lo es el caso de la densidad poblacional y en otras ocasiones puede actuar inversamente como es el caso de la lluvia o la topografía.
- El factor más importante para los cultivos en seco es la lluvia. El alto valor del estadístico confirma esta afirmación, así como también confirma que la lluvia influye en la ubicación de sistemas agroforestales y las poblaciones.

Se ha escogido un umbral de Cramer's V de 0.15 para determinar si una fuerza motriz influye en determinada cobertura o no. De ahí que todos los valores en negrita y en cursiva de la tabla 4.12 se hayan escogido como coberturas en las que influye la fuerza motriz evaluada. La tabla 4.13 muestra todas las fuerzas motrices que influyen en las distintas coberturas/ usos de suelo. La numeración corresponde a la numeración utilizada en la tabla 4.6.

Descripción	Fuerzas motrices (Cramer V > 0.15)																				Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Matorrales y vegetación herbácea	■	■						■													3
Tierras de labor en seco	■		■	■			■	■	■		■	■	■					■	■	■	12
Suelo urbano	■	■	■	■		■		■	■		■	■	■			■	■	■	■	■	15
Terrenos regados permanentemente	■		■	■				■	■	■	■	■	■	■	■	■		■		■	14
Humedales y superficies de agua	■							■	■				■	■		■	■			■	7
Sistemas agroforestales			■	■				■	■		■	■	■	■	■	■		■	■	■	12
Espacios abiertos con poca vegetación			■	■																■	3
Mosaico de cultivos											■										1
Bosques											■										1

Tabla 4.13. Fuerzas motrices que influyen en las diferentes coberturas/ usos del suelo en el SMO

De la tabla 4.13 se puede deducir que la cobertura en la que más participan diversos factores es en el suelo urbano, siendo por tanto el más complejo y difícil de modelar como lo demuestran diversos estudios urbanísticos (Lein, 2003; Mendes, 2001). Luego los procesos agrícolas son los que le siguen en complejidad dejando por último a aquellos propios de la interacción de la naturaleza.

Finalmente, como en toda transición participan dos coberturas se ha hecho una intersección de las fuerzas motrices comunes y se han obtenido las fuerzas motrices que caracterizan a cada transición. La tabla 4.14 muestra las fuerzas motrices que participan o influyen en las diferentes transiciones seleccionadas para la modelación.

Número de proceso	Clasificación	Fuerzas motrices																				Total fuerzas		
1	Tierras de labor en secano to Terrenos regados permanentemente	1	3	4	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20							16
2	Mosaico de cultivos to Tierras de labor en secano	1	3	4	7	9	10	11	12	13	14	18	19	20										13
3	Tierras de labor en secano to Mosaico de cultivos	1	3	4	7	9	10	11	12	13	14	18	19	20										13
4	Mosaico de cultivos to Terrenos regados permanentemente	1	3	4	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20									14
5	Matorrales y vegetación herbácea to Tierras de labor en secano	1	2	3	4	7	9	10	12	13	14	18	19	20										13
6	Bosques to Matorrales y vegetación herbácea	1	2	9	11																			4
7	Tierras de labor en secano to Suelo urbano	1	2	3	4	6	7	8	9	10	12	13	14	16	17	18	19	20						17
8	Bosques to Tierras de labor en secano	1	3	4	7	9	10	11	12	13	14	18	19	20										13
9	Matorrales y vegetación herbácea to Bosques	1	2	9	11																			4
10	Terrenos regados permanentemente to Tierras de labor en secano	1	3	4	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20							16
11	Tierras de labor en secano to Matorrales y vegetación herbácea	1	2	3	4	7	9	10	12	13	14	18	19	20										13

Tabla 4.14. Fuerzas motrices seleccionadas por transición

4.5.4 Redes neuronales (sub-modelos)

Las redes neuronales son una potente herramienta para la modelación de relaciones múltiples y no lineales. Suelen ser bastante apropiadas para aplicaciones en las que no se dispone a priori de un modelo identificable que pueda ser programado, pero se dispone de un conjunto básico de ejemplos de entrada y de salida, en nuestro caso las coberturas de suelo antes y después.

Una red neuronal se compone de unidades llamadas neuronas (nodos). Cada neurona recibe una serie de entradas (inputs) a través de interconexiones y emite una salida (output). Esta salida viene dada por tres funciones:

- Una función de propagación (también conocida como función de excitación), que por lo general consiste en el sumatorio de cada entrada multiplicada por el peso de su interconexión (valor neto). Si el peso es positivo, la conexión se denomina excitatoria; si es negativo, se denomina inhibitoria.
- Una función de activación, que modifica a la anterior. Puede no existir, siendo en este caso la salida la misma función de propagación.
- Una función de transferencia, que se aplica al valor devuelto por la función de activación. Se utiliza para acotar la salida de la neurona y generalmente viene dada por la interpretación que queramos darle a dichas salidas. Algunas de las más utilizadas son la función sigmoidea (para obtener valores en el intervalo [0,1]) y la tangente hiperbólica (para obtener valores en el intervalo [-1,1]).

De las diferentes tipologías de las redes neuronales se ha optado por las Multi-Layer Perceptron (MLP) con una función de transferencia sigmoidea por su aplicación en la asociación de patrones y segmentación de imágenes. Aunque tiene la ventaja de converger rápido, en muchas ocasiones el mínimo encontrado en la superficie de error es local y no global, lo que no asegura una solución única a los problemas planteados.

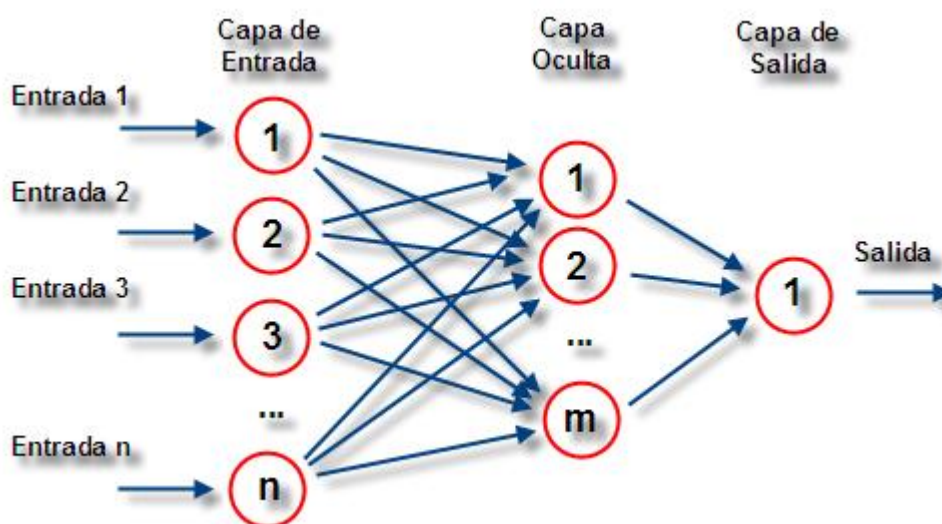


Figura 4.23. Diagrama de una red neuronal MLP n-m-1

Dado al alcance del proyecto y a la información disponible se ha tomado la decisión de dividir los sub-modelos (redes neuronales) en dos generaciones. La primera generación servirá para la validación del modelo y la segunda para generar las proyecciones de los escenarios futuros de la cobertura y uso del suelo.

4.5.4.1 Primera generación de redes neuronales

El entrenamiento de estas redes neuronales está orientado a validar el modelo de CCUS. Se utilizarán como punto de partida las imágenes reclasificadas de 1990 y 2000 para entrenar redes neuronales que produzcan mapas de transición potencial entre un uso de suelo a otro.

Tal como se comentó anteriormente cada transición está caracterizada por un número determinado de fuerzas motrices que influyen en la misma. Debido a que las fuerzas motrices son muy diversas se debe realizar un pre-procesamiento para poder utilizarlas en el entrenamiento de la red.

Como primer paso se han eliminado todas aquellas fuerzas motrices que tuviesen una alta correlación con la otra y luego se ha transformado aquellas que tuvieran un operador de distancia o catalogadas categóricamente para minimizar el error. En general, las transformaciones son evidentes, pero dos requieren especial mención:

- Las transformaciones de logaritmo natural (Ln) son muy efectivas en linearizar las variables de decaimiento de la distancia, por ejemplo la proximidad a las carreteras.
- La transformación de evidencia probable (evidence likelihood) es muy efectiva incorporando variables categóricas en el análisis. En ambas opciones, la regresión logística y la MLP, las variables categóricas

La transformación evidencia probable (evidence likelihood) requiere de dos insumos:

- *Un mapa Booleano de áreas o celdas que han sido efecto de una transición modelada (este mapa puede ser creado en el proceso de análisis de los cambios del pasado)*
- *Una variable categórica o continua que ha sido dividida en clases*

El procedimiento observa la frecuencia relativa de los pixeles pertenecientes a las diferentes categorías de la variable dentro de las áreas de cambio. De hecho, pregunta a cada categoría de la variable: ¿qué tan probable es que tú tuvieses un valor similar a este si estuvieras en un área que experimente un cambio?

debe ser convertidas a variables Booleanas (dummy), o transformadas utilizando “evidence likelihood” (preferiblemente).

Escogidas las fuerzas motrices y transformadas en caso de ser necesario se ha procedido al entrenamiento de las redes neuronales. Todas las redes neuronales entrenadas son Multi-Layer Perceptron (MLP) con inputs en la capa de entrada tanto como fuerzas motrices existan para esa transición, un número variable de nodos en la capa interior y dos nodos de output en la capa de salida. El entrenamiento se ha realizado mediante minimización del error cuadrático medio, variando la tasa de aprendizaje, el número de nodos en la capa intermedia, el número total de iteraciones y revisión gráfica de la evolución del error cuadrático medio. La figura 4.25 muestra la ventana para el monitoreo del error en el entrenamiento de las redes neuronales.

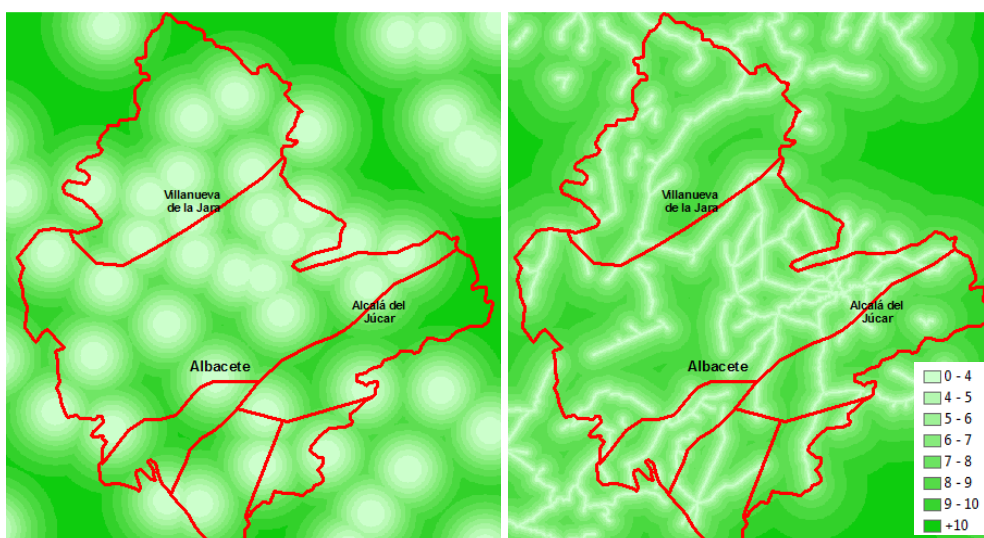


Figura 4.24. Fuerzas motrices transformadas: izquierda – distancia a núcleos poblacionales y derecha – acceso a carreteras locales. Distancias en Km transformadas a escala logarítmica.

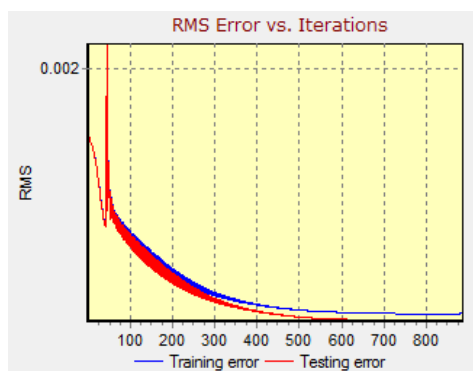


Figura 4.25. Monitoreo del error en el entrenamiento de las redes neuronales. Transición de tierras de labor en seco a terrenos regados permanentemente.

Se aprecia claramente de la figura 4.25 la potencia de las redes neuronales aun encontrando divergencias al inicio del entrenamiento. En el caso particular de la transición de las tierras de labor en secano a las tierras regadas permanentemente logró converger en 860 iteraciones hasta obtener un error cuadrático medio (RMS) de 0.001222 en los 16994 pixels utilizados para validar el entrenamiento a partir de la misma cantidad de pixels utilizados en la calibración del modelo. A partir de la red entrenada se genera un mapa de transición potencial que ubica las áreas más propensas a la transición específica que se está modelando (ver figura 4.26). La figura muestra el mayor potencial que tienen las tierras de labor en secano cercanas a los terrenos regados permanentemente como los más propensos a sufrir el cambio.

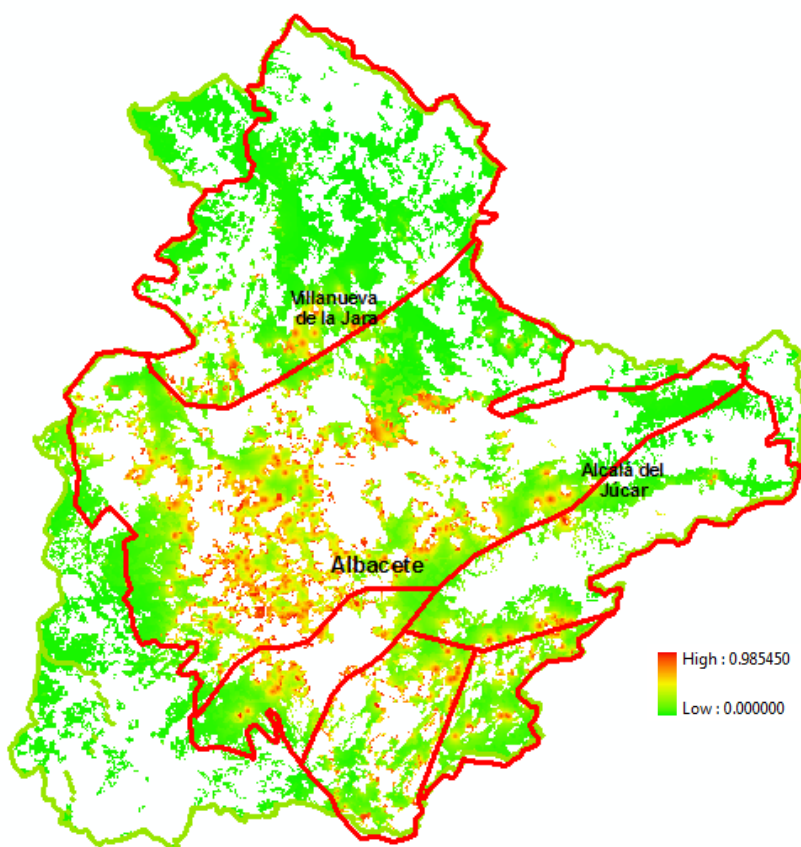


Figura 4.26. Mapa de transición potencial entre tierras de labor en secano a terrenos regados

La tabla 4.15 muestra las principales características del entrenamiento de las redes neuronales de primera generación.

Número de proceso	Clasificación	MLP	Certeza (%)	Iteraciones	Tasa de aprendizaje final	RMS (calibración)	RMS (validación)
1	Tierras de labor en seco to Terrenos regados permanentemente	16-6-2	85.67	886	0.00014	0.001243	0.001222
2	Mosaico de cultivos to Tierras de labor en seco	13-10-2	85.59	5000	0.001563	0.003349	0.003352
3	Tierras de labor en seco to Mosaico de cultivos	13-10-2	81.02	5000	0.0001	0.00383	0.003845
4	Mosaico de cultivos to Terrenos regados permanentemente	14-5-2	94.8	5000	0.0001	0.003659	0.003433
5	Matorrales y vegetación herbácea to Tierras de labor en seco	13-20-2	77.72	5000	0.000077	0.010299	0.010737
6	Bosques to Matorrales y vegetación herbácea	4-15-2	81.89	10000	0.0001	0.009963	0.010841
7	Tierras de labor en seco to Suelo urbano	17-6-2	91.91	5000	0.0001	0.005995	0.007961
8	Bosques to Tierras de labor en seco	13-10-2	91.95	5000	0.0001	0.008272	0.008424

Tabla 4.15. Principales características de las redes neuronales de primera generación entrenadas

4.5.4.2 Segunda generación de redes neuronales

El objetivo principal de estas redes es utilizar la estructura validada de las redes de primera generación para proyectar los cambios de cobertura o uso del suelo a futuro basada en las cambios más recientes ocurridos en el SMO. Para estas redes se utilizarán como base las imágenes reclasificadas del 2000 y 2006.

El mismo procedimiento se ha aplicado en esta fase con las fuerzas motrices identificadas y transformadas. El entrenamiento también se ha llevado a cabo mediante minimización del error cuadrático medio, variando la tasa de aprendizaje, el número de nodos en la capa intermedia, el número total de iteraciones y revisión gráfica de la evolución del error cuadrático medio. La figura 4.27 muestra un ejemplo del entrenamiento.

La tabla 4.16 muestra las principales características del entrenamiento de las redes neuronales de segunda generación. En los anexos se pueden encontrar el resto de características y mapas de transición potencial de segunda generación.

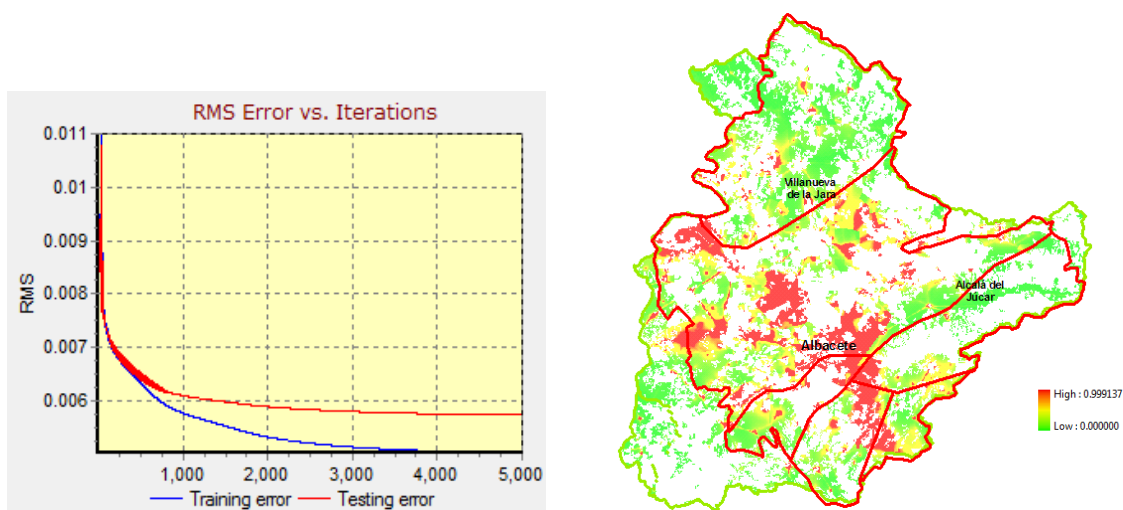


Figura 4.27. Entrenamiento de red neuronal y mapa de transición potencial correspondiente a la transición de tierras de labor en seco a suelo urbano

Número de proceso	Clasificación	MLP	Certeza (%)	Iteraciones	Tasa de aprendizaje final	RMS (calibración)	RMS (validación)
1	Tierras de labor en seco a Terrenos regados permanentemente	16-6-2	87.06	5000	0.00005	0.003481	0.003395
2	Mosaico de cultivos a Tierras de labor en seco	13-10-2	63.62	5000	0.000003	0.01345	0.013392
3	Tierras de labor en seco a Mosaico de cultivos	13-5-2	91.65	5000	0.00005	0.001912	0.001964
4	Mosaico de cultivos a Terrenos regados permanentemente	14-5-2	93.22	5000	0.0001	0.004641	0.004628
5	Matorrales y vegetación herbácea a Tierras de labor en seco	13-15-2	63.58	3319	0.00004	0.010034	0.009927
6	Bosques a Matorrales y vegetación herbácea	4-6-2	85.66	10000	0.000053	0.004905	0.005105
7	Tierras de labor en seco a Suelo urbano	17-6-2	90.18	5000	0.0001	0.005018	0.005727
8	Matorrales y vegetación herbácea a Bosques	4-3-2	87.18	1482	0.000665	0.005502	0.006022
9	Terrenos regados permanentemente a Tierras de labor en seco	16-6-2	85.15	5000	0.0001	0.006654	0.006902
10	Tierras de labor en seco a Matorrales y vegetación herbácea	13-10-2	77.23	9700	0.005	0.008194	0.009112

Tabla 4.16. Principales características de las redes neuronales de segunda generación entrenadas

4.6 Análisis para la asignación temporal del cambio de la cobertura/uso del suelo en el SMO

4.6.1 Selección de escenarios futuros¹²

Tal como se comentó en el capítulo anterior lo primero es definir los escenarios que se utilizarán para el análisis del futuro. Siguiendo la misma línea que el análisis para la asignación espacial se ha escogido tomar como referencia los escenarios propuestos por el proyecto Eururalis (Klijn et al., 2005; Rienks, 2007). Los escenarios generados por este

¹² Para una descripción más general de Eururalis y otros proyectos similares ver capítulo 2

proyecto tienen como objetivo principal estudiar lo que puede pasar con la Europa rural del futuro.

Eururalis cuenta con cuatro escenarios básicos (A1, A2, B1 y B2) a partir de los cuales diversas variantes se han cuantificado para ayudar a los tomadores de decisiones el estudio del impacto de políticas y medidas a nivel de país o de regiones (WUR/MNP, 2007). De acuerdo con Eickhout (2004) Eururalis puede ser utilizado para proyecciones a largo plazo (dos o tres décadas) de la agricultura y áreas rurales de Europa. Los cambios a corto plazo dependen de políticas locales que no forman parte de la cadena de modelación; y los cambios a muy largo plazo (100 años en adelante) responden a cambios económicos que no pueden ser modelados en las herramientas que forman parte del proyecto.

Para desarrollar los posibles futuros de Europa se han creado cuatro diferentes líneas de historia (escenarios) aplicadas a niveles globales y evaluadas a nivel europeo. A partir de estos escenarios existen muchos indicadores para evaluar la influencia de diversas políticas, el proyecto se ha centrado en cuantificar el impacto de cuatro variantes políticas importantes: 1) apoyo al mercado por parte de la PAC, 2) apoyo de la PAC a los agricultores, 3) la ambición por los biocombustibles y 4) la política de las áreas menos favorecidas (LFA, siglas en inglés). El resultado final ha sido 37 variantes de simulación (WUR/MNP, 2007).

La cuantificación de los cuatro escenarios se ha hecho a través de fuerzas motrices exógenas (económicas y sociales) y de aplicación de políticas en modelos interrelacionados en sus procesos y productos (LEITAP, IMAGE, CLUE-s). Las diferencias más importantes entre los cuatro escenarios están dadas por desarrollos políticos, crecimiento macro-económico, crecimiento demográfico y suposiciones en el desarrollo tecnológico.

De acuerdo a Westhoek et al. (2006) los escenarios de Eururalis se definen de la siguiente manera:

A1 Economía Global

Este escenario describe un mundo con menos fronteras y menos intervención del gobierno comparado con la actualidad. Las barreras de comercio son removidas y existe un flujo abierto de capital, personas y bienes, desembocando en un rápido crecimiento económico,

en el cual muchos (no todos) individuos y países se benefician. Existe un fuerte desarrollo tecnológico. El rol del gobierno es muy limitado. Los problemas ambientales no son una prioridad para el gobierno.

A2 Mercados Continentales

Aquí se describe un mundo dividido por bloques regionales. Los Estados Unidos, la Unión Europea, y otros países de la OCDE se unen para formar un solo bloque. Otros bloques son por ejemplo Latinoamérica, la antigua Unión Soviética y el Mundo Árabe. Cada bloque vela por su propia suficiencia para depender lo menos posible de los otros bloques. Las barreras de comercio agrícola y de mecanismos de apoyo siguen existiendo. El gobierno se prefiere que intervenga poco resultando en directivas y regulaciones de muy bajo impacto.

B1 Cooperación Global

Este escenario describe un mundo de cooperación internacional exitosa, dedicada a reducir la pobreza y los problemas medio ambientales. Las barreras de comercio son removidas. Muchos aspectos son regulados por el gobierno, por ejemplo las emisiones de dióxido de carbono, seguridad alimentaria y biodiversidad. El mantenimiento del patrimonio cultural y natural es apoyado por el público en general.

B2 Comunidades Regionales

Aquí se describe un mundo de regiones. La gente tiene un enfoque muy marcado en su comunidad local y regional y prefiere comida producida localmente. La política agraria apunta a la auto suficiencia. La administración ecológica es muy importante. Este mundo está muy fuertemente regulado por las intervenciones del gobierno, resultando en reglas restrictivas en política espacial e incentivos para mantener la agricultura de pequeña escala. El crecimiento económico es el más bajo de los cuatro escenarios.

Las diferentes narrativas de Eururalis han sido desarrolladas a partir de otros estudios o escenarios globales, así como de tendencias estadísticas observadas. La figura 4.28 muestra el proceso de elaboración de los diferentes escenarios Eururalis y un sumario de las suposiciones en los cuatro escenarios.

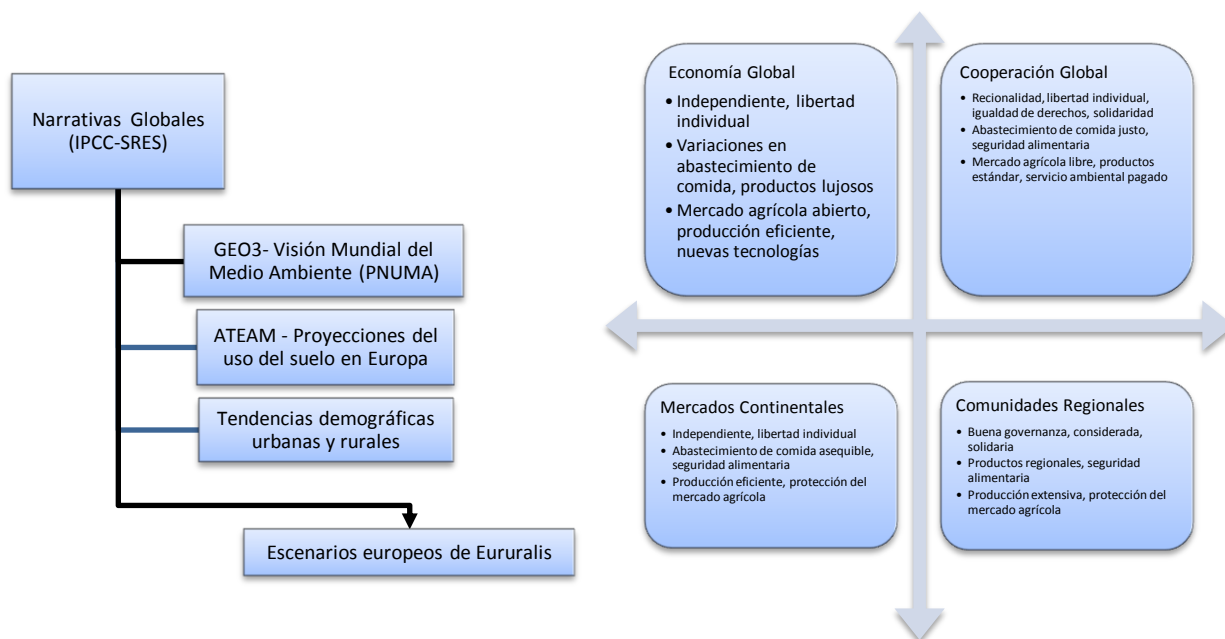


Figura 4.28. Proceso de elaboración de los escenarios de Eururalis y principales suposiciones de los cuatro escenarios

4.6.1.1 Políticas incluidas en los escenarios de Eururalis

Las **políticas agrícolas** se incluyen a nivel europeo. La reforma de la Política Agraria Común (PAC) se incluye de acuerdo a los diferentes visiones propuestas por Eickhout et al. (2004) y resumidos en la tabla 4.17. El apoyo al comercio exterior se excluye de los escenarios Economía Global y Cooperación Global, manteniéndose en los otros dos escenarios. El apoyo a los ingresos de los agricultores se descartó del escenario Economía Global y se redujo en un tercio en el de Cooperación Global. En los Mercados Continentales el apoyo a los ingresos de los agricultores se mantuvo, mientras que en las Comunidades Regionales los pagos por servicios agro-ambientales aumentaron en 10%. Las ayudas a las Áreas Menos Favorecidas (LFA), que compensa a los agricultores en áreas menos favorecidas para la agricultura, es abolida en el escenario Economía Global; en Cooperación Global se mantiene, excepto por la agricultura en secano en localidades con altos riesgos de erosión. El resto de los apoyos a los agricultores se han abolido. En los escenarios Mercados Continentales y Comunidades Regionales la LFA se mantiene, aunque en tierras de secano propensas a alto grado de erosión son excluidas de Comunidades Regionales.

	Todos los escenarios	Economía Global	Cooperación Global	Mercados Continentales	Comunidades Regionales
Apoyo al comercio					
Subsidios a la exportación	Reforma de la PAC (2003)	Abolida	Abolida	Sin cambios	Abolida
Tarifas de importación	Reforma de la PAC (2003)	Abolida	Abolida	Sin cambios	Sin cambios
Bloques comerciales	Aumento de la zona EU27	Rumania, Bulgaria y la antigua Unión Soviética acceden a EU	Rumania, Bulgaria y la antigua Unión Soviética acceden a EU	Estados Unidos de America y la EU	Manufactura: ALCA (Norte y Sur America), Turquía-Medio Oriente y el Norte de África
					Resto de África y la antigua Unión Soviética
Apoyo doméstico					
Subsidios domésticos	Reforma de la PAC (2003) - Incluyendo desacoplamiento	Abolida	-67%, el resto ligado a objetivos socio-ambientales	Sin cambios	+10, ligado a objetivos socio-ambientales
Cuota de azúcar y leche	Reforma de la PAC (2003)	Abolida	Abolida	EU es auto-suficiente	EU es auto-suficiente

Tabla 4.17. Resumen de la inclusión de las diferentes políticas agrícolas europeas

Otras políticas también se incluyen:

Política natural: En todos los escenarios las áreas de Natura 2000 están protegidas. En los escenarios Cooperación Global y Comunidades Regionales se han introducido incentivos para prevenir el abandono de agricultura de alto valor natural dentro de las áreas Natura 2000. Todos los escenarios, excepto los Mercados Continentales contienen incentivos para prevenir la fragmentación de las áreas naturales. Finalmente, en el escenario de Cooperación Global, las condiciones de agricultura en corredores ecológicos son menos favorables dadas las restricciones para establecer corredores ecológicos.

Política espacial: En los escenarios de Economía Global y Mercados Continentales, la política espacial se asume que no impone ninguna restricción al crecimiento o al planeamiento de las áreas urbanas. Esto conlleva a un crecimiento urbanístico y a la expansión de pequeñas áreas construidas cerca y dentro de áreas naturales con principalmente segundas residencias o casas para los retirados. En los escenarios de Cooperación Global y Comunidades Regionales, restricciones en el planeamiento urbano induce a un crecimiento urbano compacto. Adicionalmente, en estos dos escenarios no está permitido convertir bosques o áreas semi-naturales a usos residenciales.

Política de erosión: Conversión de todos los usos de suelo a tierras de cultivo no es permitido en zonas altamente propensas a la erosión en los escenarios Cooperación Global y Comunidades Regionales. Adicionalmente en estos escenarios no se provee ayuda por parte de la LFA a las tierras de cultivo en zonas sensibles a la erosión y se provee una

compensación de apoyo a aquellas conversiones de tierras de cultivo a pastos, cultivos permanentes o de abandono con un manejo apropiado.

Política energética: En los escenarios Cooperación Global y Comunidades Regionales el objetivo de la bioenergía está determinado por un cambio obligatorio de consumir 5.75% de biocombustibles en transporte y 52 Mton. de bioenergía en otros consumos. En los otros dos escenarios no se asume una política gubernamental para alcanzar el objetivo, sin embargo aumentan los residuos de los cultivos que se convierten en biocombustibles debido a la apertura de la economía.

	Economía Global	Cooperación Global	Mercados Continentales	Comunidades Regionales
Crecimiento macro-económico	Alta	Moderada	Moderada	Baja
Desarrollo demográfico	Creciente	Creciente	Decreciente	Decreciente
Preferencias del consumidor			Preferencia por productos locales	Preferencia por productos locales
Agro-tecnología	Alta	Alta	Baja	Baja
Apoyo al comercio	Eliminada	Eliminada	Estable	Estable
Apoyo al agricultor	Eliminada	Decreciente	Estable	Estable
Áreas menos favorecidas	Abolida	Actual	Actual	Actual
Política natural	Protección de Natura 2000 e incentivos para prevenir la fragmentación	Protección de Natura 2000 e incentivos para mantener tierras de alto valor ecológico	Protección de Natura 2000	Protección de Natura 2000 e incentivos para mantener tierras de alto valor ecológico
Política espacial	Pocas restricciones espaciales	Fuerte planeamiento urbano y urbanización compacta	Pocas restricciones espaciales	Fuerte planeamiento urbano y urbanización compacta
Política de erosión	Sin políticas	Incentivos para limitar la erosión	Sin políticas	Incentivos para limitar la erosión
Política energética	Sin objetivos	Consumo en biocombustibles: 5.75%	Sin objetivos	Consumo en biocombustibles: 5.75%

Tabla 4.18. Resumen de las características más importantes de los escenarios de Eururalis

Política climática: Estrategias de mitigación exitosas se asumen en el escenario de Cooperación Global. La estabilización del clima de la UE a 2°C es implementada globalmente y por tanto el nivel de concentración global de gases de efecto invernadero es estabilizado a 555 ppmv CO₂-equivalentes. Este nivel es alcanzado poniendo un precio al carbón. IMAGE simula en qué sectores las emisiones se ven reducidas y cuánta eficiencia energética es implementada (Van Vuuren et al., 2007).

Una vez establecidos los cuatro escenarios de Eururalis, el proyecto también provee herramientas para evaluar el impacto de políticas específicas aplicadas en Europa. La tabla 4.19 resume las diferentes variantes y la combinación por defecto (celeste) de los escenarios utilizada en el análisis del SMO.

Apoyo de la PAC al comercio

1. Liberalización total: en el 2010 aun existe la ayuda, después del 2020 todo el apoyo al comercio es abolido; no existe diferencia de precios entre el precio europeo y el mundial.
2. En el 2010 aun existe el apoyo al comercio, después del 2020 todos los apoyos a los precios se reduce en 50%.
3. Se mantiene el apoyo a los precios constante hasta el 2020.

Apoyo de la PAC a los agricultores

1. Abolición de todo tipo de apoyo después del 2010.
2. Decrecimiento del apoyo; el presupuesto del apoyo a los agricultores se reducirá en 50% al 2030.
3. Apoyo estable, no hay cambios en el apoyo a los agricultores hasta el 2030.
4. Apoyo creciente, el presupuesto del apoyo a los agricultores aumentará en 50% al 2030.

Ambición por los biocombustibles

1. Ambición baja o inexistente por los biocombustibles, no hay obligaciones políticas, sin subsidios o impuestos.
2. Ambición media por los biocombustibles, obligación de utilizar 5.75% del transporte público con biocombustibles al 2010 y se mantiene constante después. La meta es alcanzada por los biocombustibles de primera generación solamente.
3. Alta ambición por los biocombustibles, la obligación de utilizar 11.5% del transporte público con biocombustibles al 2010 y se mantiene constante después. La meta es alcanzada por los biocombustibles de primera generación solamente.

Política de las áreas menos favorecidas (LFA)

1. Sin LFA: en el 2000 la LFA es aplicada en la antigua UE; a partir del 2010 no hay una política específica en áreas menos favorecidas.
2. Actual LFA: en el 2000 la LFA es aplicada en la antigua UE; a partir del 2010 se continúan con las áreas menos favorecidas actuales y se permite el acceso a esta política de otros países basada su inclusión en condiciones sociales y físicas.
3. Nueva LFA: en el 2000 la LFA es aplicada en la antigua UE; a partir del 2010 se crean nuevas condiciones para la LFA basada en las condiciones físicas menos favorecidas (más de 600 m de altitud y/o pendientes mayores a 15%).

Tabla 4.19. Resumen las diferentes variantes y la combinación por defecto de los escenarios utilizada en Eururalis y en el análisis del SMO.

	Apoyo de la PAC al comercio	Apoyo de la PAC a los agricultores	Ambición por los biocombustibles	Áreas menos favorecidas (LFA)	
Economía Global	1	1	1	1	
			2	1	
		2	1	1	
			2	1	
Cooperación Global	1	2	1	1	
			2	2	
			3	3	
			3	3	
	2	3	1	2	
			2	2	
			1	2	
			2	2	
Mercados Continentales	2	4	2	2	
			1	1	
			2	2	
	3	2	1	2	
			2	2	
			3	2	
Comunidades Regionales	2	3	1	2	
			2	2	
	3	2	1	2	
			2	2	
		3	3	1	2
				2	2
4	4	1	2		
		2	2		

4.6.2 Proyecciones de Eururalis en el Sistema de la Mancha Oriental

El conocimiento contenido la interacción de agentes promotores de los cambios y la variación de políticas en Eururalis está plasmado en los resultados (imágenes) del mismo proyecto. Los usos de suelo es el resultado donde convergen las diferentes herramientas de modelación y por tanto una expresión de las suposiciones de cada escenario. Tomando como referencia los resultados este proyecto se han obtenido los mapas del SMO de los escenarios A1, A2, B1 y B2 en las variantes propuestas en la tabla 4.19, y en los horizontes 2000 (año base), 2010, 2020 y 2030. Tal como se discutió en la sección 4.5.2 los mapas generados por el proyecto Eururalis son apropiados para el estudio del cambio de cobertura o uso del suelo en el SMO por su alta correlación espacial y en frecuencia de clases con el proyecto CLC.

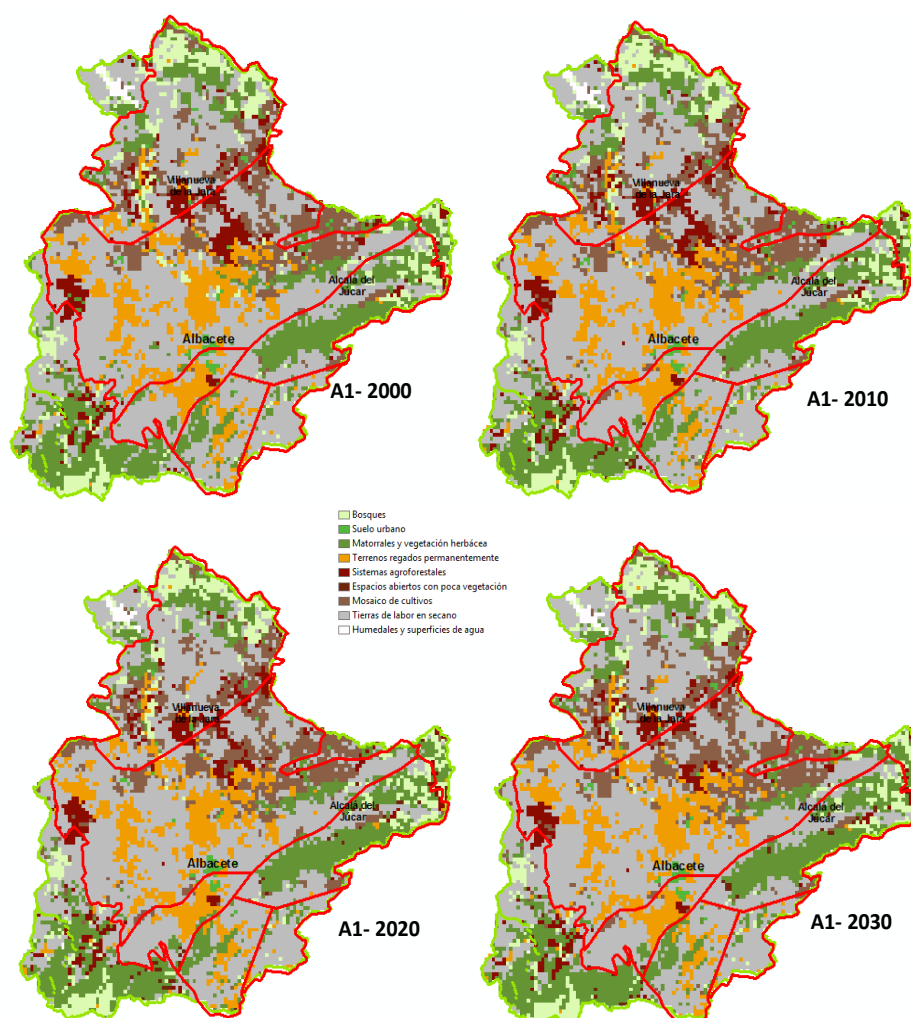


Figura 4.29. Escenario A1 de Eururalis del SMO

Para cuantificar el CCUS en el SMO propuesto por Eururalis se han obtenido las áreas correspondientes de las diferentes clases. Para analizar su evolución en el tiempo se procedió a normalizar las áreas de los diferentes escenarios y horizontes temporales respecto al año base (2000). Los gráficos a continuación muestran la evolución de las diferentes clases y la comparación con la tendencia actual que se ha observado con las imágenes CLC.

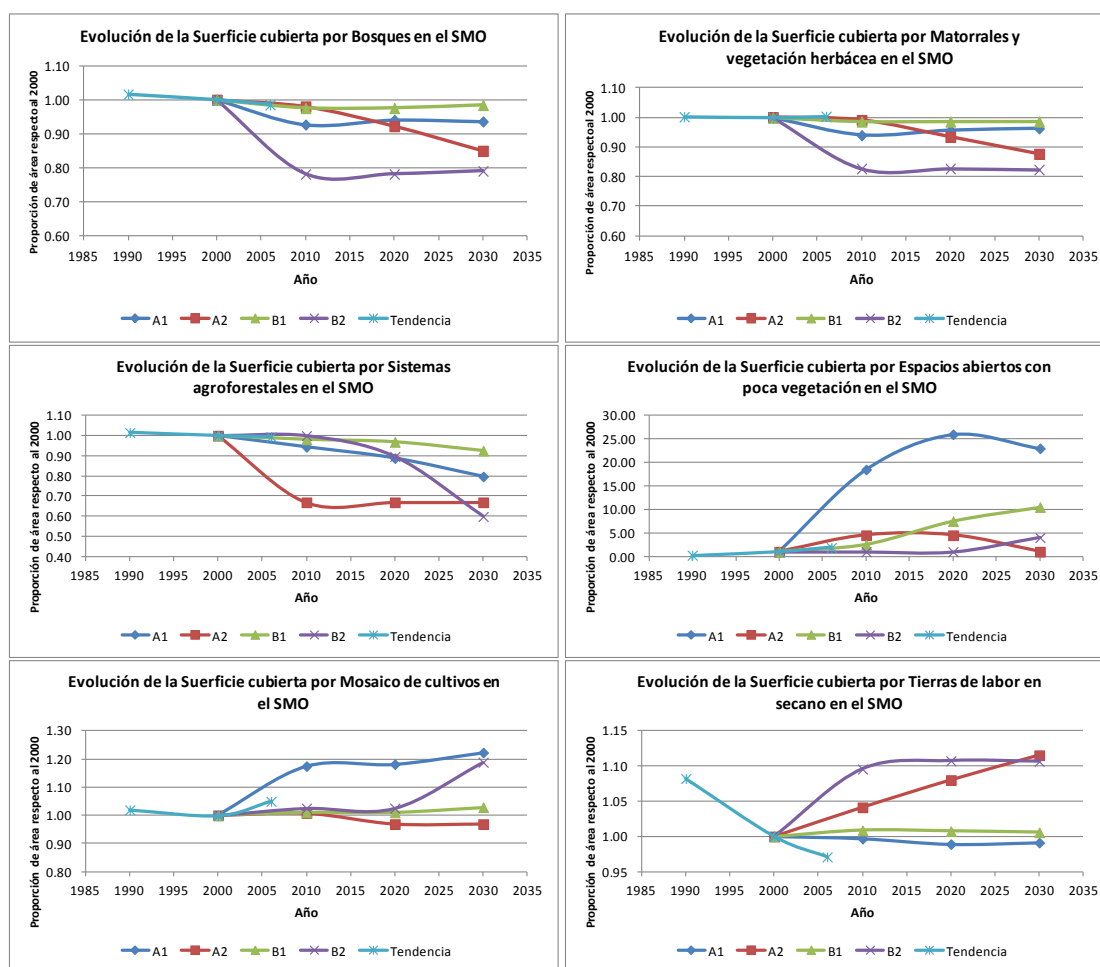


Gráfico 4.24. Evolución de las diferentes coberturas/ usos del suelo en el SMO propuestas por Eururalis y la comparación con la tendencia observada por CLC (Año base 2000)

La evolución de los suelos urbanos, los terrenos regados permanentemente, y los humedales y superficies de agua no se ha proyectado porque ninguno de los escenarios propuestos por Eururalis proyecta cambios a futuro. En general la pérdida de bosque, matorrales y

vegetación herbácea, y de sistemas agroforestales se ve compensada por el aumento de espacios abiertos con poca vegetación, mosaicos de cultivos y tierras de labor en secano.

En todos los escenarios hay una pérdida de bosque, siendo el escenario B2 el más drástico con una pérdida del 21%¹³ de la superficie de bosque al 2030. Igualmente los matorrales y vegetación herbácea, y los sistemas agroforestales decrecen en todos los escenarios en 18% y 40% al 2030 respectivamente en el escenario B2. Por otro lado los mayores crecimientos los muestra el escenario A1 para los mosaicos de cultivos en 22% al 2030 y para los espacios abiertos con poca vegetación con un 2300% (44 Ha)¹⁴ más.

La tendencia entre 1990-2006 muestra una inclinación hacia el escenario de Cooperación Global (B1) como lo muestran las gráficas de evolución de todas las superficies excepto los gráficos de superficie cubierta por mosaicos de cultivos y por tierras de labor en secano. La rápida disminución de las superficies de secano está evidentemente relacionada con el aumento de las superficies de mosaicos de cultivos en el período 2000-2006, cambio que se refleja en el análisis histórico al ser esta transición la mayor observada en los últimos años.

Una encuesta llevada a cabo por el equipo de Eururalis compara los valores de los diferentes países europeos y los compara con los diferentes escenarios. Al contrario como se suele pensar que Europa tiene valores unificados de solidaridad y tolerancia, el Atlas de los valores europeos (Schepens, 2005) de la Universidad de Tilburg muestra que existen diferencias marcadas en los valores de las sociedades europeas. Dos grupos de países se reconocen claramente, diferencia relacionada también con los respectivos niveles de vida. En Europa norte y occidental existe énfasis en los valores seculares y de autoexpresión. En Europa del Este las sociedades enfatizan valores de supervivencia: trabajo duro, seguridad física y económica. Aquellos países que valorizan alto el desempeño y la eficiencia tienden a preferir las regulaciones de mercado y los tratados de libre comercio. Aquellos que consideran que los objetivos más altos a alcanzar son igualdad y paz mundial tienden a apoyar la gobernanza regional o internacional.

¹³ Todos los porcentajes de cambio han sido calculados en base a la superficie en el 2000.

¹⁴ Este porcentaje se debe a que las superficies son muy pequeñas y un pequeño aumento representa mucho porcentaje respecto al valor de referencia en el 2000.

En el grupo de países de Europa occidental encuestado, el Reino Unido (UK) es el más liberal, mientras que España es el que más apoya el papel del Estado como agente regulador. También España se siente más asociada con la visión de equidad mundial, encajando con los valores del escenario B1 tal como lo muestra la figura 4.30, reflejando la tendencia observada en el conjunto de los gráficos de evolución de la superficie y confirmando la relación entre valores y políticas, y los impactos de éstas sobre las coberturas o usos del suelo.

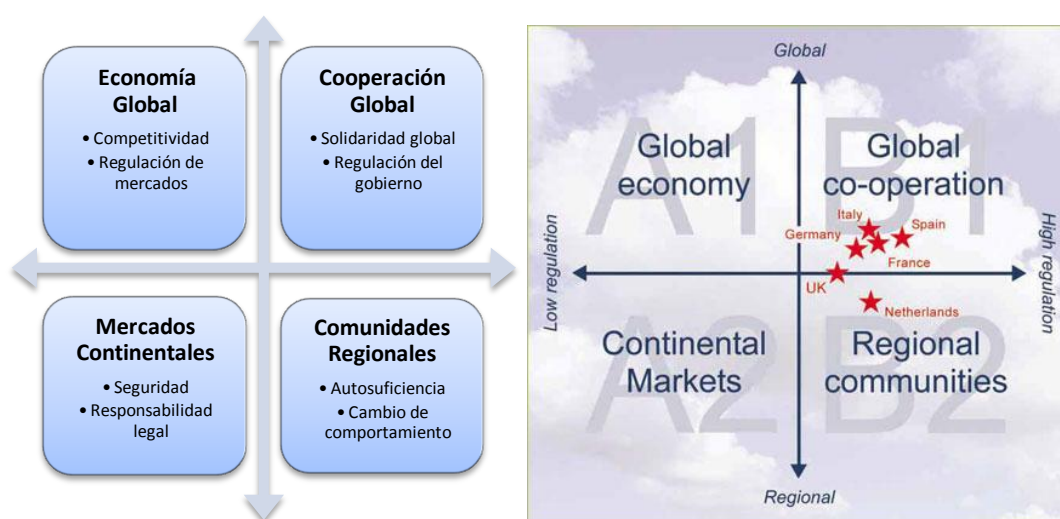


Figura 4.30. Relación de los escenarios Eururalis con los valores en diferentes países europeos. España, SMO incluido, se asocia a la visión de equidad mundial.

Tomando en cuenta la tendencia marcada entre 1990 y 2006, junto con las tendencias de los escenarios se han modificado las cantidades esperadas de cambio para que coincidieran con la realidad del 2006 y a partir de ahí reflejar los diferentes cambios en cobertura o uso del suelo. A partir del 2006 se han proyectado los cambios al 2010 siguiendo la tendencia entre el 2000-2006 aplicando la teoría de las cadenas de Markov, y luego para el 2020 y el 2030 las tendencias propuestas por Eururalis en sus diferentes escenarios. Los gráficos siguientes muestran las superficies esperadas en el SMO y utilizadas en la modelación del CCUS más adelante.

Escenarios Futuros de Uso de Suelo para el Análisis del Efecto del Cambio Global en los Recursos Hídricos aplicado al Acuífero de la Mancha Oriental



Gráfico 4.25. Evolución de las diferentes superficies en el SMO armonizadas con las tendencias observadas.

4.6.3 Cadenas de Markov y Matrices de Transición en el SMO

En la teoría de la probabilidad, se conoce como cadena de Markov a un tipo especial de proceso estocástico discreto en el que la probabilidad de que ocurra un evento depende del evento inmediatamente anterior. Las cadenas de Markov surgen de manera natural en biología, psicología, economía, demografía y en muchas otras áreas de estudio, por lo que son una aplicación importante del álgebra lineal y de la probabilidad. Una matriz de transición para una cadena de Markov de n estados es una matriz de $n \times n$ con todos los registros no negativos y con la propiedad adicional: la suma de los registros de cada columna (o fila) es 1. El registro t_{ij} en una matriz de transición T_{ij} se conoce como la probabilidad de pasar del estado i al estado j en un período de tiempo.

$$T_{i,j} = t_{ij}$$

$$t_{ij} = \Pr (X_1 = j | X_0 = i)$$

En un proceso de Markov, donde el sistema puede encontrarse en cualquiera de m estados posibles, las probabilidades pueden escribirse por medio del vector $A = (a_1 \ a_2 \ . \ . \ . \ a_m)$ donde a_j representa la probabilidad de que el sistema se halle en el estado j . En los estados actuales de un proceso de Markov A_t , los estados después del siguiente experimento (transición) pueden calcularse mediante la multiplicación de matrices:

$$A_t = A_{t-1}P$$

Si se tiene dos estados de la misma variable es posible obtener la matriz de transición a partir de ellos. Supongamos que tenemos la matriz A_t formada por elementos i y la matriz A_{t-1} formada por elementos j , la matriz de transición P estará definida por la multiplicación de B por la inversa de A :

$$P_{i,j} = A_t A_{t-1}^{-1}$$

Assumiendo que una cobertura o uso de suelo depende de su estado anterior, y no de los previos estados, las cadenas de Markov y las matrices de transición pueden ayudar a explicar y proyectar el cambio de cobertura y uso del suelo.

Las matrices de transición de cobertura/uso del suelo están directamente relacionadas con la magnitud de las transiciones que se han producido en el período en estudio. La probabilidad de pasar de un estado a otro está dada por:

$$t_{ij} = \frac{\Delta S_{ij}}{n(S_{i|t})}$$

Donde: ΔS_{ij} es la diferencia de superficie que ha cambiado del estado i al estado j

n es el número de años del período en estudio

$S_{i|t}$ es el área total del estado i en el tiempo (t)

Teniendo la cobertura del suelo en dos estados de tiempo distintos, información disponible de los mapas de los proyectos CLC y Eururalis, ha sido posible obtener las matrices de transición de los períodos 1990-2000, 2000-2006, 2000-2020 y 2000-2030 mediante el procedimiento descrito. La matriz de transición 1990-2000 se ha utilizado para proyectar el cambio en el año 2006 y validar el proceso de modelación. La matriz 2000-2006 se ha utilizado para modelar el cambio en el año 2010 acorde con las últimas tendencias observadas en el SMO y finalmente, las matrices 2000-2020 y 2000-2030 se han utilizado para proyectar los diferentes escenarios propuestos por Eururalis. El año 2000 se ha utilizado como base para la modelación pues es la base de comparación de ambos proyectos y la base de la cual se desprenden los escenarios futuros.

Transición 2000-2010 Escenario A1	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados permanentemente	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secano	Humedales y superficies de agua
Bosques							-46	-2	
Suelo urbano									
Matorrales y vegetación herbácea							-85	-14	
Terrenos regados permanentemente									
Sistemas agroforestales							-24	-3	
Espacios abiertos con poca vegetación							3	32	
Mosaico de cultivos	46		85		24	-3			
Tierras de labor en secano	2		14		3	-32			
Humedales y superficies de agua									

Tabla 4.20. Contribuciones de un tipo de cobertura/uso del suelo a otro en el período 2000-2010 y escenario A1.

Tomemos como ejemplo la matriz de cambios 2000-2010 del proyecto Eururalis para el escenario A1 (tabla 4.20). Las áreas indicadas son Km², y representan el cambio de pasar de un tipo de cobertura dado (filas) a otro (columnas). Si el cambio es positivo significa que esa

cobertura o uso del suelo ha ganado superficie, sin embargo si es negativo, esa cobertura ha cedido superficie a otra. Por ejemplo, los bosques cedieron 46 Km² a los mosaicos de cultivos y 2 Km² a las tierras de labor en seco; mientras que los espacios abiertos con poca vegetación ganaron 3 Km² de los mosaicos de cultivos y 32 Km² de las tierras de labor en seco. El área total de bosques en el 2000 era de 658 Km², mientras que en el 2010 el área proyectada es de 610 Km². Existen dos transiciones en este período: de bosques a mosaicos de cultivos y de bosques a tierras de labor en seco según los mapas respectivos del 2000 y 2010 de Eururalis para este escenario. La primera transición tiene una magnitud de 46 Km² y la segunda de 2 Km², por tanto la probabilidad de que pase de bosque a otro tipo de cobertura es:

$$t_{bosque-mosaico} = \frac{46}{10 (610)} = 0.0075$$

$$t_{bosque-secano} = \frac{2}{10 (610)} = 0.000327$$

La probabilidad de persistencia, es decir, de no cambio será la diferencia de la suma de las probabilidades de cambio con la unidad (de esta manera se asegura que la suma de todas las probabilidades en la fila sea uno):

$$t_{persistencia} = 1 - \sum t_{ij} = 1 - (0.0075 + 0.000327) = 0.9921$$

En la matriz de transición sólo se colocan aquellas probabilidades en las que se cede superficie y de persistencia, es decir se calcula la probabilidad de cambio sólo a los valores negativos de la tabla 4, el resto se coloca un cero. De no haber transición de un tipo de cobertura o uso a otro se coloca un cero para indicar que no existe esa transición en el período en estudio. La matriz de transición final se detalla en la tabla 4.21.

Transición 2000-2010 Escenario A1	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados permanentemente	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secano	Humedales y superficies de agua
Bosques	0.9921	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0075	0.0003	0.0000
Suelo urbano	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Matorrales y vegetación herbácea	0.0000	0.0000	0.9936	0.0000	0.0000	0.0000	0.0055	0.0009	0.0000
Terrenos regados permanentemente	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sistemas agroforestales	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9941	0.0000	0.0053	0.0007	0.0000
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mosaico de cultivos	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.9997	0.0000	0.0000
Tierras de labor en secano	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.9992	0.0000
Humedales y superficies de agua	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Tabla 4.21. Matriz de transición entre 2000-2010 del escenario A1 obtenida a partir de los mapas del proyecto Eururalis.

Las matrices de transición que se han obtenido a partir del análisis de las imágenes CLC se resumen en la tabla 4.22. En estas tablas se muestra claramente los tipos de suelo que mas cedieron a otros como las tierras de labor en secano a los terrenos regados permanentemente o la conversión de bosques a matorrales o vegetación herbácea. Una discusión más extensa sobre la magnitud de las transiciones reflejadas en las matrices de transición se encuentra en el capítulo del análisis histórico, Sección 4.3.1.

Transición 1990-2000	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados permanentemente	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secano	Humedales y superficies de agua
Bosques	0.9982	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0008	0.0000
Suelo urbano	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Matorrales y vegetación herbácea	0.0001	0.0000	0.9993	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0005	0.0000
Terrenos regados permanentemente	0.0000	0.0001	0.0000	0.9995	0.0000	0.0000	0.0002	0.0001	0.0000
Sistemas agroforestales	0.0000	0.0000	0.0000	0.0029	0.9970	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mosaico de cultivos	0.0000	0.0001	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.9942	0.0047	0.0000
Tierras de labor en secano	0.0000	0.0001	0.0000	0.0088	0.0001	0.0000	0.0012	0.9898	0.0000
Humedales y superficies de agua	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9992

Transición 2000-2006	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados permanentemente	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secano	Humedales y superficies de agua
Bosques	0.9926	0.0000	0.0057	0.0002	0.0001	0.0003	0.0001	0.0011	0.0000
Suelo urbano	0.0000	0.9983	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0003	0.0011	0.0000
Matorrales y vegetación herbácea	0.0016	0.0000	0.9966	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	0.0012	0.0000
Terrenos regados permanentemente	0.0001	0.0004	0.0002	0.9971	0.0000	0.0000	0.0001	0.0021	0.0000
Sistemas agroforestales	0.0002	0.0000	0.0013	0.0001	0.9970	0.0000	0.0000	0.0013	0.0000
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0019	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	0.9945	0.0000	0.0028	0.0000
Mosaico de cultivos	0.0001	0.0005	0.0003	0.0016	0.0000	0.0000	0.9968	0.0008	0.0000
Tierras de labor en secano	0.0002	0.0005	0.0004	0.0017	0.0000	0.0000	0.0037	0.9934	0.0000
Humedales y superficies de agua	0.0002	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.9983

Tabla 4.22. Matrices de transición generadas a partir de los cambios observados en el período 1990-2000 (arriba) y 2000-2006 (abajo)

En un proceso markoviano de m períodos se puede afirmar lo siguiente:

$$A_t = A_{t-1}P$$

$$A_{t+1} = A_tP = (A_{t-1}P)P = A_{t-1}P^2$$

$$A_{t+2} = A_{t+1}P = (A_{t-1}P^2)P = A_{t-1}P^3$$

$$A_m = A_{t-1}P^m$$

Esto es, el vector de estado, que describe el sistema después de m transiciones (o experimentos) es el producto del vector inicial de estado y la potencia enésima de la matriz de transición P . Esto supone una ventaja inmensa al posibilitar la proyección hacia futuro del conocimiento histórico de un sistema.

A partir de la propiedad anterior se generaron las matrices de transición del año 1990-2006 (en base a la matriz de transición 1990-2000) y la del período 2000-2010 (en base a la matriz de transición 2000-2006). En otras palabras, se estimó el potencial de cambio que una superficie dada en 1990 pasara a otra en el 2006 y análogamente entre las superficies del 2000 a otra en el 2010. Las matrices de transición se muestran en la tabla 4.23.

Transición 1990-2006	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados permanente mente	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secoano	Humedales y superficies de agua
Bosques	0.9894	0.0000	0.0052	0.0002	0.0001	0.0004	0.0002	0.0044	0.0000
Suelo urbano	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Matorrales y vegetación herbácea	0.0003	0.0002	0.9956	0.0005	0.0000	0.0003	0.0001	0.0029	0.0000
Terrenos regados permanentemente	0.0000	0.0008	0.0000	0.9973	0.0000	0.0000	0.0010	0.0008	0.0000
Sistemas agroforestales	0.0000	0.0000	0.0000	0.0171	0.9821	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mosaico de cultivos	0.0000	0.0007	0.0002	0.0080	0.0000	0.0000	0.9671	0.0240	0.0000
Tierras de labor en secoano	0.0000	0.0008	0.0002	0.0481	0.0003	0.0000	0.0064	0.9442	0.0000
Humedales y superficies de agua	0.0000	0.0000	0.0046	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9954

Transición 2000-2010	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados permanente mente	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secoano	Humedales y superficies de agua
Bosques	0.9709	0.0001	0.0220	0.0007	0.0002	0.0010	0.0006	0.0044	0.0000
Suelo urbano	0.0001	0.9932	0.0003	0.0008	0.0000	0.0000	0.0013	0.0043	0.0000
Matorrales y vegetación herbácea	0.0062	0.0001	0.9867	0.0007	0.0004	0.0002	0.0008	0.0047	0.0001
Terrenos regados permanentemente	0.0003	0.0016	0.0009	0.9887	0.0001	0.0000	0.0004	0.0080	0.0000
Sistemas agroforestales	0.0008	0.0000	0.0052	0.0004	0.9882	0.0000	0.0001	0.0053	0.0000
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0073	0.0000	0.0036	0.0000	0.0000	0.9781	0.0000	0.0110	0.0000
Mosaico de cultivos	0.0004	0.0018	0.0011	0.0063	0.0000	0.0000	0.9871	0.0034	0.0000
Tierras de labor en secoano	0.0006	0.0021	0.0018	0.0068	0.0001	0.0000	0.0144	0.9743	0.0000
Humedales y superficies de agua	0.0006	0.0000	0.0019	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0043	0.9932

Tabla 4.23. Matrices de transición generadas a partir de 16 períodos (arriba) y 10 períodos (abajo)

Al igual que las comparaciones con las imágenes del proyecto CLC, se realizaron comparaciones entre las imágenes de los diferentes escenarios Eururalis. Tomando como base la imagen del 2000 y sus correspondientes proyecciones se estimaron las matrices de transición 2000-2020 y 2000-2030 para todos los escenarios. Las matrices de transición

resultantes se muestran en las siguientes tablas. La magnitud de los cambios sigue la distribución de cada escenario y las transiciones observadas entre mapas o imágenes en los diferentes horizontes.

Transición 2000-2020 Escenario A1	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secano	Humedales y superficies de agua
Bosques	0.9963	0.0001	0.0000	0.0005	0.0003	0.0005	0.0018	0.0006	0.0000
Suelo urbano	0.0000	0.9868	0.0000	0.0066	0.0000	0.0000	0.0066	0.0000	0.0000
Matorrales y vegetación herbácea	0.0002	0.0001	0.9977	0.0002	0.0002	0.0008	0.0005	0.0004	0.0000
Terrenos regados permanentemente	0.0000	0.0000	0.0000	0.9989	0.0000	0.0001	0.0008	0.0002	0.0000
Sistemas agroforestales	0.0000	0.0002	0.0000	0.0012	0.9925	0.0001	0.0059	0.0000	0.0000
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mosaico de cultivos	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.9999	0.0000	0.0000
Tierras de labor en secano	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0006	0.9992	0.0000
Humedales y superficies de agua	0.0013	0.0000	0.0000	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9974
Transición 2000-2030 Escenario A1	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secano	Humedales y superficies de agua
Bosques	0.99740	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00249	0.00011	0.00000
Suelo urbano	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Matorrales y vegetación herbácea	0.00013	0.00000	0.99812	0.00000	0.00000	0.00000	0.00175	0.00000	0.00000
Terrenos regados permanentemente	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Sistemas agroforestales	0.00000	0.00000	0.00017	0.00000	0.99152	0.00035	0.00684	0.00113	0.00000
Espacios abiertos con poca vegetación	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Mosaico de cultivos	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00044	0.99956	0.00000	0.00000
Tierras de labor en secano	0.00000	0.00000	0.00021	0.00000	0.00000	0.00021	0.00000	0.99959	0.00000
Humedales y superficies de agua	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000

Tabla 4.24. Matrices de transición para los horizontes 2020 y 2030 en el escenario A1

Transición 2000-2020 Escenario A2	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secano	Humedales y superficies de agua
Bosques	0.9958	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0037	0.0000
Suelo urbano	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Matorrales y vegetación herbácea	0.0000	0.0000	0.9965	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0034	0.0000
Terrenos regados permanentemente	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sistemas agroforestales	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9752	0.0000	0.0000	0.0248	0.0000
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mosaico de cultivos	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.9978	0.0020	0.0000
Tierras de labor en secano	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
Humedales y superficies de agua	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
Transición 2000-2030 Escenario A2	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secano	Humedales y superficies de agua
Bosques	0.9937	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0059	0.0000
Suelo urbano	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Matorrales y vegetación herbácea	0.0001	0.0000	0.9953	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0045	0.0000
Terrenos regados permanentemente	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sistemas agroforestales	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9835	0.0000	0.0000	0.0165	0.0000
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mosaico de cultivos	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9987	0.0013	0.0000
Tierras de labor en secano	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
Humedales y superficies de agua	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Tabla 4.25. Matrices de transición para los horizontes 2020 y 2030 en el escenario A2

Escenarios Futuros de Uso de Suelo para el Análisis del Efecto del Cambio Global en los Recursos Hídricos aplicado al Acuífero de la Mancha Oriental

Transición 2000-2020 Escenario B1	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secano	Humedales y superficies de agua
Bosques	0.9988	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0012	0.0000
Suelo urbano	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Matorrales y vegetación herbácea	0.0000	0.0000	0.9993	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0000
Terrenos regados permanentemente	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sistemas agroforestales	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9984	0.0000	0.0011	0.0005	0.0000
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mosaico de cultivos	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.9999	0.0000	0.0000
Tierras de labor en secano	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.9999	0.0000
Humedales y superficies de agua	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Transición 2000-2030 Escenario B1	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secano	Humedales y superficies de agua
Bosques	0.9992	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000
Suelo urbano	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Matorrales y vegetación herbácea	0.0001	0.0000	0.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000
Terrenos regados permanentemente	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sistemas agroforestales	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9973	0.0001	0.0021	0.0005	0.0000
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mosaico de cultivos	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.9999	0.0000	0.0000
Tierras de labor en secano	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.9999	0.0000
Humedales y superficies de agua	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Tabla 4.26. Matrices de transición para los horizontes 2020 y 2030 en el escenario B1

Transición 2000-2020 Escenario B2	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secano	Humedales y superficies de agua
Bosques	0.9860	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0136	0.0000
Suelo urbano	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Matorrales y vegetación herbácea	0.0000	0.0000	0.9896	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0098	0.0000
Terrenos regados permanentemente	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sistemas agroforestales	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9942	0.0000	0.0000	0.0058	0.0000
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mosaico de cultivos	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
Tierras de labor en secano	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
Humedales y superficies de agua	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Transición 2000-2030 Escenario B2	Bosques	Suelo urbano	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados	Sistemas agroforestales	Espacios abiertos con poca vegetación	Mosaico de cultivos	Tierras de labor en secano	Humedales y superficies de agua
Bosques	0.9908	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0090	0.0000
Suelo urbano	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Matorrales y vegetación herbácea	0.0001	0.0000	0.9929	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0065	0.0000
Terrenos regados permanentemente	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sistemas agroforestales	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9776	0.0002	0.0164	0.0058	0.0000
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mosaico de cultivos	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
Tierras de labor en secano	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
Humedales y superficies de agua	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Tabla 4.27. Matrices de transición para los horizontes 2020 y 2030 en el escenario B2

4.7 Modelación y Evaluación de Resultados

4.7.1 Modelos

Se ha utilizado el módulo Land Change Modeler (LCM) de Idrisi (Eastman, 2006) para predecir el CCUS en el SMO. Este modelo ofrece dos clases de predicción: una imagen con la predicción de un escenario específico y una imagen con índices de la vulnerabilidad al cambio. La primera se presenta con la clasificación final (tabla 4.6) basado en un modelo de localización competitiva del suelo, y la segunda representa las áreas que presentan las mejores condiciones para cambiar en una escala de 0 a 1.

Se han realizado dos modelos:

Modelo 1-Evolución histórica: modelo elaborado a partir de imágenes históricas (1990, 2000) que pretende validar el proceso de modelación predictiva, las fuerzas motrices y los modelos de las transiciones representados a través de las imágenes potenciales de transición de un estado del suelo a otro.

Modelo 2-Predicción de escenarios futuros: modelo elaborado a partir de imágenes históricas (2000 y 2006), que en combinación con la teoría de las cadenas de Markov y los cambios proyectados por el proyecto Eururalis pretende generar los escenarios futuros del SMO en los horizontes 2010, 2020 y 2030.

4.7.1.1 Modelo 1: Evolución histórica

Con los mapas de transición potencial producto del entrenamiento de las redes neuronales de primera generación y la matriz de transición 1990-2000 se ha modelado el año 2006 a partir de las imágenes de 1990 y 2000. Las transiciones menores a 500 Ha han sido obviadas en todo el proceso de modelación.

Se han modelado las ocho transiciones más importantes del período 1990-2000 (tabla 4.9) que ayudan a localizar el cambio producido junto con la matriz de transición (tabla 4.22 y 4.23) que mide la cantidad del cambio en el período de estudio. Como se explicó anteriormente las transiciones están representadas por los mapas de transición potencial y la matriz de transición (asumida como producto de una cadena de Markov) ha sido producto

de la comparación de las imágenes de 1990 y 2000. La figura 4.31 muestra el mapa 2006 generado junto con el mapa 2006 de vulnerabilidad.

La predicción del 2006 difiere de la imagen CLC 2006 muy poco, entre 0-6% en la mayoría de los casos, sin embargo se observa que los cambios en el suelo urbano, terrenos regados permanentemente y espacios abiertos con poca vegetación la predicción no ha sido muy acertada (26%, 16% y 88% respectivamente). Estas diferencias se deben principalmente a que los cambios en el suelo urbano han tenido un crecimiento muy acelerado por encima de la media española (ver análisis histórico), los terrenos regados han sido limitados por los acuerdos de las negociaciones en explotación del agua en la zona a partir de 1999 y los espacios abiertos con poca vegetación no están incluidos en la modelación porque sus cambios han sido menores a 500 Ha.

Quizá el mapa con mayor significación en los análisis del cambio de cobertura o uso del suelo son los mapas de vulnerabilidad producidos por cada modelación. Estos mapas muestran las zonas con mayor potencial a cambiar. De la figura 4.31 se puede observar que la zona Norte y la zona centro del acuífero es la más propensa a sufrir cambios en el futuro (azul), especialmente las tierras de labor en seco. Las zonas alrededor de los terrenos regados permanentemente y el suelo urbano tienen un gran potencial también. Las zonas altas de la cuenca son las que menos cambio pueden observar en el futuro (amarillo). Las zonas en blanco no cambian en absoluto.

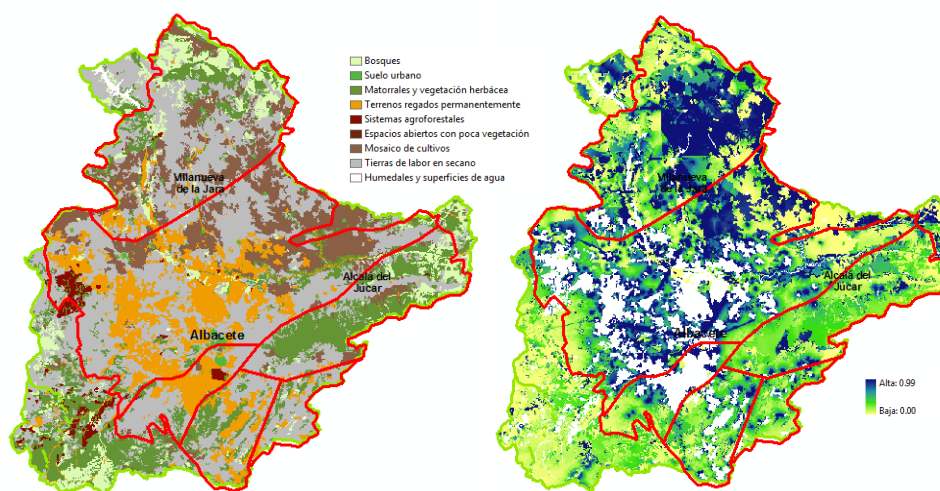


Figura 4.31. Mapas 2006: Predicción de modelo 1 (izquierda) y Mapa de vulnerabilidad (derecha)

Validación del modelo 1

Una fase importante del desarrollo de cualquier modelo predictivo del cambio es la validación. Típicamente una manera de indicar el conocimiento del proceso y del poder explicativo del modelo es utilizarlo para predecir un período de tiempo cuando la cubierta o uso del suelo es conocida. El modelo 1 es la aplicación de esta metodología, la cubierta de suelo del 2006 es conocida por el proyecto CLC 2006 y basado en los mapas 1990 y 2000 se ha proyectado el mapa del 2006.

Diversas metodologías han sido aplicadas para la validación de la proyección:

- **Coefficiente de correlación de Pearson (r_{xy}):** coeficiente de correlación lineal entre dos conjuntos de datos:

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{n s_x s_y}$$

- **El índice Kappa (K):** índice introducido por primera vez por Cohen (1960) que indica el grado de acuerdo entre dos mapas, tanto en general como en localización y en cantidad. El índice Kappa se define de la siguiente manera:

$$Kappa = \frac{(P_o - P_c)}{(P_p - P_c)}$$

Donde P_o es la proporción correcta observada, P_c es la proporción correcta esperada debido a la casualidad (aleatoriedad) y P_p es la proporción correcta cuando la clasificación es perfecta. De acuerdo a Pontius (2000) Kappa debe dividirse en cuatro categorías para elaborar una correcta evaluación de los mapas:

- *Kappa estándar (Kstd)* que mide el índice Kappa en medio y que debe utilizarse con mucho cuidado pues puede dar una medida errónea de la bondad de ajuste entre las imágenes.
- *Kappa para no información (Kno)* que mide el acierto de una simulación dividida entre el máximo posible atribuible a una simulación perfecta. Este índice es el idóneo al medir la bondad de ajuste de una imagen comparada con otra.

- *Kappa para localización (Kloc)* que mide el éxito que una simulación especifique la localización correcta de las celdas.
- *Kappa para cantidad (Kcan)* que mide el acierto que la nueva clasificación determine la cantidad correcta de celdas.
- **Matrices de confusión:** Matrices que cuentan el número de celdas de cada combinación posible entre un mapa de referencia (categorías en columnas) y la predicción (categoría en filas). Los valores de la diagonal de la matriz representan los valores que coinciden en ambos mapas, mientras que el resto de los valores son errores tabulados como totales a los márgenes de la matriz. Los errores marginales representan el error proporcional por categoría, existen dos tipos: los Errores por Omisión (EO) y los Errores por Comisión (EC). Los primeros definen el número de celdas, que perteneciendo a una misma clase, fueron asignados a clases diferentes; mientras que los segundos definen el número de celdas que fueron asignados a una categoría cuando en realidad pertenecen a otra.

El coeficiente de correlación es alto entre la imagen CLC 2006 y la proyección del modelo 1 ($r=0.9847$) como se muestra en el Gráfico 4.26. Aunque este indicador no proporciona información sobre la localización de los cambios, si da una buena idea de la correspondencia entre categorías de ambas imágenes. En el eje horizontal se han representado las categorías de la imagen CLC y en el eje vertical la predicción del modelo 1. La principal discrepancia es la categoría 6 (espacios abiertos con poca vegetación) los cuales se han distribuido entre las categorías 1, 3 y 8 (bosques, terrenos regados y tierras de labor en seco). El resto de las categorías presentan bajas frecuencias con respecto a las que deberían tener excepto en el caso de comparación con las tierras de labor en seco en donde la magnitud de esta categoría sesga los resultados.

La matriz de confusión (tabla 4.28) muestra que evidentemente el mayor error ha sido en la predicción de la cobertura de terrenos regados permanentemente ($EC=0.1626$) y en la asignación incorrecta de los suelos urbanos y de los espacios abiertos con poca vegetación ($EO=0.2453/0.487$). Con un intervalo de confianza de 99% (0.0543 - 0.0556) se puede aceptar la imagen en general (0.055) como aceptable.

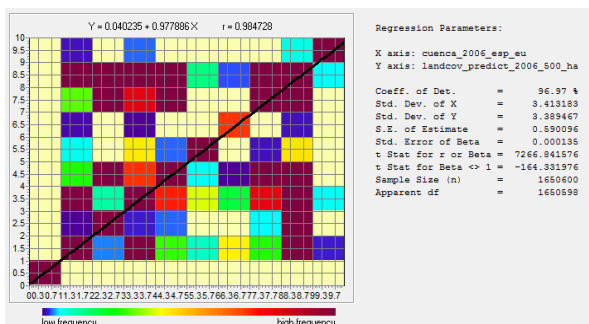


Gráfico 4.26. Coeficiente de correlación entre predicción del modelo 1 y la imagen CLC 2006.

Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	Error por Comisión (proporción)
Bosques (1)	67826	10	2336	71	26	108	68	464	4	70913	0.0435
Suelo urbano (2)	1	5737	4	9	0	0	15	321	0	6087	0.0575
Matorrales y vegetación herbácea (3)	1915	32	162996	184	97	52	203	1166	17	166662	0.022
Terrenos regados permanentemente (4)	67	368	179	103524	17	1	1014	18460	0	123630	0.1626
Sistemas agroforestales (5)	18	0	111	9	14130	0	3	113	0	14384	0.0177
Espacios abiertos con poca vegetación (6)	2	0	1	0	0	178	0	3	0	184	0.0326
Mosaico de cultivos (7)	77	353	206	1032	0	0	122740	3033	0	127441	0.0369
Tierras de labor en secano (8)	652	1102	1465	2308	39	8	11377	365129	15	382095	0.0444
Humedales y superficies de agua (9)	3	0	9	0	0	0	0	20	3109	3141	0.0102
Total	70561	7602	167307	107137	14309	347	135420	388709	3145	894537	
Error por Omisión (proporción)	0.0388	0.2453	0.0258	0.0337	0.0125	0.487	0.0936	0.0607	0.0114		0.055

Tabla 4.28. Matriz de confusión entre mapas de predicción del modelo 1 (filas) y proyecto CLC (columnas)

El índice Kappa demuestra que el poder de predicción en general del modelo ha sido satisfactorio tanto en cantidad como en localización de la cobertura. Los terrenos regados permanentemente presentan el índice más bajo reflejando lo que se ha mostrado con el análisis visual y de la matriz de confusión. Aunque el índice Kappa para la categoría 4 sea el más bajo aun así es aceptable (mayor a 0.8) demostrando que la predicción del modelo 1 puede ser utilizada y validándolo para la predicción de las coberturas de uso del suelo a futuro.

Clase	Kappa std
Bosques (1)	0.9527
Suelo urbano (2)	0.942
Matorrales y vegetación herbácea (3)	0.9729
Terrenos regados permanentemente (4)	0.8152
Sistemas agroforestales (5)	0.9821
Espacios abiertos con poca vegetación (6)	0.9674
Mosaico de cultivos (7)	0.9565
Tierras de labor en secano (8)	0.9215
Humedales y superficies de agua (9)	0.9898
Total	0.9252

Kappa	
Kno	0.9669
Kloc	0.9722
Kcan	0.9702

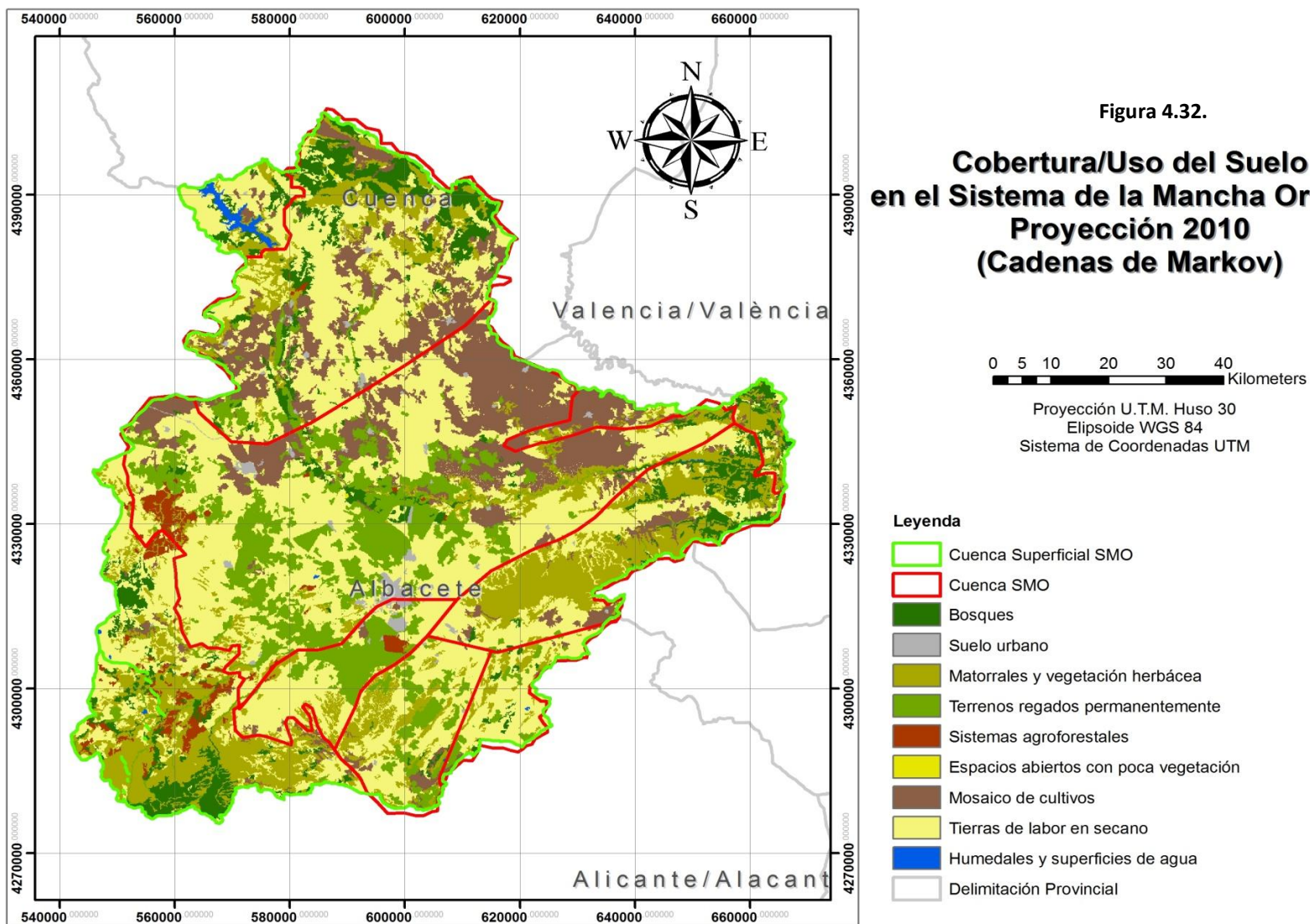
Tabla 4.29. Índice Kappa estándar por categoría y en general de la comparación de imágenes

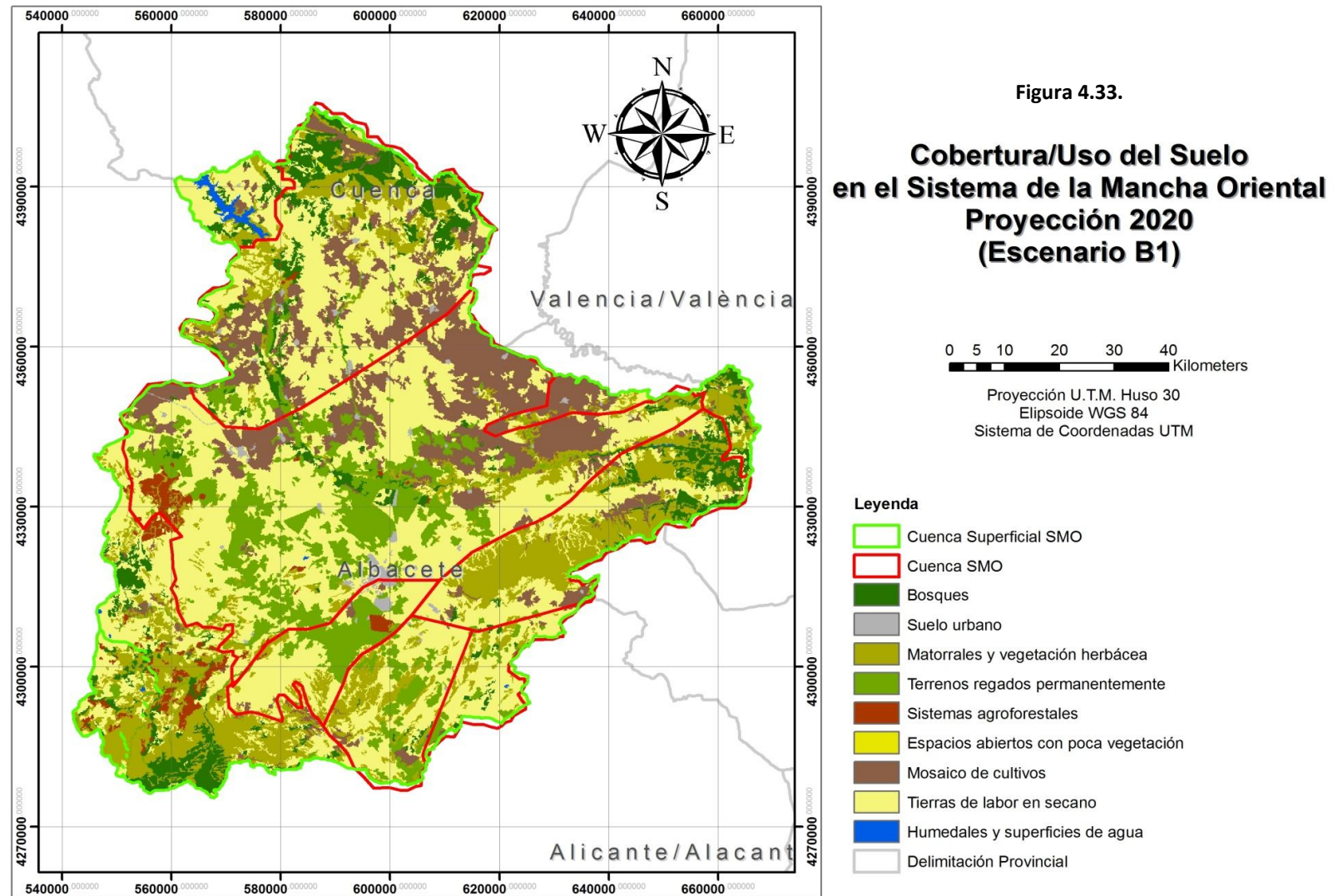
Se concluye que el modelo 1 es válido para la predicción y que el uso de las redes neuronales junto con las matrices de transición son una metodología válida para la predicción del futuro próximo. Modelar 8 de las 28 transiciones ha producido una predicción con 99% de confianza (error por comisión/omisión general de 0.055), sin embargo algunas transiciones no pasan el test de confianza (conversiones a suelo urbano, terrenos permanentemente regados y espacios abiertos con poca vegetación). Del análisis de validación se deduce que una revisión de la matriz de transición basada en el juicio de experto es necesaria. Una revisión de la matriz de transición modificaría las cantidades a proyectar y por tanto ajustaría mejor la predicción a los últimos cambios que se producen en la zona del SMO.

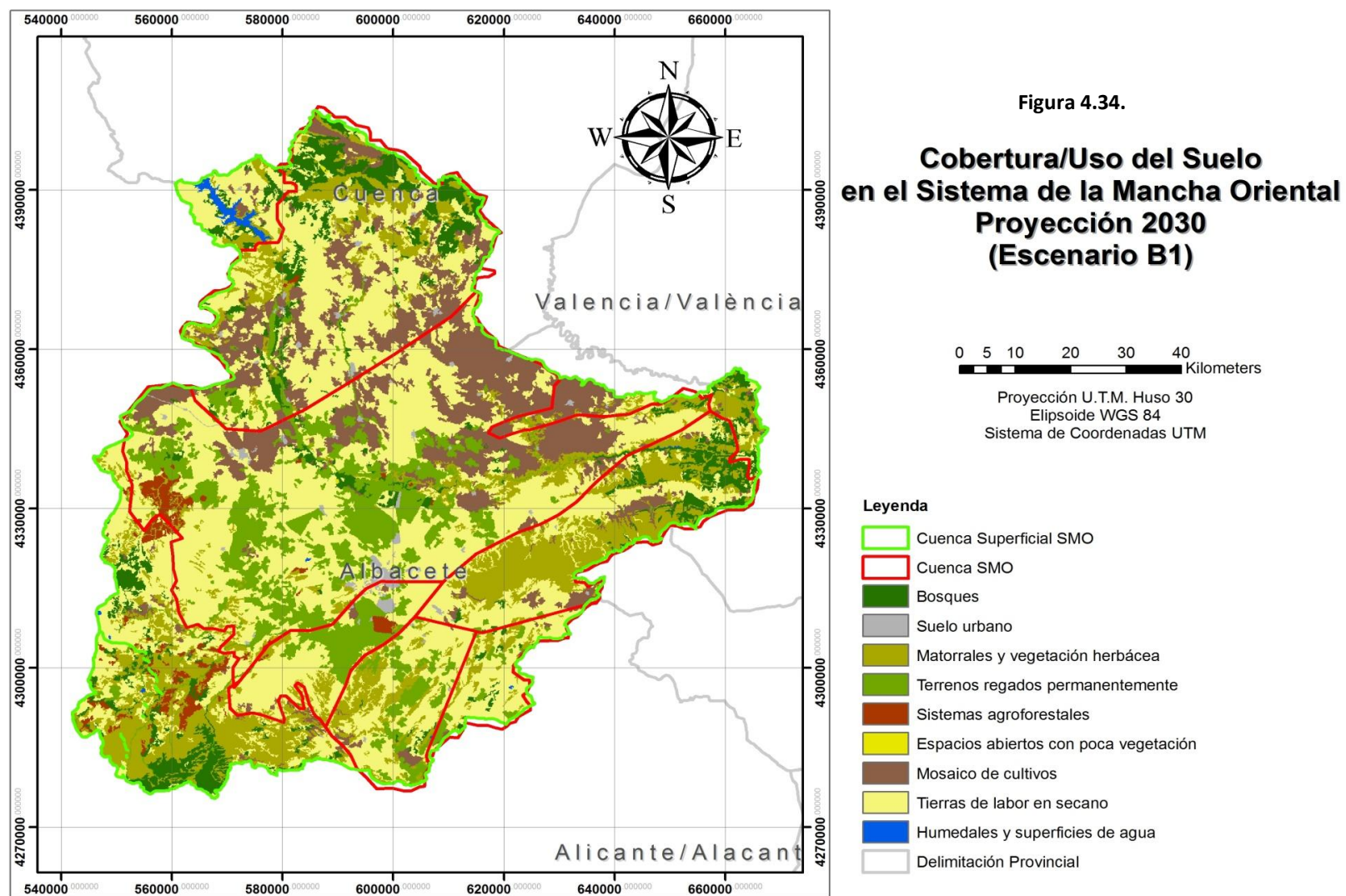
4.7.1.2 Modelo 2: Predicción de escenarios futuros

Después de haber validado la metodología se propuso realizar la predicción del futuro con los mapas de transición potencial derivados del entrenamiento de las redes neuronales de segunda generación y las matrices de transición 2000-2006, 2000-2020, 2000-2030 se han modelado una serie de mapas a futuro a partir de las imágenes de 2000 y 2006. Las transiciones menores a 500 Ha han sido obviadas en todo el proceso de modelación.

Se han modelado las diez transiciones más importantes del período 2000-2006 (tabla 4.10) que ayudan a localizar el cambio producido junto con las matrices de transición (tablas 4.23-4.27) que miden la cantidad del cambio en el período de estudio. Como se explicó anteriormente las transiciones están representadas por los mapas de transición potencial y las matrices de transición han sido producto de la teoría de las cadenas de Markov para el año 2010 y de tendencias obtenidas de los mapas de coberturas de suelo del proyecto Eururalis para el año 2020 y 2030 en sus diferentes escenarios. Las figuras 4.32 a 4.35 muestran los mapas generados y de vulnerabilidad del 2010, 2020 y 2030 respectivamente para el escenario B1.







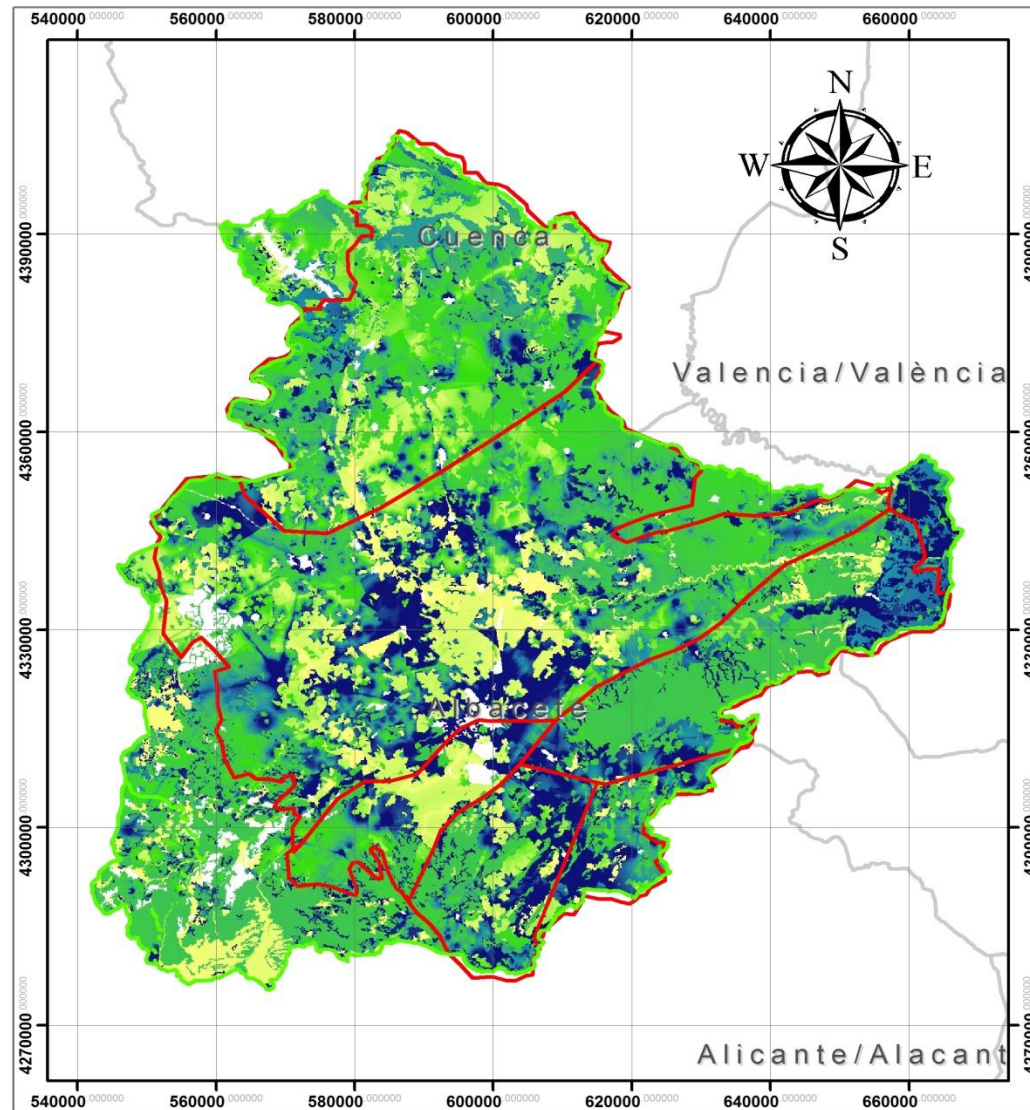


Figura 4.35.

Mapa de Vulnerabilidad al Cambio (Modelo 2)

0 5 10 20 30 40 Kilometers

Proyección U.T.M. Huso 30
Elipsoide WGS 84
Sistema de Coordenadas UTM

Leyenda

- Cuenca Superficial SMO
- Cuenca SMO
- Delimitación Provincial
- Alto potencial al cambio
- Bajo potencial al cambio

4.7.2 Evaluación de resultados

En el modelo 2 cinco escenarios han sido evaluados: A1, A2, B1, B2 y la tendencia a través de las Cadenas de Markov. El gráfico 4.27 ejemplifica los resultados obtenidos.

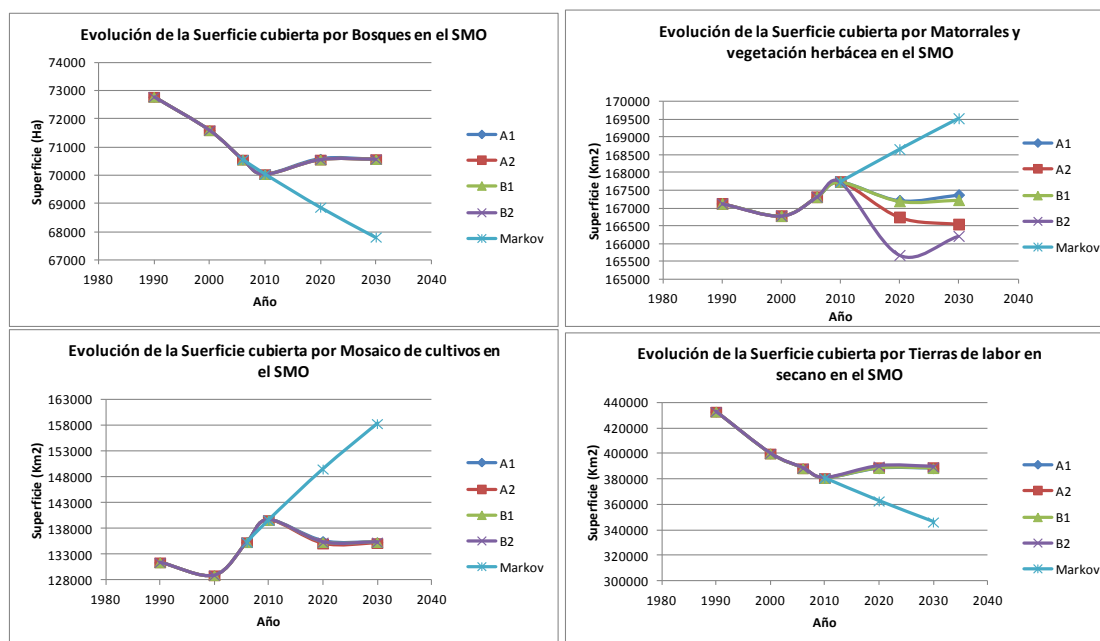


Gráfico 4.27. Resultados del modelo 2 para los cinco diferentes escenarios: A1, A2, B1, B2, Markov

Los resultados de los diversos escenarios muestran que todos (excepto las cadenas de Markov) tienden hacia un escenario en común: el B1. La razón de la convergencia de todos los escenarios se debe a que los escenarios A1, A2 y B2 asumen transiciones en el futuro que no están incluidas en el modelo 2 y por tanto no las modelan. La correcta evaluación de estos escenarios deberá por tanto contar con un modelo más completo en donde se incluyan todas las transiciones posibles en el futuro (tabla 4.30). Esta conclusión se deriva de observar la gráfica de la evolución de la superficie de matorrales y vegetación herbácea (gráfico 4.27). Los diferentes escenarios marcan un futuro distinto debido a que cinco de las diez transiciones modeladas en el modelo 2 proyectan los cambios en esta superficie y por tanto pueden predecir correctamente su evolución en el tiempo.

Proceso	Transición de:	Transición a:
1	Bosques	Terrenos regados permanentemente
2		Espacios abiertos con poca vegetación
3		Mosaico de cultivos
4	Suelo urbano	Terrenos regados permanentemente
5		Mosaico de cultivos
6	Matorrales y vegetación herbácea	Terrenos regados permanentemente
7		Sistemas agroforestales
8		Espacios abiertos con poca vegetación
9		Mosaico de cultivos
10	Terrenos regados permanentemente	Mosaico de cultivos
11	Sistemas agroforestales	Terrenos regados permanentemente
12		Mosaico de cultivos
13	Tierras de labor en secano	Espacios abiertos con poca vegetación

Tabla 4.30. Transiciones adicionales necesarias para la modelación completa del escenario A1

La predicción del año 2010 producida por las Cadenas de Markov se considera la más adecuada por continuar con la tendencia de los años anteriores (ver la sección 4.6.2 de análisis de escenarios). Observando la tendencia de los escenarios y el comportamiento del SMO (ver sección 4.6.2), las restricciones del modelo (convergencia de escenarios) y la suposición que la tendencia a corto plazo es mejor que las proyecciones de los escenarios, centraremos nuestra atención el análisis en dos de los cinco escenarios proyectados: B1 y las tendencias marcadas por las Cadenas de Markov. El primero por ser el escenario más probable y el segundo como una continuación de las tendencias actuales. En ambos escenarios modelados los sistemas agroforestales, los espacios abiertos con poca vegetación y los humedales y superficies de agua no presentan cambios hacia el futuro. La razón de lo anterior se debe a que los cambios históricos que se han producido en estas superficie son menores a 500 Ha lo cual constituye una limitante del modelo (ver sección 4.5.3). El cambio más importante en ambos escenarios lo representan las tierras de labor en secano, los mosaicos de cultivos y los terrenos regados permanentemente. Los mayores cambios en ambos escenarios se produjeron en el período 2010-2020, por ejemplo las tierras de labor seco aumentaron 7770 Ha (2.0%) en el escenario B1 y en el escenario de las cadenas de Markov disminuyeron 18038 Ha (4.64%). Los mosaicos de cultivos en el escenario B1 disminuyen 4284 Ha (3.2%) mientras que en el escenario de las cadenas de Markov aumentan 9880 Ha (7.3%). Y los terrenos regados permanentemente, en el escenario B1 disminuyen 2639 Ha (2.46%) y en el otro escenario aumentan 6395 Ha (5.97%).

Clase	Escenario B1-Cambio respecto al 2010			
	2020 (ha)	2030 (ha)	2020 (%)	2030 (%)
Bosques	516	532	0.73	0.76
Suelo urbano	-816	-816	-10.73	-9.69
Matorrales y vegetación herbácea	-547	-513	-0.33	-0.31
Terrenos regados permanentemente	-2639	-2639	-2.46	-2.40
Sistemas agroforestales	0	0	0.00	0.00
Espacios abiertos con poca vegetación	0	0	0.00	0.00
Mosaico de cultivos	-4284	-4284	-3.16	-3.07
Tierras de labor en secano	7770	7720	2.00	2.03
Humedales y superficies de agua	0	0	0.00	0.00

Clase	Escenario Markov-Cambio respecto al 2010			
	2020 (ha)	2030 (ha)	2020 (%)	2030 (%)
Bosques	-1173	-1057	-1.66	-1.51
Suelo urbano	2022	1904	26.60	22.62
Matorrales y vegetación herbácea	914	872	0.55	0.52
Terrenos regados permanentemente	6395	6040	5.97	5.50
Sistemas agroforestales	0	0	0.00	0.00
Espacios abiertos con poca vegetación	0	0	0.00	0.00
Mosaico de cultivos	9880	8799	7.30	6.30
Tierras de labor en secano	-18038	-16558	-4.64	-4.35
Humedales y superficies de agua	0	0	0.00	0.00

Tabla 4.31. Cambio de los escenarios B1 y Cadenas de Markov respecto al mapa de predicción al 2010

Observando los mapas de vulnerabilidad, el panorama ha cambiado mucho respecto al mapa generado en el período 1990-2000 del modelo 1. En la serie de mapas del modelo 2 las zonas más propensas al cambio son la zona central del SMO pertenecientes al subsistema Central y al Salobral; y la zona limítrofe entre los dominios Moro-Nevazos, Pozocañada y Montearagón-Carcelén. La zona en común de los mapas con mayor probabilidad al cambio es la zona Este del subsistema Montearagón-Carcelén que cae dentro del dominio de la provincia de Valencia. Mientras el escenario B1 tiende hacia la estabilización en el 2030, la tendencia del escenario de las cadenas de Markov mantiene un pronunciado cambio a lo largo del tiempo. El escenario B1 propone cambios menores en las superficies hacia el futuro en la que los cambio entre el 2020 y el 2030 son muy pocos. La tendencia de las cadenas de Markov mantiene un crecimiento o decrecimiento insostenible para algunos recursos naturales como ser el agua y los bosques. Las gráficas siguientes muestran las tendencias y diferencias entre ambos escenarios.

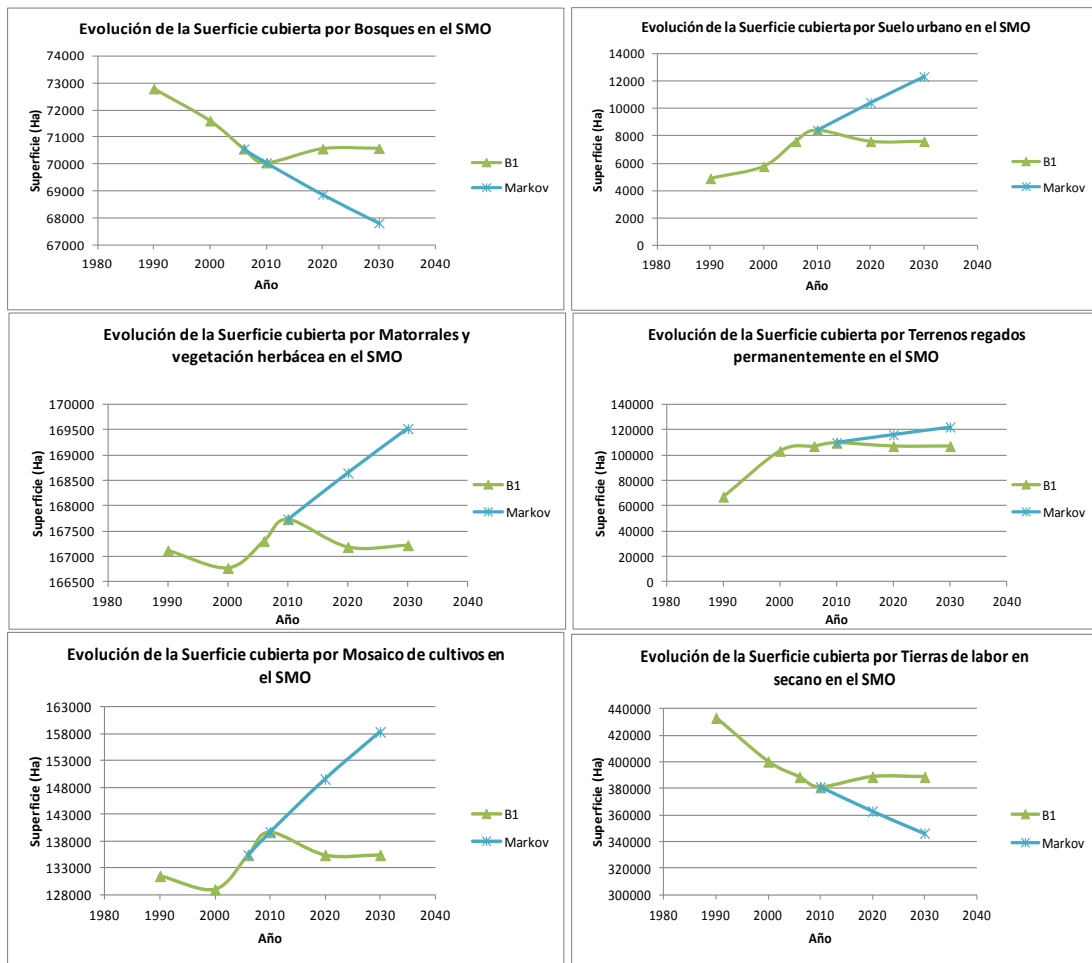


Gráfico 4.28 Gráficas comparativas de los escenarios B1 y Cadenas de Markov modelados

El análisis espacial de las áreas que han sufrido cambio muestra la diferencia que existe entre en un escenario y otro (figura 4.36). En todo caso, en ambos escenarios, la mayoría de los cambios se encuentran en el dominio central y el subsistema del Salobral del SMO.

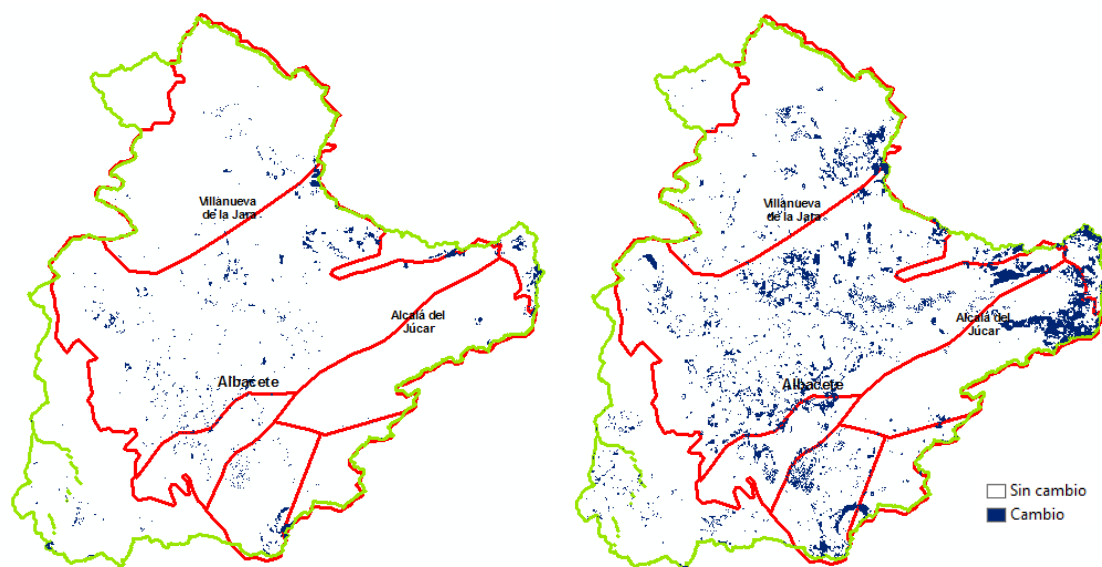


Figura 4.36. Comparación de las áreas que presentan cambios al 2030 en el escenario B1 (izquierda) y el escenario de las Cadenas de Markov (derecha)

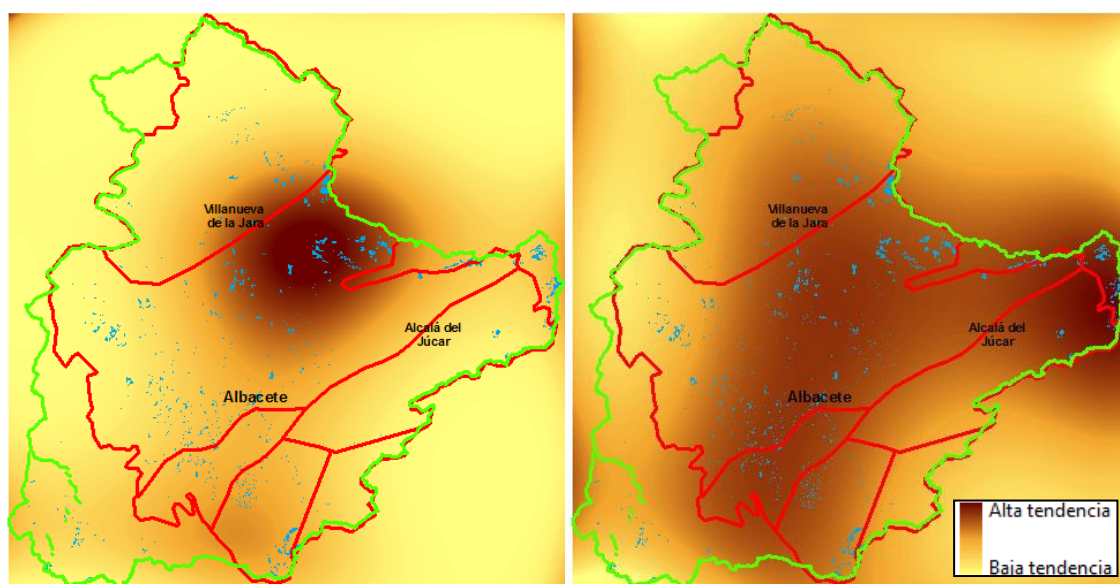


Figura 4.37. Localización de la tendencia al cambio de las tierras de labor en secano en el escenario B1 (izquierda) y el escenario de las Cadenas de Markov (derecha)

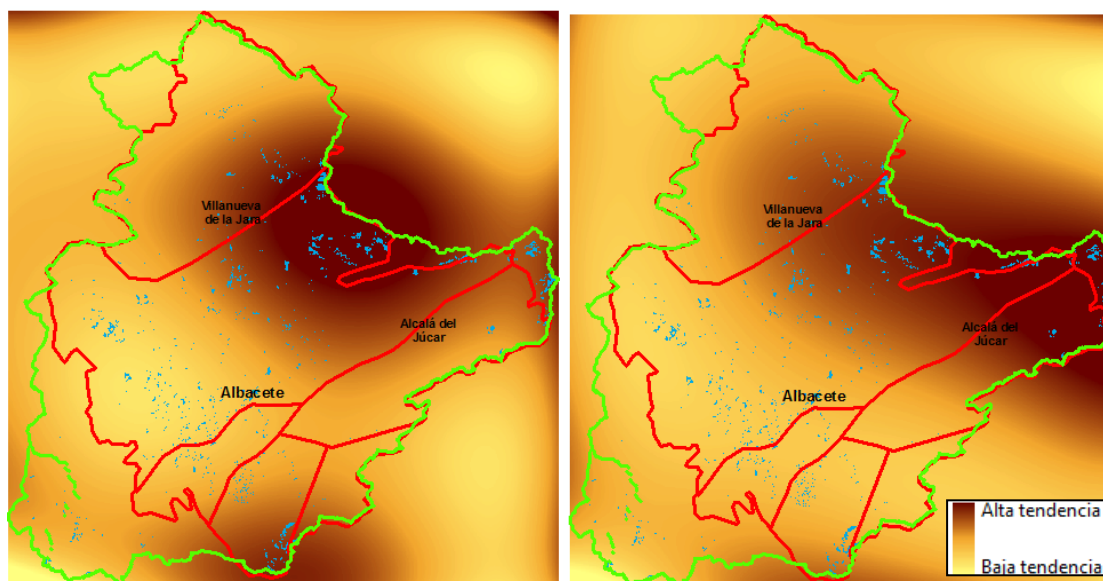


Figura 4.38. Localización de la tendencia al cambio de los mosaicos de cultivos en el escenario B1 (izquierda) y el escenario de las Cadenas de Markov (derecha)

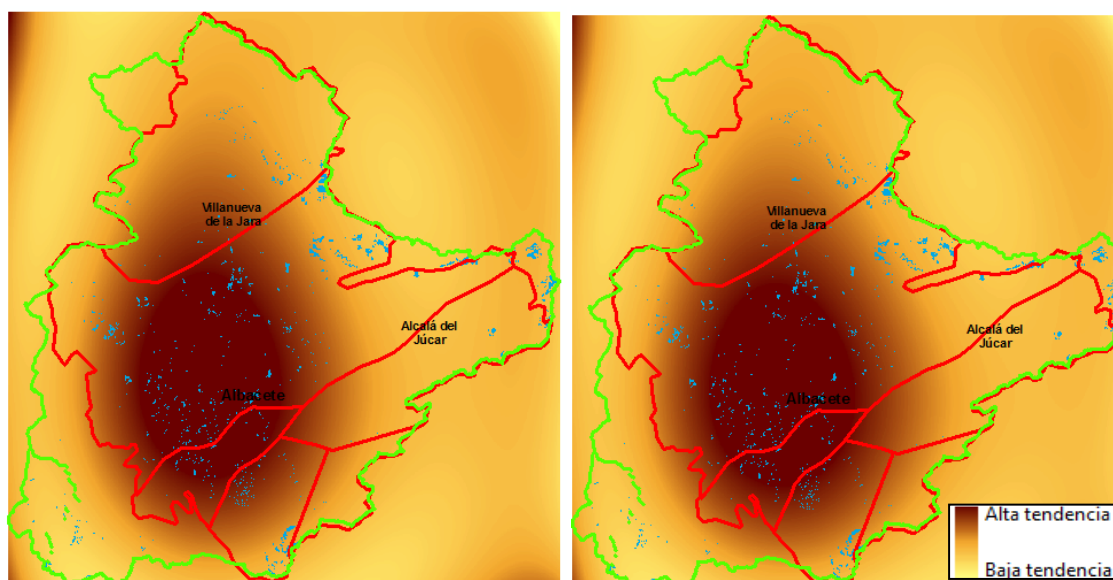


Figura 4.39. Localización de la tendencia al cambio de los terrenos regados permanentemente en el escenario B1 (izquierda) y el escenario de las Cadenas de Markov (derecha)

El cambio de las tierras de labor en secano se corresponde en mucho a las zonas potenciales de cambio de los mosaicos de cultivos en ambos escenarios (figuras 4.37 y 4.38). Y también los terrenos regados permanentemente coinciden totalmente en su localización espacial (figura 4.39).

4.7.3 Análisis de impactos

El aumento o disminución de la superficie cubierta por una cobertura o uso del suelo puede generar diversos impactos en los recursos hídricos. En el SMO, por ser una zona de vocación rural, la agricultura ha jugado un papel importante en el desarrollo de la región así como en los impactos derivados de sus avances (ver sección 4.4.5).

De las superficies en que se ha clasificado el suelo en el estudio los terrenos regados permanentemente, los bosques, los suelos urbanos y los mosaicos de cultivos son los que tienen el mayor impacto dentro del SMO. Los sistemas agroforestales no representan cambio a lo largo del tiempo y por tanto no se analizarán, y las tierras de labor en secano, si bien son una superficie importante dentro del SMO, éstas cobran importancia al transformarse a otros usos y no por su función en sí; un estudio en el que se relacione las tierras de labor en secano, su distribución y el impacto que tienen en el desarrollo social y económico de la zona debe realizarse para determinar el verdadero impacto de estas tierras.

4.7.3.1 Escenario B1 – Cooperación Global

Este escenario describe un mundo de cooperación internacional exitosa, dedicada a reducir la pobreza y los problemas medio ambientales; sin barreras de comercio y muchos aspectos son regulados por el gobierno (ver sección 4.6.1).

El modelo de predicción muestra un ligero aumento de las superficies de terrenos regados permanentemente de 2600 Ha en el 2010, sin embargo disminuye en similar cantidad hacia el 2020 y se mantienen constantes hacia el 2030. El aumento o disminución de esta cantidad de superficie podría significar:

- 7 Hm³ al año (1.7% del promedio anual) en caso de ser cultivos de primavera.
- 16.3 Hm³ al año (3.9% del promedio anual) en caso de ser cultivos de verano.
- 19.3 Hm³ al año (4.7% del promedio anual) en caso de ser cultivos de primavera-verano.

Si seguimos la tendencia observada en los últimos años de inclinarse a la producción de cultivos de primavera (gráfico 4.15), al volumen utilizado por el total de la superficie regada y a la localización de los cambios en los terrenos regados permanentemente en el SMO se

concluye que el cambio más probable será a cultivos de primavera, utilizando 7 Hm³ más al 2010, lo cual no implica un estrés para el sistema pues el promedio del volumen utilizado en los terrenos en regadío en los últimos años es 412 Hm³ al año (ITAP, 2010), y este cambio se localizará en el dominio Central o el Salobral (ver figura 4.39).

Los mosaicos de cultivos representan todas aquellas zonas agrícolas menores a 25 Ha que presentan patrones de cultivos diversos. En este escenario los mosaicos de cultivos siguen el mismo patrón que los terrenos cultivados permanentemente: aumento en el 2010 y luego una disminución significativa al 2020 manteniéndose constantes hasta el 2030. Estas superficies no constituyen un riesgo para el SMO en la demanda del agua pues funcionan como áreas de secano, sin embargo el aumento del nivel de nitratos en los últimos años ha estado asociado a zonas en donde la conversión de tierras de labor en secano ha conducido a mosaicos de cultivos (figura 4.21). El aumento de un poco más de 4000 Ha en esta superficie puede significar un riesgo en el aumento de los niveles de nitratos en el SMO y por tanto debe mantenerse bajo estudio. La zona más probable para producirse este cambio es la zona Nor-Este del dominio Central del SMO (Ver figura 4.37).

La superficie cubierta por bosques muestra una recuperación en los años siguientes al 2010 manteniéndose entre el 2020 y el 2030 con ligeras variaciones. Los suelos urbanos se mantienen en casi todo el período aumentando ligeramente al 2010, pero sin observar una variación brusca. Su localización espacial es alrededor de los núcleos urbanos ya existentes.

4.7.3.2 Escenario de tendencia (Cadenas de Markov)

Este escenario describe una tendencia de los cambios ocurridos en el SMO hasta del 2000 al 2006. Le tendencia al crecimiento de las superficies de terrenos regados permanentemente, la deforestación, el rápido crecimiento urbano y el alto crecimiento de los mosaicos de cultivos marcan este escenario.

Las superficies regadas crecen en todo el período hasta alcanzar un máximo de 122.221 Ha en el 2030. El incremento de esta superficie con respecto al 2010 corresponde a un incremento de 12.435 Ha lo cual se traduce en:

- 33.6 Hm³ al año (8.2% del promedio anual) en caso de ser cultivos de primavera.

- 77.8 Hm³ al año (18.9% del promedio anual) en caso de ser cultivos de verano.
- 92.2 Hm³ al año (22.4% del promedio anual) en caso de ser cultivos de primavera-verano.

Estas cantidades resultan irreales al momento de evaluar el cambio mediante este escenario. Un incremento de estas magnitudes llevaría a agravar la sobre-explotación del acuífero puesto que se prevé un decrecimiento en las precipitaciones debido a los efectos del cambio climático y a la imposibilidad de sustituir los bombeos debido a la demanda creada.

La deforestación y la creación de suelo urbano que se propone con esta tendencia aumentarían la escorrentía superficial y disminuirían la capacidad de retención de humedad por parte del suelo, aumentando las crecidas y los riesgos por inundación en las zonas bajas del SMO.

Finalmente las superficies con mosaicos de cultivos siguen los mismos patrones espaciales que los mostrados en el escenario B1, si bien no constituyen una demanda hídrica a tomar en cuenta, si pueden significar un riesgo para el aumento de los niveles de nitratos en el acuífero.

CAPÍTULO V:
RESULTADOS,
CONCLUSIONES
Y
LÍNEAS FUTURAS

5.1 Resultados

1. La superficie del SMO está compuesta en la actualidad principalmente por 36% de tierras de labor en secano, 19% por matorrales y/o vegetación herbácea, 15% de mosaicos de cultivos, 12% de terrenos regados permanentemente y 8% de bosques. El restante 10% está distribuido en diversas coberturas/ usos del suelo entre las que se encuentra el uso urbano y que representa solamente el 1% del total de la superficie. Con este panorama se puede catalogar la zona del SMO como una región eminentemente agrícola y rural.
2. El análisis de las imágenes satelitales clasificadas por el proyecto CLC arrojan un evidente cambio en la cobertura y uso del suelo a lo largo de los años. Con la ayuda de tres imágenes (1990, 2000 y 2006) se ha mostrado que a lo largo del tiempo el SMO es un sistema dinámico en constante evolución. La superficie que más ha sufrido cambios es la ocupada por las tierras de labor en secano aportando el 12.3% o 45882Ha (respecto a la superficie en 1990) a otras coberturas o usos del suelo. En especial su conversión ha sido hacia terrenos regados permanentemente (período 1990-2000) y a mosaicos de cultivos (2000-2006). Debido a la transición entre tierras de labor en secano y terrenos regados permanentemente es que estos último han sido la superficie con mayor ganancia en el período de estudio con 39944 Ha (59.4%). Los bosques también han perdido superficie (3.1%/2225Ha) a lo largo del mismo período denotando un lento proceso de deforestación y la influencia de los incendios forestales. El crecimiento urbano (55.6%/2718 Ha) ha supuesto un crecimiento económico de la zona, especialmente del 2000 al 2006 si consideramos que el 67% de este cambio ocurrió en este período.
3. El 88% del SMO tiene una densidad poblacional menor a 30 hab/Km², confirmando la estadística regional de Castilla La Mancha (21.5 hab/Km²), mientras Albacete presenta una densidad comparable a la medio de la UE (138 hab/Km²). Si definimos los municipios con menos de 2000 habitantes como población rural y a todos aquellos mayores a 10.000 habitantes como población urbana, en el SMO el 77% de los municipios son menores a 2.000 habitantes y 4.5% mayores a 10.000 habitantes.

El 17.5% de la población reside en medio rural y un 61.8% de la población reside en medio urbano.

4. El Producto Interno Bruto (PIB) de la zona está compuesto en su mayoría por los aportes del sector servicios, seguido por la agricultura, la industria y la construcción que mantienen valores muy similares, dejando por último al sector energía. El PIB de la provincia de Albacete es el doble que la provincia de Cuenca, sin embargo al relacionarlo con la población (PIB per cápita) se demuestra que el crecimiento económico reflejado en el PIB es simplemente reflejo de una mayor población y no de una mayor productividad.
5. La evolución de las superficies de regadío en el SMO tiene una clara influencia de las medidas y subsidios de la PAC, de los costos asociados al bombeo y a las restricciones impuestas a los regantes después de la entrada en vigor de la nueva Ley de Aguas, los planes hidrológicos y los planes de explotación. Una tendencia creciente hacia los cultivos de primavera está marcada a lo largo de los años, mientras que los cultivos de verano han experimentado un decrecimiento desde 1990 y los cultivos de primavera-verano lo han hecho desde el año 2000.
6. Existe una alta correspondencia, tanto en cantidad como en localización espacial, entre las categorías de los mapas del proyecto ERMOT, los mapas del proyecto CLC y los mapas de los escenarios del proyecto Eururalis. Coeficientes de correlación y matrices de confusión demuestran que si bien existen errores se puede afirmar con 95% de confiabilidad que unos mapas se corresponden con los otros.
7. El estadístico Cramer V ha demostrado ser una valiosa herramienta al momento de evaluar la influencia de determinada fuerza en una superficie específica, por ejemplo los suelos urbanos se ven influenciados por la mayoría de las fuerzas motrices escogida, en algunos casos una fuerza motriz puede actuar proporcional como lo es el caso de la densidad poblacional y en otras ocasiones puede actuar inversamente como es el caso de la lluvia o la topografía. El factor más importante para los cultivos en seco es la lluvia. El alto valor del estadístico confirma esta afirmación, así como también confirma que la lluvia influye en la ubicación de sistemas agroforestales y las poblaciones.

8. En todos los escenarios planteados en el SMO se presenta un panorama similar: la pérdida de bosque, matorrales y vegetación herbácea, y de sistemas agroforestales se ve compensada por el aumento de espacios abiertos con poca vegetación, mosaicos de cultivos y tierras de labor en secano. La tendencia entre 1990-2006 muestra una inclinación hacia el escenario de Cooperación Global (B1) como lo muestran las gráficas de evolución de todas las superficies excepto los gráficos de superficie cubierta por mosaicos de cultivos y por tierras de labor en secano. La rápida disminución de las superficies de secano está evidentemente relacionada con el aumento de las superficies de mosaicos de cultivos en el período 2000-2006, cambio que se refleja en el análisis histórico al ser esta transición la mayor observada en los últimos años.
9. La predicción del 2006, obtenida del modelo 1, difiere de la imagen CLC 2006 muy poco, entre 0-6% en la mayoría de los casos, sin embargo se observa que los cambios en el suelo urbano, terrenos regados permanentemente y espacios abiertos con poca vegetación la predicción no ha sido muy acertada (26%, 16% y 88% respectivamente). Estas diferencias se deben principalmente a que los cambios en el suelo urbano han tenido un crecimiento muy acelerado por encima de la media española, los terrenos regados han sido limitados por los acuerdos de las negociaciones en explotación del agua en la zona a partir de 1999 y los espacios abiertos con poca vegetación no están incluidos en la modelación porque sus cambios han sido menores a 500 Ha. Modelar 8 de las 28 transiciones ha producido una predicción con 99% de confianza (error por comisión/omisión general de 0.055) y por tanto se concluye que el modelo 1 es válido para la predicción y que el uso de las redes neuronales junto con las matrices de transición, ajustadas por el juicio de experto, son una metodología válida para la predicción del futuro próximo.
10. El cambio más importante en los escenarios B1 y Cadenas de Markov (modelo 2) lo representan las tierras de labor en secano (+7770 Ha/-18038 Ha), los mosaicos de cultivos (-4284 Ha/+9880 Ha) y los terrenos regados permanentemente (-2639 Ha/+6395 Ha) en el período 2010-2020. En ambos escenarios modelados los sistemas agroforestales, los espacios abiertos con poca vegetación y los humedales y superficies de agua no presentan cambios hacia el futuro. La razón de lo anterior se

debe a que los cambios históricos que se han producido en estas superficie son menores a 500 Ha lo cual constituye una limitante del modelo 2.

5.2 Conclusiones

1. Las imágenes satelitales han permitido cuantificar el cambio y localizarlo espacialmente. El crecimiento urbano está concentrado en su mayoría en la zona de Albacete y alrededores (Dominio Central y del Salobral), coincidiendo con los municipios catalogados como urbanos y de alta densidad poblacional. La pérdida de bosques, así como el aumento de los matorrales y/o vegetación herbácea, y de los espacios abiertos con poca o ninguna vegetación se han producido principalmente en la parte Norte y Oeste del SMO (Dominio Septentrional y Montearagón-Carcelén), en las provincias de Cuenca y Valencia respectivamente. La conversión de tierras de labor en secano a terrenos regados permanentemente se localiza principalmente en la zona central del Dominio Central y del Salobral, en los dominios municipales de Albacete, Barrax, La Gineta, La Roda, Montalvos, Fuentesanta y Tarazona de la Mancha.
2. De acuerdo con la clasificación CLC, la lista de las 16 transiciones más importantes muestra que 10 de ellas están determinadas por flujos de conversión interna de tierras agrícolas (LCF4). Se podría pensar que esto es evidente dado el enfoque del estudio, sin embargo se ha demostrado que más del 99% de los cambios en el SMO en el período 2000-2006 está caracterizado por estas transiciones, y por tanto por estos flujos.
3. La cobertura o uso del suelo es la expresión final de una gran cantidad de procesos dinámicos que convergen en el espacio. Se ha encontrado que los procesos dominantes en el SMO son los influenciados por las fuerzas económicas en primer lugar, seguido por las fuerzas biofísicas, y las fuerzas sociales en último lugar. De las fuerzas económicas la más influyente fue la moda de la distribución de los cultivos, de los factores biofísicos fue la topografía y de los sociales la densidad poblacional.
4. Del análisis de los diferentes proyectos europeos el más adecuado para la asimilación de los escenarios futuros como propios del SMO es el proyecto Eururalis. Los

escenarios generados por este proyecto tienen como objetivo principal estudiar lo que puede pasar con la Europa rural del futuro, condición de la zona del SMO. Eururalis cuenta con cuatro escenarios básicos (A1, A2, B1 y B2) que incluyen las diferentes variantes en la PAC, los biocombustibles, el clima y naturaleza. El escenario B1 (Cooperación Global) ha demostrado ser el que la sociedad española valora como el mejor escenario, el que presenta la mayor coincidencia con la evolución histórica y el que se modela mejor con el número de transiciones escogidas para la generación de escenarios en el SMO.

5. Se concluye que el proceso de modelación es válido para la predicción y que el uso de las redes neuronales junto con las matrices de transición es una metodología válida para escenarios del futuro próximo. Modelar 8 de las 28 transiciones (en el modelo 1) ha producido una predicción con 99% de confianza. Del análisis se deduce que una revisión de la matriz de transición basada en el juicio de experto es necesaria antes de proceder a modelar.
6. El conocimiento del pasado está incluido en los mapas de vulnerabilidad al cambio. Estos mapas muestran las zonas con mayor potencial a cambiar. Los mapas del modelo 1 y del modelo 2 coinciden en que las zonas en el Dominio Central y El Salobral alrededor de los terrenos regados permanentemente son las más propensas a sufrir cambios en el futuro, especialmente las tierras de labor en secano. Las zonas alrededor de los suelos urbanos tienen un gran potencial también. Las zonas altas de la cuenca son las que menos cambio pueden observar en el futuro.
7. La correcta evaluación de los escenarios deberá contar con un modelo más completo en donde se incluyan todas las transiciones posibles en el futuro. La transición de diversas coberturas o usos del suelo a otra no se han visto reflejadas en los mapas de los escenarios. Lo anterior se debe a que el conocimiento del pasado no garantiza las transiciones que puedan ocurrir en el futuro y por tanto un mayor número de transiciones debe ser modelado para captar fielmente los diferentes flujos.
8. El escenario de las Cadenas de Markov propone cantidades irreales en los cambios de las superficies de suelos. Estas magnitudes llevaría a la sobre-explotación del acuífero, la deforestación y al aumento de crecidas debido al incremento de

superficies artificiales. El análisis tendencial no debería utilizarse para largos períodos de tiempo.

9. El impacto del escenario B1 en los recursos hídricos más probable es que se utilicen 7 Hm³ más al 2010, lo cual no implica un estrés para el sistema pues el promedio del volumen utilizado en los terrenos en regadío en los últimos años es de 412 Hm³ al año, localizándose este cambio en el Dominio Central o El Salobral. En este escenario los mosaicos de cultivos siguen el mismo patrón que los terrenos cultivados permanentemente: aumento en el 2010 y luego una disminución significativa al 2020 manteniéndose constantes hasta el 2030. Estas superficies no constituyen un riesgo para el SMO en la demanda del agua pues funcionan como áreas de secano, sin embargo el aumento del nivel de nitratos ha estado asociado a zonas en donde la conversión de tierras de labor en secano ha conducido a mosaicos de cultivos

5.3 Líneas Futuras de Investigación

1. Existe información de sensores remotos disponible para ser analizada. La cobertura terrestre ha estado siendo mapeada desde 1976 con el fin de determinar su evolución. Nuevos satélites ofrecen herramientas e imágenes listas (Landsat) o preparadas para el análisis (Modis/Corine), sin embargo aunque el cambio es visible, el verdadero reto está en determinar por qué se han producido esas transformaciones, qué fuerzas ambientales, económicas, políticas y sociales han determinado el curso de la historia y nos proporcionen un indicio hacia donde nos dirigimos con menor incertidumbre y con rigidez científica que nos permita elaborar modelos, metodologías y buenas prácticas.
2. En la modelación con las redes neuronales, la fase exploratoria carece de rigidez científica para la elección primaria de los inputs a usar. En este estudio se han utilizando mapas de variables elegidas en base al criterio de experto y propuestos por la bibliografía. Es recomendable implementar una mejor metodología de selección de los inputs, lo cual ayudaría a optimizar el número de inputs, tamaño de la red y el tiempo computacional.

3. Obtener el mejor número de transiciones a modelar dependiendo del horizonte a futuro, la escala y el alcance del proyecto es sin duda la mejor manera de mejorar la modelación utilizando esta metodología. El crear una regla para asumir un umbral en función de la escala y de la precisión del estudio agilizaría los estudios en el cambio de la cobertura y uso del suelo a futuro.
4. Generación de escenarios propios del SMO basados en la opinión de expertos, consultas con los diversos actores y tendencias desagregadas a nivel municipal es necesaria para poder crear escenarios confiables.
5. Comparación de modelos. Si bien las redes neuronales con las matrices de transición han demostrado ser confiables, existen otras herramientas para proyectar la cobertura y uso del suelo a futuro (CLUE, CA, METRONAMICA). Experimentar con al menos dos herramientas y determinar cuál es la más confiable para crear escenarios mejoraría el conocimiento del sistema, de las limitantes y de los aciertos de los modelos.
6. Utilizar otros escenarios propuestos por otros proyectos europeos (IMAGE/ATEAM) utilizando técnicas de downscaling a escala del SMO ilustraría la incertidumbre que existe sobre la dinámica de los procesos, sin embargo ayudaría a determinar los escenarios más probables basados en las comparaciones de futuros.
7. Según Monserrat (2003) la clasificación de los suelos hecha por el proyecto CLC puede ser utilizada para obtener los mapas de Número de Curva (CN) de una zona específica. Los escenarios generados pueden ser traducidos a CN conociendo la cobertura y uso del suelo y ser aplicados en cualquier modelo hidrológico.
8. Implementar los escenarios generados dentro de un modelo lluvia-escorrentía para evaluar la variabilidad espacial de producción de escorrentía y generar diversos escenarios del ciclo hidrológico que valoren los impactos de la distribución del recurso hídrico en el SMO.
9. La metodología implementada en este estudio puede llegar a generar los escenarios de cobertura/uso del suelo a medio (2050) y largo plazo (2070) mediante la profundización en la validación de las fuerzas motrices, investigación sobre nuevas influencias o interacciones (locales y globales) y, desarrollo y validación con los actores del SMO, de los posibles escenarios futuros.

REFERENCIAS

- Angelsen, A. y Kaimowitz, D. (1999). Rethinking the causes of deforestation: Lessons from economic models. *World Bank Res Obser* 14(1):73–98
- Ariño, O., P. Bicheron, F. Achard, J. Latham, R. Witt & J. L. Weber (2008). GLOBCOVER — The most detailed portrait of Earth. *ESA Bulletin-European Space Agency*, 24–31.
- Babiker, I.S., Mohamed, M.A.A., Terao, H., Kato, K., Ohta, K. (2004). Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system. *Environ Int* 29(8):1009–1017
- Bilsborrow, R.E. (1987). Population pressures and agricultural development in developing countries: A conceptual framework and recent evidence. *World Dev* 15(2):183–203
- Blanco, J.M, Esteban, M.T. (1995). Las repercusiones de la PAC en la ocupación del suelo de la Campiña. *WAD-AL-HAYARA Vol. 22*, p. 481-500
- BOE 156 (2008). ORDEN ITC/1857/2008, de 26 de junio, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de julio de 2008.
- Briassoulis, H. (2000) Analysis of Landuse Change: Theoretical and Modeling Approaches, in Loveridge S. (ed) *The Web Book of Regional Science* West Virginia University, Morgantown.
- Brookfield, H. (1999). Environmental damage: Distinguishing human from geophysical causes. *Environmental Hazards* 1:3–11
- Calafat Marzal, M.C. (2006). Contribución al estudio de los cambios del uso del suelo de la comunidad valenciana. Ed. Comité Económico y Social de la Comunidad Valenciana, 399 pp.
- Calera, A. (2010). Evolución de las superficies en regadío, en el ámbito del acuífero de la Mancha Oriental, mediante Teledetección (ERMOT). Campaña 2010, ficha técnica de estudio, Universidad Castilla La Mancha.
- Canadell, J., Pataki, D., Pitelka, L. (2006). *Terrestrial ecosystems in a changing world*. Cambridge University Press, Cambridge
- Cassman, K., Wood S., Choo P.S., Dixon J., Gaskell J., Khan S., Lal R, Pretty J., Primavera J., Ramankutty N., Viglizzo E., Kadungure S., Kanbar N., Porter S., Tharme R. (2005). Cultivated systems. In: Scholes R, Rashid H (eds) *Millennium Ecosystem Assessment: Working group on conditions and trends*. Island Press, Washington D.C.
- CEDEX (2011). http://hercules.cedex.es/hidrologia/pub/proyectos/base_hidro.htm
- CHJ (2004). Júcar Pilot River Basin. Provisional article 5 report pursuant to the water framework directive. Ministry of Environment, Valencia, Spain.
- CHJ (2007). Estudio general sobre la demarcación hidrográfica del Júcar. Ministerio de Medio Ambiente, Valencia, España.
- Cilliers, P., (1998). *Complexity and postmodernism*. Routledge, New York
- Cohen, J., (1960). A coefficient of agreement for nominal scales, *Educational and Psychological Measurement*, 20(1):37-46.
- Comisión de las Comunidades Europeas (1999). Estrategia Territorial Europea (ETE): Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la UE. Bruselas. http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/official/reports/pdf/sum_es.pdf
- Comisión Europea (2007) Scenar 2020 – Scenario study on agriculture and the rural world.,Luxembourg, 236 pp. Disponible online en: http://ec.europa.eu/agriculture/agrista/2006/scenar2020/final_report/scenar2020final.pdf
- Crecente, R., Álvarez, C., Fra, V. (2001). Economic, social and environmental impact of land consolidation in Galicia. *Land Use Policy* 19 (2002), 135-147.
- DeFries, R., Field, C., Fung, I., Justice, C., Los, S., Matson, P., Matthews, E., Mooney, H., Potter, C., Prentice, K., Sellers, P., Townshend, J., Tucker, C., Ustin, S., Vitousek,, P. (1995). Mapping the land-surface for global atmosphere-biosphere models: Toward continuous distributions of vegetations functional-properties. *J Geophys Res-Atmos* 100:20867–20882

- DeFries, R.S., Asner, G.P., Houghton, R.A., (2004). Trade-offs in landuse decisions: Towards a framework for assessing multiple ecosystem responses to land-use change. In: DeFries RS, Asner GP, Houghton RA (eds) *Ecosystems and land use change*. Geophysical Monograph 153. American Geophysical Union, Washington D.C., pp 1–9
- Diario Oficial Castilla La Mancha –DOCM- (1998). Orden de 21-08-1998. Resolución de 07-08-98 de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente.
- Eastman, J.R., 2006. IDRISI Andes. Guide to GIS and image processing Clark University, Worcester, MA.
- Eastman, J.R., 2009. IDRISI Taiga Tutorial, Clark University.
- Eastman, J.R., Van Fossen, M. E. and Solarzano, L.A., 2005. Transition Potential Modeling for Land Cover Change, in GIS, Spatial Analysis and Modeling, D.
- EEA, European Environment Agency (1998) *Europe's Environment: The Second Assessment* (Office for official publication of the European Communities, Luxembourg)
- EEA, European Environment Agency, (2006). *Land accounts for Europe 1990–2000 Towards integrated land and ecosystem accounting*. ISBN 92-9167-888-0
- EEA, European Environment Agency (2008) *Modeling tools for the 2010 State of the Environment and Outlook Report*, Copenhagen K. Denmark.
- Eltahir, E.A.B., Bras, R.L., (1996). Precipitation recycling. *Rev Geophys* 34:367–378
- Eurostat (2011). <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/database> (accesado en noviembre 2011)
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2011) FAOSTAT data. FAO, Rome, <http://faostat.fao.org> (accesado en septiembre 2011)
- Fischer, G., Schrattenholzer, L. (2001). Global bioenergy potentials through 2050. *Biomass Bioenerg* 20:151–159
- Fox, J., Rindfuss, R.R., Walsh, S.J., Mishra, V., (eds) (2003). *People and the environment: Approaches for linking household and community surveys to remote sensing and GIS*. Kluwer Academic, Dordrecht Boston London, 319 pp
- Friedl, M. A., D. Sulla-Menashe, B. Tan, A.Schneider, N. Ramankutty, A. Sibley, X. Huang (2010) MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote Sensing of Environment* 114 (2010) 168–182
- García-Latorre, J., Álvarez-Latorre, J., Sánchez-Picón, A. (2001). Dealing with aridity: socio-economic structures and environmental changes in an arid mediterranean region. *Land use policy*, Vol. 18 (1), p. 56–64.
- Geist, H.J., (2005). *The causes and progression of desertification*. Ashgate Publishing, Aldershot, 258 pp
- Genovese, E. (2006) *A Methodological Approach to Landuse-Based Flood Damage Assessment in Urban Areas: Prague Case Study -EUR 22497 EN*
- Gómez, O., Paramo, F. (2005). *Environmental Accounting: methodological guidebook, data processing of land cover flows*, EEA, 23 pp.
- Gómez Orea, D. (2008). *Ordenación Territorial*. Ed. Mundi-prensa, 766 pp.
- Helming, K.; M. Pérez-Soba; P. Tabbush (Eds.) (2008) *SENSOR – Tools for Environmental, Social and Economic Effects of Multifunctional Landuse in European Region* Springer Verlag, Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-540-78647-4, 2008, X, 502 p. 72 illus., 55 in color., Hardcover
- Houghton RA, Hackler JL, Lawrence KT (1999). The U.S. carbon budget: Contributions from land-use change. *Science* 285:574–578
- ITAP (2010). *Anuarios Técnicos*. <http://www.itap.es/>
- Jaimes, N.; Sendra, J.; Delgado, M.; Rocha, W. (2008). Analysis of landuse changes in the State of Mexico using regression analysis and GIS: an approach to the deforestation processes *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188-4611, N. 69, 2009, pp. 33-52*
- Jansson, T., Bakker, M.M., Boitier, B., Fougeyrollas, A., Helming, J., Van Meijl, H. and Verkerk, P.J. (2008). Linking models for landuse analysis: experiences form the SENSOR project. *Conference proceedings of the XIIth Congress of the European Association of Agricultural Economists*. Ghent, Belgium, August 26–29, 2008.

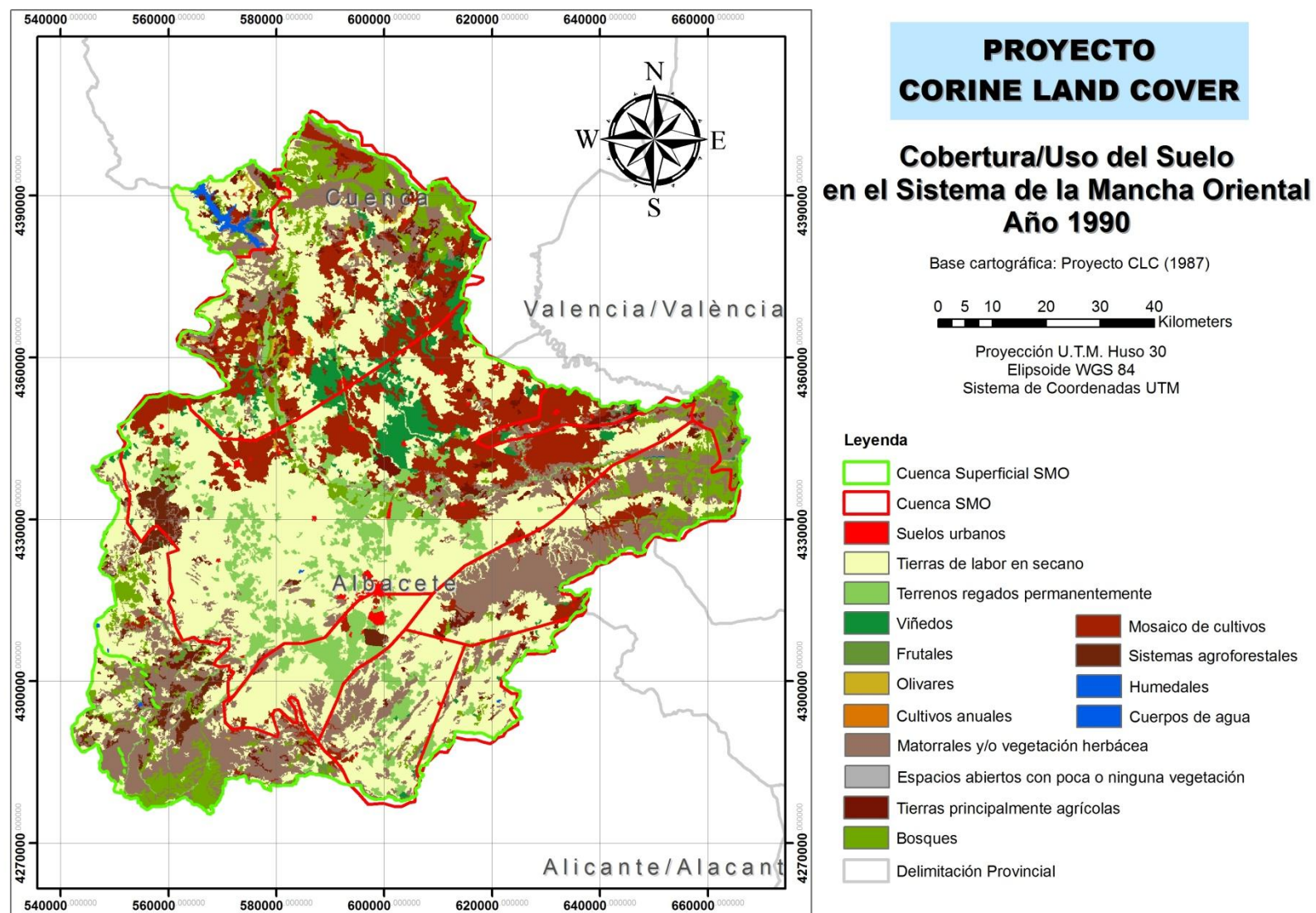
- Jiang, Z. (2007) The Road Extension Model in the Land Change Modeler for Ecological Sustainability of IDRISI. 15th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, November 7-9, 2007, Seattle, WA
- Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental (JCRMO). Memoria 2010. <http://www.jcrmo.org/>
- Kabat, P., Claussen, M., Dirmeyer, P., Gash, J.H.C., Bravo de Guenni L., Meybeck M, Pielke R.A. Sr., Vörösmarty, C.J., Hutjes, R.W.A., Lütkeemeier, S. (eds) (2004). *Vegetation, water, humans and the climate: A new perspective on an interactive system*. Springer, Berlin Heidelberg
- Kasperson R.E., Archer E., Caceres D., Dow K., Downing T., Elmqvist T., Folke C., Han G., Iyengar K., Vogel C., Wilson K., Ziervogel G. (2005). *Vulnerable people and places*. In: Scholes R, Rashid H (eds) *Millenium Ecosystem Assessment. Working group on conditions and trends*, Island Press, Washington D.C.
- Klein Goldewijk K. (2001). Estimating global land use change over the past 300 years: The HYDE Database. *Global Biogeochem Cy* 15:417-433
- Klijn, J.A.; Vullings, L.A.E.; van den Berg, M.; van Meijl, H.; van Lammeren, R.; van Rheenen, T.; Veldkamp, A.; Verburg, P.H.; Westhoek, H., Eickhout, B. (2005) *The EURURALIS study: Technical document*. Alterra. Wageningen. (<http://www.eururalis.nl/background.htm>).
- Lambin, E.F., Turner, B.L. II, Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce J.W., Coomes O., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George P.S., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X., Moran E.F., Mortimore M., Ramakrishnan P.S., Richards J.F., Skånes H., Stone G.D., Svedin U., Veldkamp T.A., Vogel C., Xu J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environ Chang* 11(4):261-269
- Lambin, E.F., Geist H. and Lepers E., (2003). Dynamics of land use and cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 28, pp. 205-241.
- Lambin, E.F., Gesit, H., eds. (2006). *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts*. Springer, Berlin, 232 pp.
- Lein, J.K. (2003). Sensing sprawl: Towards the monitoring of urban expansion using Dempster-Shafer theory. *Geocarto International* 18, no. 2: 61-70.
- López Fuster, P. (2000). *Los regadíos de la Mancha Oriental: Una quimera hecha realidad*. Diputación de Albacete y Caja Castilla La Mancha, 133 pp.
- Lopez, G. (2008). Comunicación presentada a la Jornada “El modelo Mancha Oriental en la gestión de las aguas subterráneas. Avances y retos”, celebrada en el Salón de Actos de Caja Castilla-La Mancha en Albacete el 20 de octubre de 2008. Organizadas por el Instituto de Desarrollo Regional de la UCLM y la Junta Central de Regantes de La Mancha Oriental.
- Martín de Santa Olalla, F., Brasa, A., Fabeiro, C., Fernández, D., López, H., 1999a. Improvement of irrigation management towards the sustainable use of groundwater in Castilla-La Mancha. *Agricultural Water Management* 40 (2-3), 195-205.
- Mather, A.S. (2006). Proximate causes. In: Geist HJ (ed) *Our Earth’s changing land: An encyclopedia of land-use and land-cover change*, vol. 2 (L-Z). Greenwood Press, Westport, London, pp 490-495
- McConnell, W.J., Keys, E. (2005). Meta-analysis of agricultural change. In: Moran EF, Ostrom E (eds) *Seeing the forest and the trees: Human-environment interactions in forest ecosystems*. MIT Press, Cambridge London, pp 325-353
- Mendes, J.F.G., and Motizuki W.S. 2001. “Urban Quality of Life Evaluation Scenarios: The Case of São Carlos in Brazil University of São Paulo, Brazil.” *CTBUH Review* 1, no. 2: 13-22.
- Mersseli, G. (1997). Geography in a rapidly changing world. *IGV Bulletin* 47 (1), 65-75.
- Meyer W.B., Adger W.N., Brown K., Graetz D., Gleick P., Richards J.F., Magalhães A (1998) *Land and water use*. In: Rayner S, Malone E (eds) *Human choice and climate change*, vol. 2, (Resources and technology). Battelle Press, Columbus, pp 79-143
- Meyer W.B., Turner B.L. II (2002) *The Earth transformed: Trends, trajectories and patterns*. In: Johnston RJ, Taylor PJ, Watts MJ (eds) *Geographies of global change: Remapping the world*, 2nd ed. Blackwell, Oxford, pp 364-376
- Millennium Ecosystem Assessment (2003). *Ecosystems and human well-being: A framework for assessment*. Island Press, Washington D.C., 245 pp
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press, Washington D.C., 137 pp

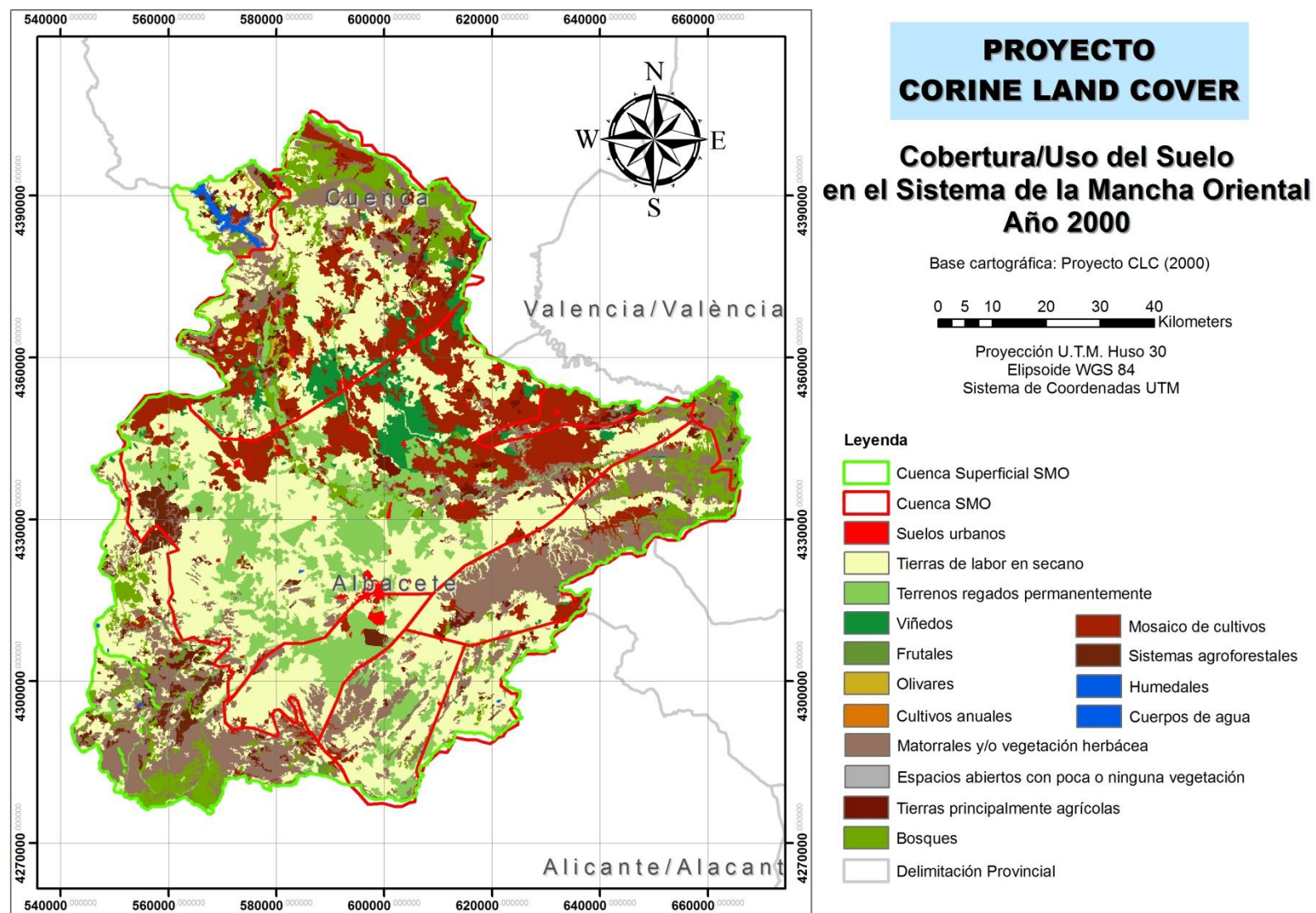
- Monserrat, F. (2003). Análisis de nuevas Fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección. CEDEX, Madrid, pp. 346
- Moratalla, A., Gómez-Alday, J.J., De las Heras, J., Sanz, D., Castaño, S. (2009). Nitrate in the water-Supply Wells in the Mancha Oriental Hydrogeological System (SE Spain). *Water Resources Management*, vol. 23:1621–1640.
- Moreno JL, Navarro C, De las Heras J (2006) Abiotic ecotypes in south-central Spanish rivers: reference conditions and pollution. *Environ Pollut* 143(3):388–396
- Morris, J., Tabbush, P., Moncada, S., Camilleri, M., Imrichova, Z., Farrington, J., Dilly, O., Doerrie, C., Stuczynski, T., Korzeniowska, R., Siebielec, G., Koza, P., Lopatka, A., Pudelko, R., Kowalik, M., Izakovicova, Z., Kenderessy, P., Oja, T., Kull, A., Mander, Ü. (2008) Recommendations for Sustainability Impact Assessment based on stakeholder-inclusive analysis of policy cases in Sensitive Area Case Studies. Internal Report for EU SENSOR Project.
- Nakicenovic, N. et al (2000) Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 599 pp. Disponible online en: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>
- OECD (1994) Environmental Indicators. OECD Core Set. Paris.
- Oñate-Valdivieso, F., Bosque Sendra, J. (2010). Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios of hydrological modeling. *Journal of Hydrology* Vol. 395, p. 256-263.
- Ojima, D.S., Galvin, K.A., Turner, B.L. II (1994). The global impact of landuse change. *BioScience* 44(5):300–304
- Observatorio de Sostenibilidad de España (2006). Informe de Cambios de Ocupación del Suelo en España. <http://www.sostenibilidad-es.org/es/informes/informes-tematicos/cambios-de-ocupacion-del-suelo-en-espana>.
- Parker, D.C., Manson SM, Janssen MA, Hoffman M, Deadman P (2003). Multi-agent systems for the simulation of land-use and landcover change: A review. *Ann Assoc Am Geogr* 93:314–337
- Pavón, D., Ventura, M., Rivas, A., Serra, P., Saurí, D., Breton, F. (2002). Land use change and socio-environmental conflict in the Alt Empordá country (Catalunya, Spain). *Journal of Arid Environments*, Vol. 54 (3), pp. 543-552.
- Pontius Jr., R.G. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66 (8) pp. 1011-1016.
- Pontius, Gil R., Malanson, J. (2005) Comparison of the structure and accuracy of two land change models, *International Journal of Geographical Information Science*, 19: 2, 243 — 265
- Pulido-Velazquez, M. (2011). Informe de seguimiento anual: modelos hidroeconómicos para adaptar la gestión de sistemas de recursos hídricos al cambio climático. Universidad Politécnica de Valencia, 250 pp.
- Ramankutty, N., Foley, J.A. (1999). Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochem Cy* 13(4):997–1027
- Ramankutty, N., Foley, J.A., Olejniczak, N.J. (2002). People on the land: changes in global population and croplands during the 20th century. *Ambio* 31 (3): 251-257.
- Richards, J.F. (1990). Land transformation. In: Turner BL II, Clark WC, Kates RW, Richards JF, Mathews JT, Meyer WB (eds) *The Earth as transformed by human action: Global and regional changes in the biosphere over the past 300 years*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 163–178
- Rienks, W.A. (Ed.) (2007). *The future of rural Europe. An anthology based on the results of the Eururalis 2.0 scenario study*. Wageningen UR and Netherlands Environmental Assessment Agency (MNP). Wageningen and Viltthoben, the Netherlands.
- Rubio, E., Torres, E., Denia, J., González-Piqueras, J., Calera, A. (2007). Secuencia multitemporal de imágenes en la estimación de la distribución espacial de la evapotranspiración real a escala regional: El modelo MORE. Universidad de Castilla La Mancha.
- Ruiz, J.M. (1999). Modelo distribuido para la evaluación de recursos hídricos. CEDEX, Madrid, ISBN: 84-4980417-5, 245 pp.

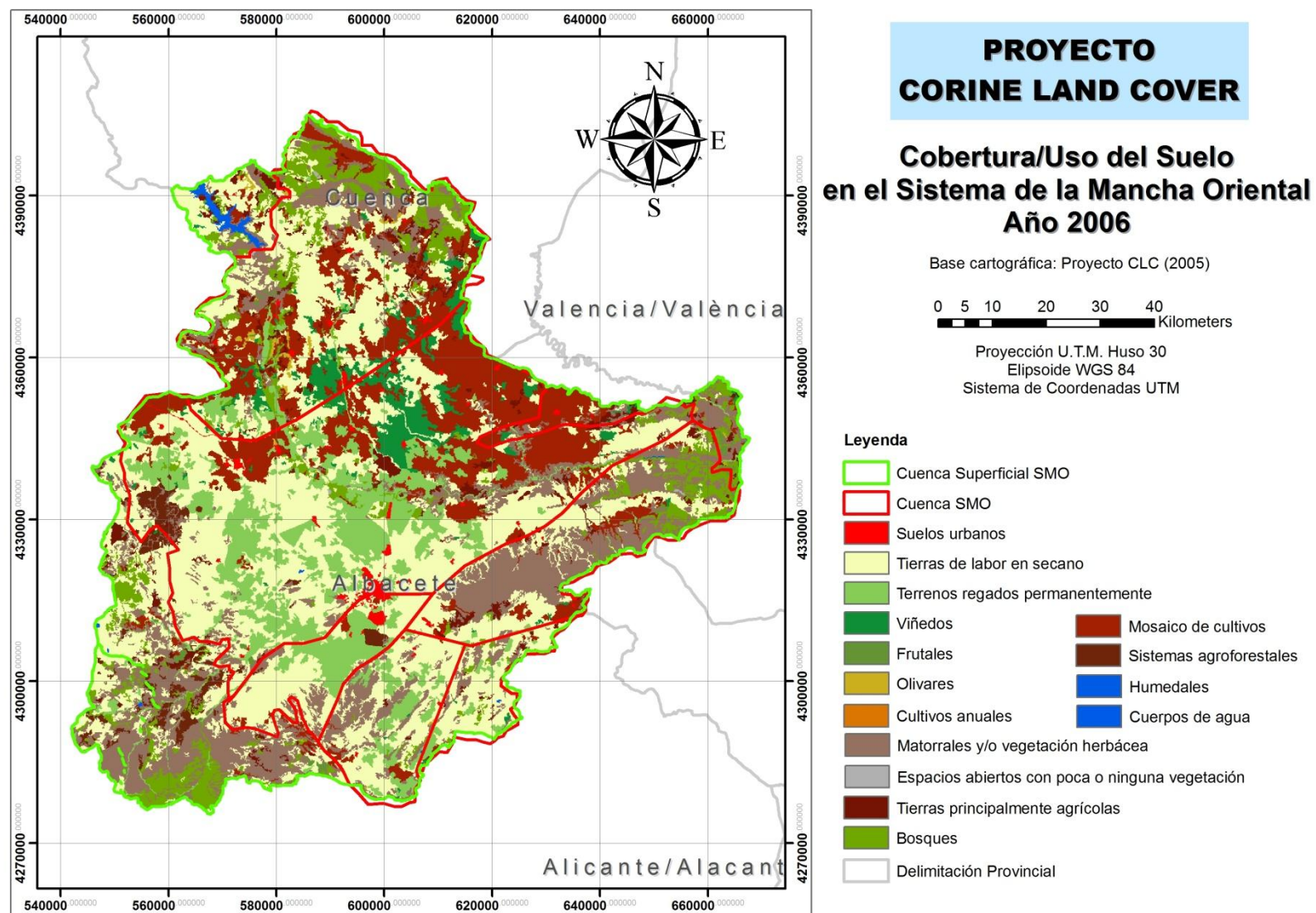
- Sagan C., Toon O.B., Pollack J.B. (1979). Anthropogenic albedo changes and the Earth's climate. *Science* 206:1363–1368
- Sala O.E., Chapin, F.S. III, Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, N.L., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M., Wall, D.H. (2000). Biodiversity: Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287:1770–1774
- Sanderson E.W., Jaiteh, M., Levy, M.A., Redford, K.H., Wannebo, A.V., Woolmer, G. (2002). The human footprint and the last of the wild. *BioScience* 52(10):891–904
- Sanz, D., Gomez-Alday, J.J., Castaño, S., Moratalla, A., De las Heras, J., Martínez-Alfaro, P.E. (2009).. Hydrostratigraphic framework and hydrogeological behaviour of the Mancha Oriental System (SE Spain). *Hydrogeology Journal* Vol. 17, 1375-1391.
- Schepens, T. (2005). Atlas of European Values. Ed. Loek Halman, Ruud Luijkx y Marga van Zundert. Universidad de Tilburg.
- Schröter, D. et al. (2004) The ATEAM final report -Detailed report related to overall project duration. Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modeling, a project funded under the 5th framework Programme of the European Union, pp. 139.
- Shirley, L.J. and Battaglia, L.L. (2008) Projecting fine resolution land-cover dynamics for a rapidly changing terrestrial-aquatic transition in Terrebonne Basin, Louisiana, U.S.A. *Journal of Coastal Research*, 24(6), 1545–1554. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.
- Tanrivermis, H. (2002). Agricultural land use change and sustainable use of land resources in the Mediterranean region of Turkey. *Journal of Environments*, Vol. 54 (3), pp. 553-564.
- Tilman, D. (1999). Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. *Proc Natl Acad Sci USA* 96(11):5995–6000
- Tri-Academy Panel (2001). Population and land use in India, China, and the United States: Context, observations, and findings. In: Indian National Science Academy, Chinese Academy of Sciences, and U.S. National Academy of Sciences (eds) *Growing populations, changing landscapes: Studies from India, China, and the United States*. National Academy Press: Washington D.C., pp 9–72
- Trimble, S.W, Crosson, P. (2000). Land use: U.S. soil erosion rates. Myth and reality. *Science* 289:248–250
- Turner, B.L. II (2002). Toward integrated land-change science: Advances in 1.5 decades of sustained international research on landuse and land-cover change. In: Steffen W, Jäger J, Carson D, Bradshaw C (eds) *Challenges of a changing Earth: Proceedings of the Global Change Open Science Conference*, Amsterdam, The Netherlands, 10–13 July 2001. (The IGBP Series), Springer, Berlin Heidelberg, pp 21–26
- Turner, B.L. II (2006). Land change as a forcing function in global environmental change. In: Geist HJ (ed) *Our Earth's changing land: An encyclopedia of land-use and land-cover change*, vol. 1 (A–K). Greenwood Press, Westport, London, pp xxv–xxxii
- Turner, B.L. II, McCandless S. (2004). How humankind came to rival nature: A brief history of the human-environment condition and the lessons learned. In: Clark WC, Crutzen P, Schellnhuber H-J (eds) *Earth system analysis for sustainability*. Dahlem Workshop report No. 91, MIT Press, Cambridge, pp 227–243
- Turner, B.L. II, Meyer, W.B. (1994). Global land-use and land-cover change: An overview. In: Meyer WB, Turner BL II (eds) *Changes in land use and land cover: A global perspective*. Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge New York Melbourne, pp 3–10
- Van Delden, H., J. C. Escudero, I. Uljee, and G. Engelen, 2005. METRONAMICA: A dynamic spatial landuse model applied to Vitoria-Gasteiz. Virtual Seminar of the MILES Project. Centro de Estudios Ambientales, Vitoria-Gasteiz.
- Van Delden, H., Stuczynski, T., Ciaian, P., Paracchini, M.L., Hurkens, J. Lopatka, A; Shi, Y.; Prieto, O., Calvo, S.; Vliet, J.; Vanhout, R. (2010). Integrated assessment of agricultural policies with dynamic landuse change modeling. *Ecological Modeling*

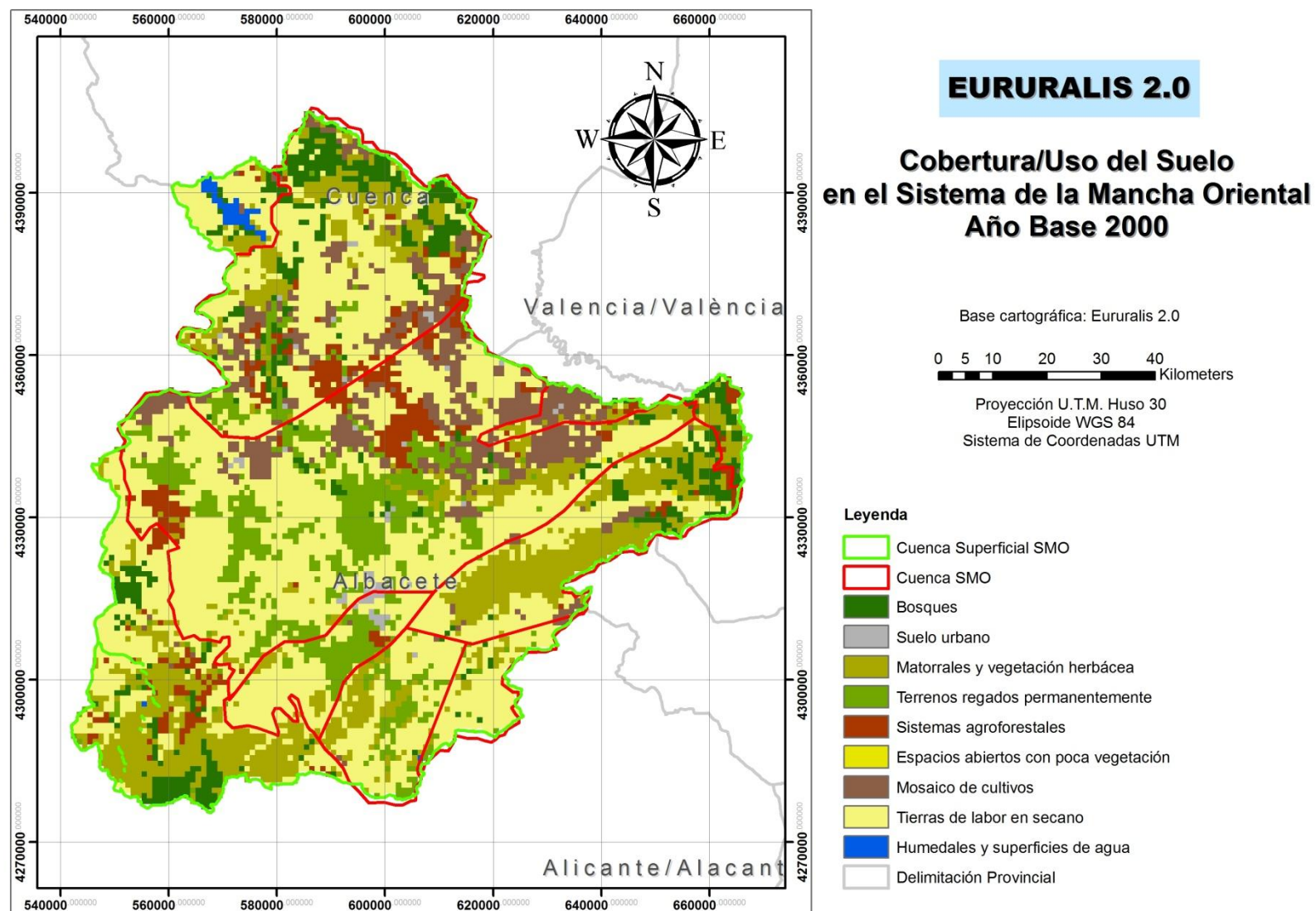
- Van Vuuren, D. (2007). Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: An assessment of reduction strategies and costs *Climatic Change* 81 (2), pp. 119-159.
- Veldkamp A, Fresco LO (1996). CLUE-CR: An integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. *Ecol Model* 91(1):231–248
- Veldkamp, A., Verburg, P.H. (2004). Modeling land use change and environmental impact. *J Environ Manage* 72(1/2):1–4
- Veldkamp, A. and Lambin, E.F. (2001) Editorial: predicting landuse change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 85, pp. 1–6
- Verburg, P.H., de Koning, G.H.J., Kok, K., Veldkamp, A., Bouma, J. (1999) A spatial explicit allocation procedure for modeling the pattern of landuse change based upon actual landuse. *Ecological Modeling*, 116, 45-61.
- Verburg, P.H., M.D.A. Rounsevell and Veldkamp A. (2006a) Scenario-based studies of future landuse in Europe, *Agriculture, Ecosystems, and Environment* 114 (2006), pp.1–6.
- Verburg, P.H., K. Kok, R.G. Jr. Pontius, A. Veldkamp (2006b) Modeling Landuse and Land-Cover Change. In: Lambi E, Geist H (eds) *Landuse and land-cover change: local processes and global impacts*. Springer, Berlin
- Verburg, P.H. and Overmars, K.P. (2007) Dynamic simulation of landuse change trajectories with the CLUE-s model. In: Koomen, E., Stillwell, J., Bakema, A. and Scholten, H.J. (eds.). *Modeling Landuse Change. Progress and applications*. The GeoJournal Library, Volume 90. Springer. Pp321-338.
- Volkery, A., Henrichs, T., Hoogeveen, Y., and Ribeiro, T. (2008) Your vision or my model? Lessons from participatory landuse scenario development on a European scale. *Systemic Action & Practice Research*, forthcoming.
- Westhoek, H.J., M. van den Berg, J.A. Bakkes. 2006. Scenario development to explore the future of Europe's rural areas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114: 7-20.
- Woodwell, G.M., Hobbie, J.E, Houghton, R.A., Melillo, J.M., Moore, B., Peterson, B.J., Shaver, G.R. (1983). Global deforestation: Contribution to atmospheric carbon dioxide. *Science* 222:1081–1086
- WUR/MNP (2007). *Eururalis 2.0*. Disponible en internet: <http://www.eururalis.eu>
- Zasada, I., Müller, F., Piorr, A., Toussaint, V., Werner, A., Müller, K., Helming, K., Fricke, K. (2007) Quantifying impacts caused by landuse change due to periurbanisation on recreational open space and regional recreation potentials: a methodology to develop landscape response functions in the PLUREL project; In: Pintar et al (eds.): *Multifunctional landuse in the rural-urban perspective*. Proceedings. 37-38. Bled, Slovenia.

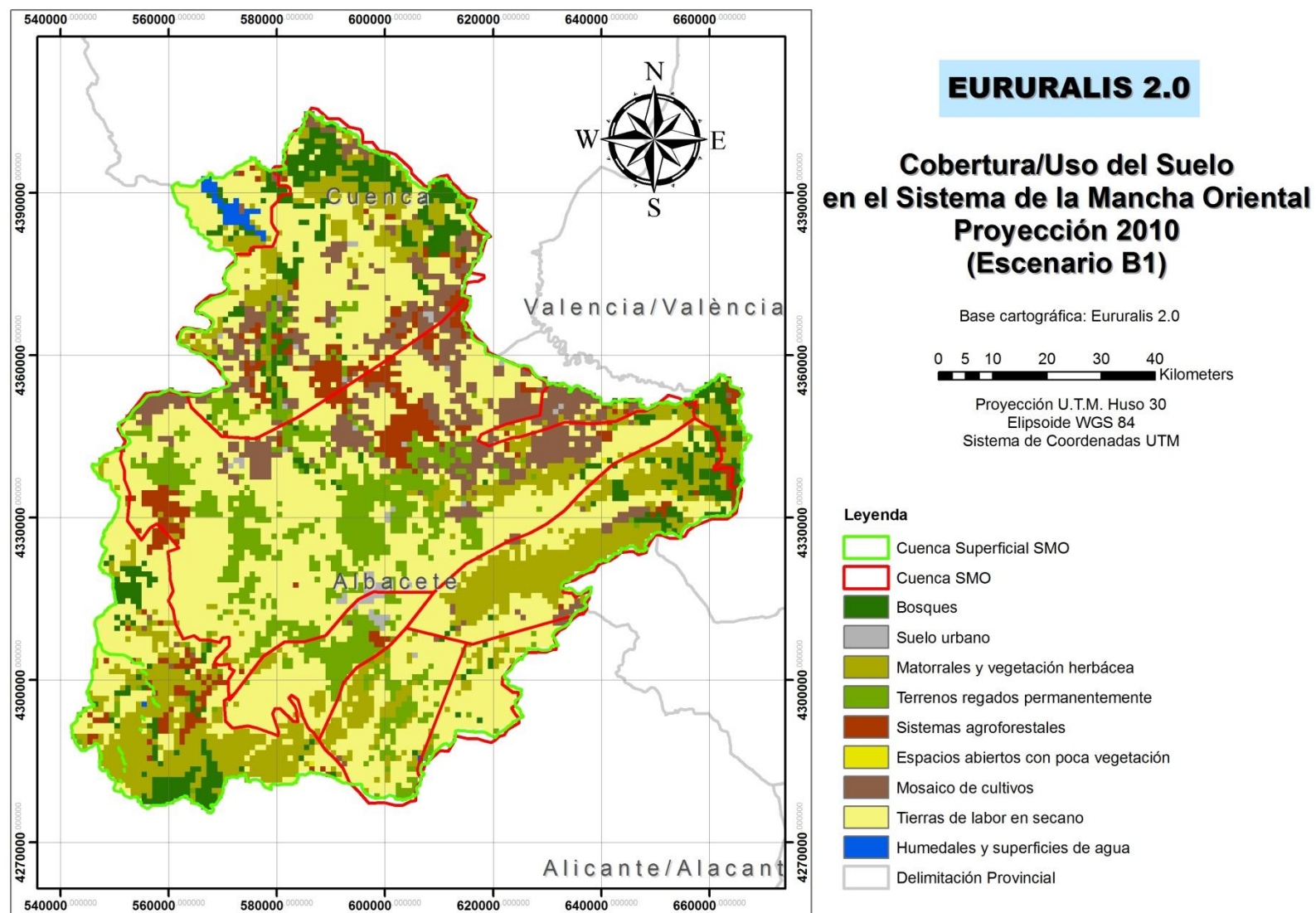
ANEXOS

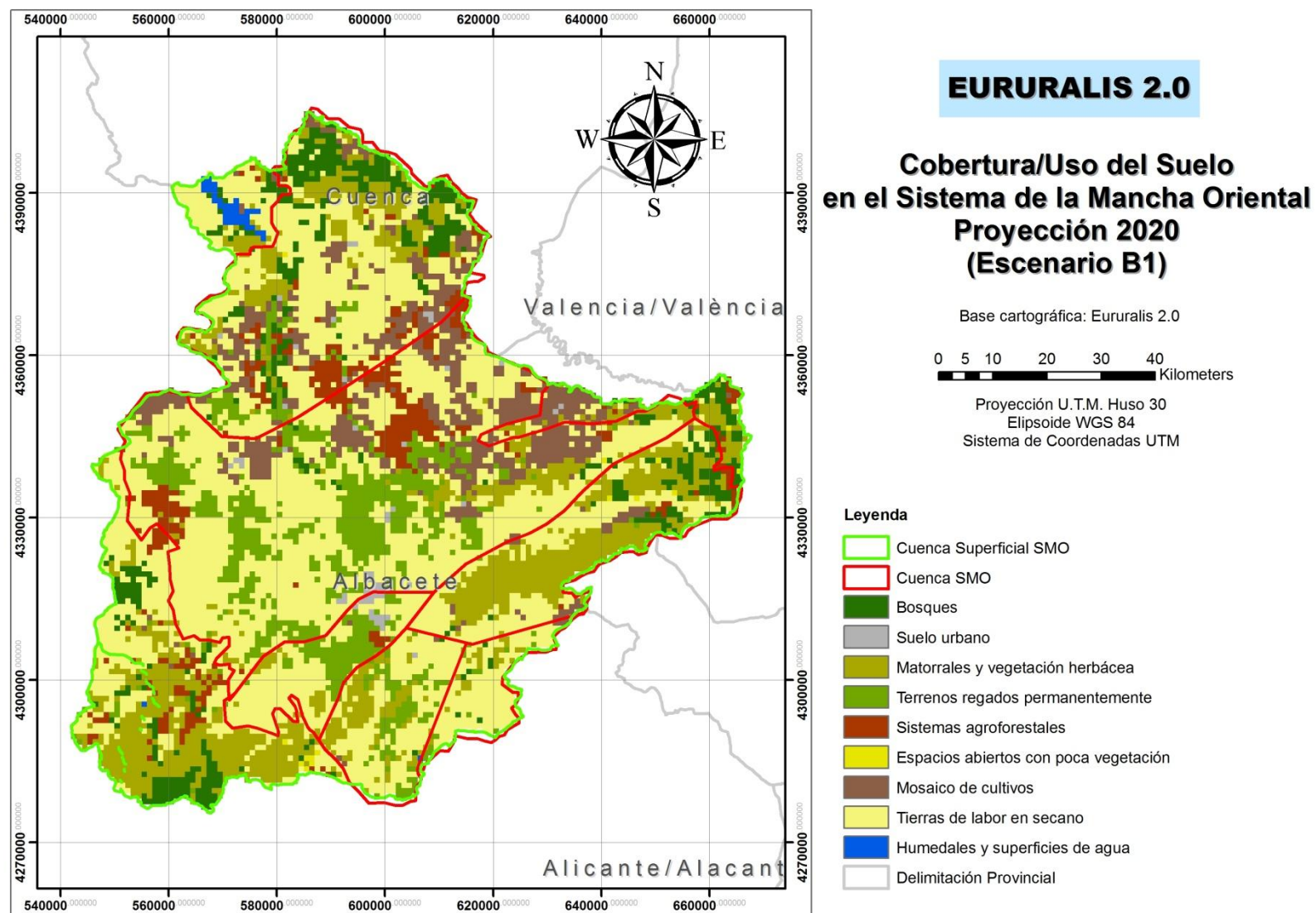


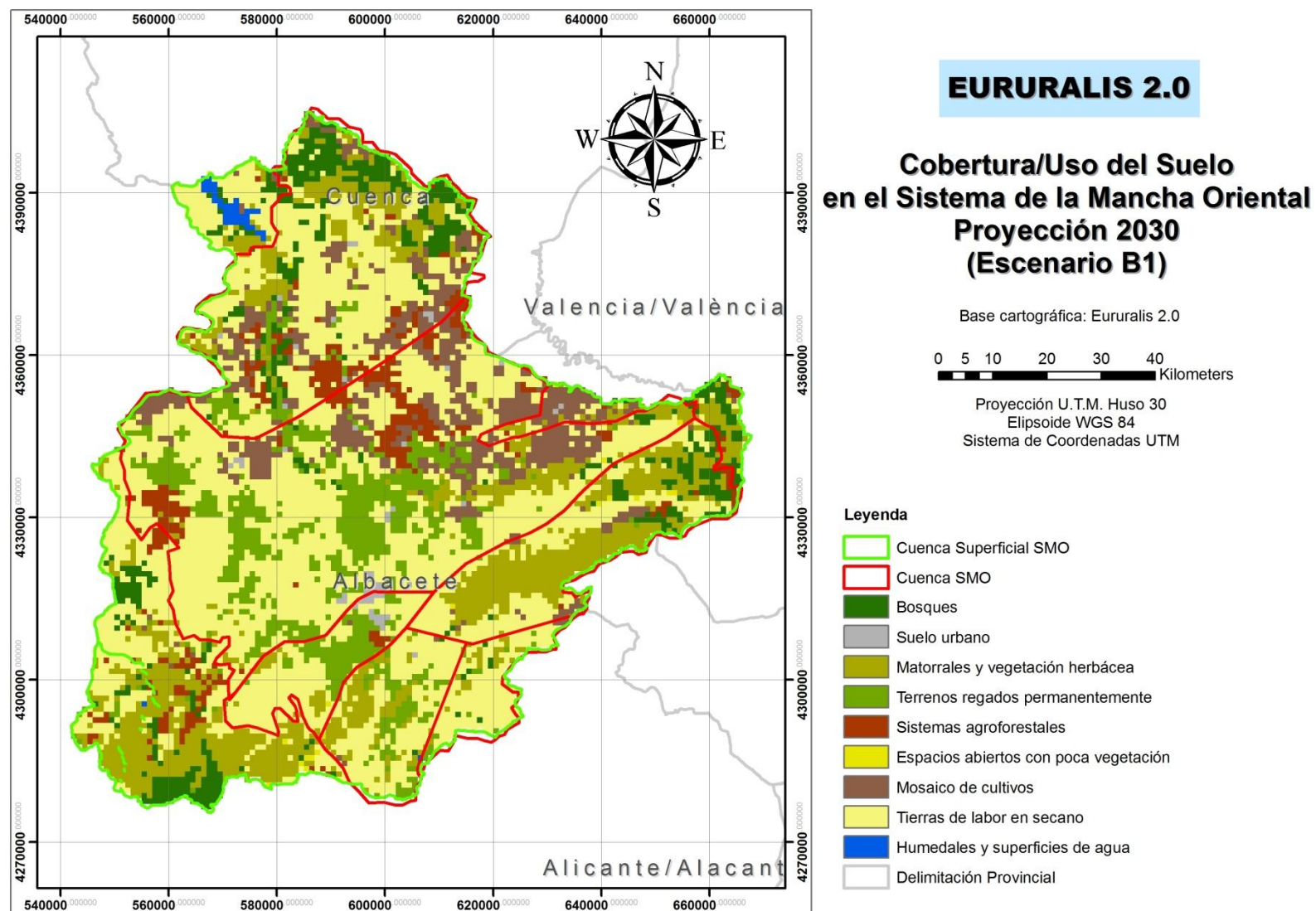












Transiciones observadas en el SMO 1990-2000

Número de procesos	Transición 1990-2000	Área (ha)	% cambio	% acumulado
	Persistencia en cuenca	839994		
1	Tierras de labor en secano a terrenos regados permanentemente	33292	61.04	61.04
2	Mosaico de cultivos a tierras de labor en secano	4654	8.53	69.57
3	Vinedos a tierras de labor en secano	2690	4.93	74.50
4	Tierras de labor en secano a mosaico de cultivos	1937	3.55	78.05
5	Mosaico de cultivos a terrenos regados permanentemente	1841	3.38	81.43
6	Vinedos a mosaico de cultivos	1690	3.10	84.53
7	Tierras de labor en secano a vinedos	1548	2.84	87.37
8	Bosques a matorrales	626	1.15	88.51
9	Matorrales a tierras de labor en secano	590	1.08	89.60
10	Olivares a mosaico de cultivos	562	1.03	90.63
11	Vinedos a terrenos regados permanentemente	527	0.97	91.59
12	Tierras de labor en secano a urbano	462	0.85	92.44
13	Sistemas agroforestales a terrenos regados permanentemente	414	0.76	93.20
14	Bosques a tierras de labor en secano	299	0.55	93.75
15	Tierras principalmente agrícolas a mosaico de cultivos	257	0.47	94.22
16	Bosques a tierras principalmente agrícolas	223	0.41	94.63
17	Mosaico de cultivos a vinedos	207	0.38	95.01
18	Tierras de labor en secano a sistemas agroforestales	197	0.36	95.37
19	Tierras principalmente agrícolas a tierras de labor en secano	180	0.33	95.70
20	Matorrales a tierras principalmente agrícolas	179	0.33	96.03
21	Matorrales a terrenos regados permanentemente	166	0.30	96.33
22	Mosaico de cultivos a tierras principalmente agrícolas	157	0.29	96.62
23	Mosaico de cultivos a urbano	155	0.28	96.90
24	Tierras principalmente agrícolas a terrenos regados permanentemente	134	0.25	97.15
25	Olivares a tierras de labor en secano	124	0.23	97.37
26	Terrenos regados permanentemente a mosaico de cultivos	115	0.21	97.59
27	Tierras de labor en secano a matorrales	104	0.19	97.78
28	Terrenos regados permanentemente a urbano	95	0.17	97.95
29	Matorrales a Bosques	93	0.17	98.12
30	Matorrales a espacios abiertos	87	0.16	98.28
31	Frutales a tierras principalmente agrícolas	86	0.16	98.44
32	Olivares a urbano	77	0.14	98.58
33	Vinedos a olivares	64	0.12	98.70
34	Mosaico de cultivos a olivares	55	0.10	98.80
35	Matorrales a urbano	54	0.10	98.90
36	Bosques a espacios abiertos	53	0.10	98.99
37	Terrenos regados permanentemente a frutales	52	0.10	99.09
38	Mosaico de cultivos a matorrales	50	0.09	99.18
39	Vinedos a urbano	40	0.07	99.25
40	Tierras principalmente agrícolas a matorrales	38	0.07	99.32
41	Bosques a terrenos regados permanentemente	37	0.07	99.39
42	Frutales a terrenos regados permanentemente	36	0.07	99.46
43	Tierras de labor en secano a tierras principalmente agrícolas	36	0.07	99.52
44	Olivares a matorrales	35	0.06	99.59
45	Vinedos a tierras principalmente agrícolas	33	0.06	99.65
46	Terrenos regados permanentemente a tierras principalmente agrícolas	32	0.06	99.71
47	Matorrales a mosaico de cultivos	31	0.06	99.76
48	Matorrales a frutales	27	0.05	99.81
49	Bosques a mosaico de cultivos	25	0.05	99.86
50	Cuerpos de agua a matorrales	24	0.04	99.90
51	Sistemas agroforestales a tierras de labor en secano	19	0.03	99.94
52	Bosques a sistemas agroforestales	16	0.03	99.97
53	Tierras de labor en secano a frutales	10	0.02	99.99
54	Tierras de labor en secano a olivares	4	0.01	99.99
55	Terrenos regados permanentemente a matorrales	4	0.01	100.00

Transiciones observadas en el SMO 2000-2006

Número de procesos	Transición 2000-2006	Área (ha)	% cambio	% acumulado
	Persistencia en cuenca	862273		
1	Tierras de labor en secano to Mosaico de cultivos	8190	25.38	25.38
2	Tierras de labor en secano to Terrenos regados permanentemente	3970	12.30	37.69
3	Tierras de labor en secano to Vinedos	3229	10.01	47.70
4	Bosques to Matorrales y/o vegetación herbácea	2336	7.24	54.94
5	Tierras de labor en secano to Tierras principalmente agrícolas	1659	5.14	60.08
6	Matorrales y/o vegetación herbácea to Bosques	1544	4.79	64.86
7	Mosaico de cultivos to Terrenos regados permanentemente	1205	3.73	68.60
8	Tierras de labor en secano to Urbano	1156	3.58	72.18
9	Terrenos regados permanentemente to Tierras de labor en secano	1109	3.44	75.62
10	Matorrales y/o vegetación herbácea to Tierras de labor en secano	906	2.81	78.43
11	Tierras de labor en secano to Matorrales y/o vegetación herbácea	900	2.79	81.22
12	Mosaico de cultivos to Urbano	346	1.07	82.29
13	Mosaico de cultivos to Tierras de labor en secano	300	0.93	83.22
14	Tierras de labor en secano to Frutales	290	0.90	84.12
15	Tierras de labor en secano to Bosques	276	0.86	84.97
16	Bosques to Tierras de labor en secano	271	0.84	85.81
17	Mosaico de cultivos to Vinedos	254	0.79	86.60
18	Terrenos regados permanentemente to Urbano	242	0.75	87.35
19	Matorrales y/o vegetación herbácea to Tierras principalmente agrícola	232	0.72	88.07
20	Vinedos to Tierras principalmente agrícolas	225	0.70	88.77
21	Matorrales y/o vegetación herbácea to Mosaico de cultivos	207	0.64	89.41
22	Mosaico de cultivos to Matorrales y/o vegetación herbácea	205	0.64	90.04
23	Matorrales y/o vegetación herbácea to Terrenos regados permanentemente	185	0.57	90.62
24	Vinedos to Mosaico de cultivos	184	0.57	91.19
25	Vinedos to Tierras de labor en secano	150	0.46	91.65
26	Bosques to Tierras principalmente agrícolas	144	0.45	92.10
27	Terrenos regados permanentemente to Matorrales y/o vegetación herbá	134	0.42	92.51
28	Tierras principalmente agrícolas to Tierras de labor en secano	131	0.41	92.92
29	Tierras de labor en secano to Olivares	123	0.38	93.30
30	Tierras principalmente agrícolas to Matorrales y/o vegetación herbá	118	0.37	93.67
31	Sistemas agroforestales to Matorrales y/o vegetación herbácea	111	0.34	94.01
32	Terrenos regados permanentemente to Vinedos	110	0.34	94.35
33	Bosques to Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación	108	0.33	94.69
34	Vinedos to Urbano	104	0.32	95.01
35	Matorrales y/o vegetación herbácea to Sistemas agroforestales	97	0.30	95.31
36	Mosaico de cultivos to Tierras principalmente agrícolas	84	0.26	95.57
37	Vinedos to Terrenos regados permanentemente	83	0.26	95.83
38	Tierras principalmente agrícolas to Mosaico de cultivos	82	0.25	96.08
39	Sistemas agroforestales to Vinedos	77	0.24	96.32
40	Mosaico de cultivos to Bosques	75	0.23	96.55
41	Bosques to Terrenos regados permanentemente	72	0.22	96.78
42	Terrenos regados permanentemente to Mosaico de cultivos	72	0.22	97.00
43	Bosques to Mosaico de cultivos	68	0.21	97.21
44	Tierras principalmente agrícolas to Bosques	60	0.19	97.40
45	Frutales to Mosaico de cultivos	58	0.18	97.58
46	Terrenos regados permanentemente to Bosques	53	0.16	97.74
47	Matorrales y/o vegetación herbácea to Espacios abiertos con poca o	52	0.16	97.90
48	Tierras de labor en secano to Sistemas agroforestales	42	0.13	98.03
49	Olivares to Tierras principalmente agrícolas	41	0.13	98.16
50	Frutales to Tierras de labor en secano	35	0.11	98.27
51	Tierras principalmente agrícolas to Frutales	35	0.11	98.38
52	Urbano to Tierras de labor en secano	34	0.11	98.48
53	Bosques to Frutales	34	0.11	98.59
54	Matorrales y/o vegetación herbácea to Urbano	32	0.10	98.69
55	Sistemas agroforestales to Tierras de labor en secano	32	0.10	98.79

Escenarios Futuros de Uso de Suelo para el Análisis del Efecto del Cambio Global en los Recursos Hídricos aplicado al Acuífero de la Mancha Oriental

Número de procesos	Transición 2000-2006	Área (ha)	% cambio	% acumulado
56	Bosques to Sistemas agroforestales	26	0.08	98.87
57	Matorrales y/o vegetación herbácea to Frutales	21	0.07	98.93
58	Frutales to Matorrales y/o vegetación herbácea	19	0.06	98.99
59	Sistemas agroforestales to Bosques	18	0.06	99.05
60	Bosques to Vinedos	17	0.05	99.10
61	Matorrales y/o vegetación herbácea to Cuerpos de agua	17	0.05	99.15
62	Olivares to Mosaico de cultivos	15	0.05	99.20
63	Terrenos regados permanentemente to Tierras principalmente agrícola	15	0.05	99.24
64	Olivares to Tierras de labor en seco	14	0.04	99.29
65	Terrenos regados permanentemente to Sistemas agroforestales	13	0.04	99.33
66	Tierras principalmente agrícolas to Terrenos regados permanentemen	12	0.04	99.36
67	Matorrales y/o vegetación herbácea to Vinedos	11	0.03	99.40
68	Urbano to Mosaico de cultivos	11	0.03	99.43
69	Frutales to Bosques	11	0.03	99.47
70	Bosques to Urbano	10	0.03	99.50
71	Cuerpos de agua to Tierras de labor en seco	9	0.03	99.53
72	Sistemas agroforestales to Terrenos regados permanentemente	9	0.03	99.55
73	Cuerpos de agua to Tierras principalmente agrícolas	9	0.03	99.58
74	Cuerpos de agua to Matorrales y/o vegetación herbácea	9	0.03	99.61
75	Tierras principalmente agrícolas to Vinedos	8	0.02	99.63
76	Matorrales y/o vegetación herbácea to Olivares	8	0.02	99.66
77	Tierras de labor en seco to Cuerpos de agua	8	0.02	99.68
78	Urbano to Terrenos regados permanentemente	7	0.02	99.71
79	Mosaico de cultivos to Olivares	7	0.02	99.73
80	Vinedos to Bosques	7	0.02	99.75
81	Olivares to Bosques	7	0.02	99.77
82	Tierras principalmente agrícolas to Espacios abiertos con poca o n	7	0.02	99.79
83	Tierras principalmente agrícolas to Cuerpos de agua	7	0.02	99.81
84	Bosques to Olivares	6	0.02	99.83
85	Vinedos to Matorrales y/o vegetación herbácea	6	0.02	99.85
86	Olivares to Urbano	4	0.01	99.86
87	Sistemas agroforestales to Tierras principalmente agrícolas	4	0.01	99.88
88	Bosques to Cuerpos de agua	4	0.01	99.89
89	Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación to Tierras de labo	3	0.01	99.90
90	Urbano to Vinedos	3	0.01	99.91
91	Frutales to Olivares	3	0.01	99.92
92	Sistemas agroforestales to Mosaico de cultivos	3	0.01	99.93
93	Cuerpos de agua to Bosques	3	0.01	99.93
94	Urbano to Matorrales y/o vegetación herbácea	3	0.01	99.94
95	Olivares to Matorrales y/o vegetación herbácea	3	0.01	99.95
96	Humedales to Tierras de labor en seco	2	0.01	99.96
97	Tierras principalmente agrícolas to Olivares	2	0.01	99.97
98	Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación to Bosques	2	0.01	99.97
99	Frutales to Terrenos regados permanentemente	1	0.00	99.98
100	Olivares to Vinedos	1	0.00	99.98
101	Olivares to Frutales	1	0.00	99.98
102	Mosaico de cultivos to Frutales	1	0.00	99.98
103	Tierras principalmente agrícolas to Sistemas agroforestales	1	0.00	99.99
104	Urbano to Bosques	1	0.00	99.99
105	Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación to Matorrales y/o	1	0.00	99.99
106	Tierras de labor en seco to Espacios abiertos con poca o ninguna	1	0.00	100.00
107	Terrenos regados permanentemente to Espacios abiertos con poca o n	1	0.00	100.00

Principales flujos de cobertura/uso del suelo que ocurren en el SMO

	Urbano	Tierras de labor en secano	Terrenos regados permanentemente	Viñedos	Frutales	Olivares	Cultivos anuales asociados a cultivos permanentes	Mosaico de cultivos
Urbano		LCF 54	LCF 54	LCF 54	LCF 54	LCF 54	LCF 54	LCF 54
Tierras de labor en secano	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/38		LCF 421	LCF 451	LCF 451	LCF 452	LCF 453	LCF 412
Terrenos regados permanentemente	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/39	LCF 422		LCF 451	LCF 451	LCF 452	LCF 453	LCF 412
Viñedos	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/40	LCF 442	LCF 441		LCF 433	LCF 432	LCF 444	LCF 412
Frutales	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/41	LCF 442	LCF 441	LCF 433		LCF 432	LCF 444	LCF 444
Olivares	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/42	LCF 443	LCF 441	LCF 431	LCF 431		LCF 443	LCF 443
Cultivos anuales asociados a cultivos permanentes	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/43	LCF 442	LCF 441	LCF 451	LCF 451	LCF 452		LCF 412
Mosaico de cultivos	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/44	LCF 463	LCF 463	LCF 463	LCF 463	LCF 463	LCF 463	
Terrenos principalmente agrícolas	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/45	LCF 521	LCF 521	LCF 521	LCF 521	LCF 521	LCF 521	LCF 522
Sistemas agroforestales	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/46	LCF 462	LCF 461	LCF 462	LCF 462	LCF 462	LCF 462	LCF 463
Bosques	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/47	LCF 511	LCF 511	LCF 511	LCF 511	LCF 511	LCF 511	LCF 512
Matorrales y vegetación herbácea asociada	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/48	LCF 521	LCF 521	LCF 521	LCF 521	LCF 521	LCF 521	LCF 522
Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/49	LCF 521	LCF 521	LCF 521	LCF 521	LCF 521	LCF 521	LCF 522
Humedales	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/50	LCF 53	LCF 53	LCF 53	LCF 53	LCF 53	LCF 53	LCF 53
Superficies de agua	LCF 21/23/31/32/33/34/35/36/37/13/51	LCF 53	LCF 53	LCF 53	LCF 53	LCF 53	LCF 53	LCF 53

	Terrenos principalmente agrícolas	Sistemas agroforestales	Bosques	Matorrales y vegetación herbácea asociada	Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación	Humedales	Superficies de agua
Urbano	LCF 54	LCF 54	LCF 72	LCF 911	LCF 911/92	LCF 99	LCF 913
Tierras de labor en secano	LCF 62	LCF 47	LCF 61	LCF 62	LCF 62/92	LCF 99	LCF 913
Terrenos regados permanentemente	LCF 62	LCF 47	LCF 61	LCF 62	LCF 62/92	LCF 99	LCF 913
Viñedos	LCF 62	LCF 47	LCF 61	LCF 62	LCF 62/92	LCF 99	LCF 913
Frutales	LCF 62	LCF 47	LCF 61	LCF 62	LCF 62/92	LCF 99	LCF 913
Olivares	LCF 62	LCF 47	LCF 61	LCF 62	LCF 62/92	LCF 99	LCF 913
Cultivos anuales asociados a cultivos permanentes	LCF 62	LCF 47	LCF 61	LCF 62	LCF 62/92	LCF 99	LCF 913
Mosaico de cultivos	LCF 62	LCF 47	LCF 61	LCF 62	LCF 62/92	LCF 99	LCF 913
Terrenos principalmente agrícolas		LCF 522	LCF 61	LCF 62	LCF 62/92	LCF 99	LCF 913
Sistemas agroforestales	LCF 62		LCF 61	LCF 62	LCF 62/92	LCF 99	LCF 913
Bosques	LCF 512	LCF 512		LCF 73	LCF 74	LCF 99	LCF 913
Matorrales y vegetación herbácea asociada	LCF 522	LCF 522	LCF 73		LCF 912	LCF 912	LCF 913
Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación	LCF 522	LCF 522	LCF 72	LCF 912		LCF 912	LCF 913
Humedales	LCF 53	LCF 53	LCF 72	LCF 99	LCF 99	LCF 99	LCF 913
Superficies de agua	LCF 53	LCF 53	LCF 72	LCF 99	LCF 99	LCF 99	

La descripción detallada (en inglés) de cada flujo se puede encontrar en:
<http://www.eea.europa.eu/themes/landuse/interactive/land-and-ecosystem-accounting-leac>

Test de Cramer V – Análisis de Fuerzas Motrices

01_Aglomeraciones urbanas			02_nucleos_poblacionales_dist			03 Densidad Poblacional		
Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia
Matorrales y vegetación herbácea	0.39	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.3542	0	Sistemas agroforestales	0.3636	0
Tierras de labor en seco	0.3041	0	Suelo urbano	0.204	0	Tierras de labor en seco	0.3576	0
Suelo urbano	0.301	0	Sistemas agroforestales	0.1413	0	Suelo urbano	0.2679	0
Terrenos regados permanentemente	0.1965	0	Terrenos regados permanentemente	0.1303	0	Terrenos regados permanentemente	0.259	0
Humedales y superficies de agua	0.1683	0	Tierras de labor en seco	0.0879	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.2065	0
Sistemas agroforestales	0.1292	0	Humedales y superficies de agua	0.0849	0	Humedales y superficies de agua	0.1496	0
Espacios abiertos con poca vegetación	0.1268	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.0489	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.1078	0
Mosaico de cultivos	0.0225	0	Mosaico de cultivos	0.0128	0	Mosaico de cultivos	0.0234	0
Bosques	0	1	Bosques	0	1	Bosques	0	1

04 Tasa de crecimiento poblacional			05 pertenencia a cuenca			06 dist calle comarcal			
Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia	
Sistemas agroforestales	0.2915	0	Irrelevante, la significancia es 1 en todo	Suelo urbano	0.2161	0	Suelo urbano	0.2161	0
Terrenos regados permanentemente	0.2164	0		Humedales y superficies de agua	0.0951	0	Humedales y superficies de agua	0.0951	0
Suelo urbano	0.2017	0		Sistemas agroforestales	0.0846	0	Sistemas agroforestales	0.0846	0
Tierras de labor en seco	0.1718	0		Tierras de labor en seco	0.0833	0	Tierras de labor en seco	0.0833	0
Espacios abiertos con poca vegetación	0.1544	0		Matorrales y vegetación herbácea	0.0703	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.0703	0
Humedales y superficies de agua	0.1309	0		Terrenos regados permanentemente	0.0687	0	Terrenos regados permanentemente	0.0687	0
Matorrales y vegetación herbácea	0.0838	0		Espacios abiertos con poca vegetación	0.053	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.053	0
Mosaico de cultivos	0.515	0		Mosaico de cultivos	0.0186	0	Mosaico de cultivos	0.0186	0
Bosques	0	1	Bosques	0	1	Bosques	0	1	

07 dist calle local			08 dist calle nacional			09 Moda de cultivos		
Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia
Tierras de labor en seco	0.1568	0	Terrenos regados permanentemente	0.2711	0	Terrenos regados permanentemente	0.5469	0
Suelo urbano	0.1198	0	Sistemas agroforestales	0.1422	0	Humedales y superficies de agua	0.5257	0
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0894	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.1152	0	Sistemas agroforestales	0.495	0
Terrenos regados permanentemente	0.082	0	Tierras de labor en seco	0.1064	0	Suelo urbano	0.4027	0
Matorrales y vegetación herbácea	0.0708	0	Suelo urbano	0.0832	0	Tierras de labor en seco	0.2592	0
Mosaico de cultivos	0.0361	0	Humedales y superficies de agua	0.0763	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.1773	0
Humedales y superficies de agua	0.0297	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.0561	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.0929	0
Sistemas agroforestales	0.0277	0	Mosaico de cultivos	0.0206	0	Mosaico de cultivos	0.0183	0
Bosques	0	1	Bosques	0	1	Bosques	0	1

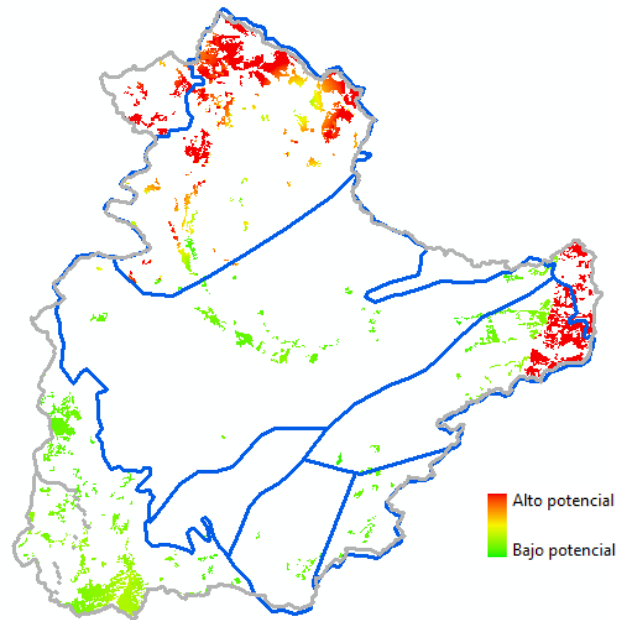
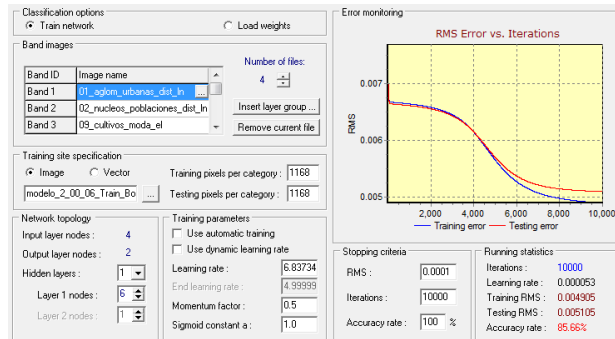
Escenarios Futuros de Uso de Suelo para el Análisis del Efecto del Cambio Global en los Recursos Hídricos aplicado al Acuífero de la Mancha Oriental

10 Dist a pozos			11 pertenencia a provincias			12 dist a embalses y lagos		
Descripción	Total	0.1421	Descripción	Total	0.1181	Descripción	Total	0.1791
Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia
Sistemas agroforestales	0.5105	0	Bosques	0.2571	0	Sistemas agroforestales	0.3022	0
Terrenos regados permanentemente	0.3252	0	Terrenos regados permanentemente	0.176	0	Terrenos regados permanentemente	0.2808	0
Suelo urbano	0.285	0	Mosaico de cultivos	0.1627	0	Suelo urbano	0.2075	0
Tierras de labor en seco	0.2042	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.1091	0	Tierras de labor en seco	0.1671	0
Humedales y superficies de agua	0.201	0	Tierras de labor en seco	0.0863	0	Humedales y superficies de agua	0.125	0
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0955	0	Humedales y superficies de agua	0.0839	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.0851	0
Matorrales y vegetación herbácea	0.0756	0	Sistemas agroforestales	0.0765	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.083	0
Mosaico de cultivos	0.0166	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.0384	0	Mosaico de cultivos	0.0334	0
Bosques	0	1	Suelo urbano	0.0233	1	Bosques	0	1
13 Lluvia (thiessen)			14 Topografía			15 orientación del terreno		
Descripción	Total	0.1537	Descripción	Total	0.1327	Descripción	Total	0.0626
Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia
Tierras de labor en seco	0.3623	0	Terrenos regados permanentemente	0.4076	0	Sistemas agroforestales	0.2025	0
Sistemas agroforestales	0.2937	0	Suelo urbano	0.3458	0	Terrenos regados permanentemente	0.1696	0
Suelo urbano	0.2923	0	Sistemas agroforestales	0.3278	0	Tierras de labor en seco	0.1168	0
Terrenos regados permanentemente	0.2536	0	Humedales y superficies de agua	0.2683	0	Suelo urbano	0.108	0
Espacios abiertos con poca vegetación	0.1451	0	Tierras de labor en seco	0.2106	0	Humedales y superficies de agua	0.0648	0
Humedales y superficies de agua	0.133	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.0904	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.0584	0
Matorrales y vegetación herbácea	0.0889	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.0903	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.0491	0
Mosaico de cultivos	0.0239	0	Mosaico de cultivos	0.0226	0	Mosaico de cultivos	0.0112	0
Bosques	0	1	Bosques	0	1	Bosques	0	1
16 pendiente del terreno			17 dist a rios			18 suelo-materia organica		
Descripción	Total	0.1116	Descripción	Total	0.065	Descripción	Total	0.1487
Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia
Terrenos regados permanentemente	0.4336	0	Humedales y superficies de agua	0.1534	0	Sistemas agroforestales	0.3125	0
Suelo urbano	0.2729	0	Suelo urbano	0.1437	0	Terrenos regados permanentemente	0.2518	0
Humedales y superficies de agua	0.2599	0	Tierras de labor en seco	0.1386	0	Suelo urbano	0.177	0
Sistemas agroforestales	0.2399	0	Sistemas agroforestales	0.1344	0	Tierras de labor en seco	0.1428	0
Tierras de labor en seco	0.1308	0	Terrenos regados permanentemente	0.1309	0	Humedales y superficies de agua	0.1423	0
Mosaico de cultivos	0.08	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.1133	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.1355	0
Matorrales y vegetación herbácea	0.0494	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.0448	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.0776	0
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0297	0	Mosaico de cultivos	0.0178	0	Mosaico de cultivos	0.0085	0
Bosques	0	1	Bosques	0	1	Bosques	0	1

19 Temperatura thiessen			20 dist a zonas inundables		
	Total	0.1305		Total	0.0085
Descripción	Cramer V	Significancia	Descripción	Cramer V	Significancia
Tierras de labor en secoano	0.3181	0	Tierras de labor en secoano	0.2405	0
Sistemas agroforestales	0.1865	0	Terrenos regados permanentemente	0.2208	0
Terrenos regados permanentemente	0.1809	0	Humedales y superficies de agua	0.1984	0
Suelo urbano	0.1392	0	Espacios abiertos con poca vegetación	0.1877	0
Humedales y superficies de agua	0.069	0	Suelo urbano	0.186	0
Espacios abiertos con poca vegetación	0.0675	0	Sistemas agroforestales	0.1624	0
Matorrales y vegetación herbácea	0.0244	0	Matorrales y vegetación herbácea	0.0672	0
Mosaico de cultivos	0.0112	0	Mosaico de cultivos	0.0388	0
Bosques	0	1	Bosques	0	1

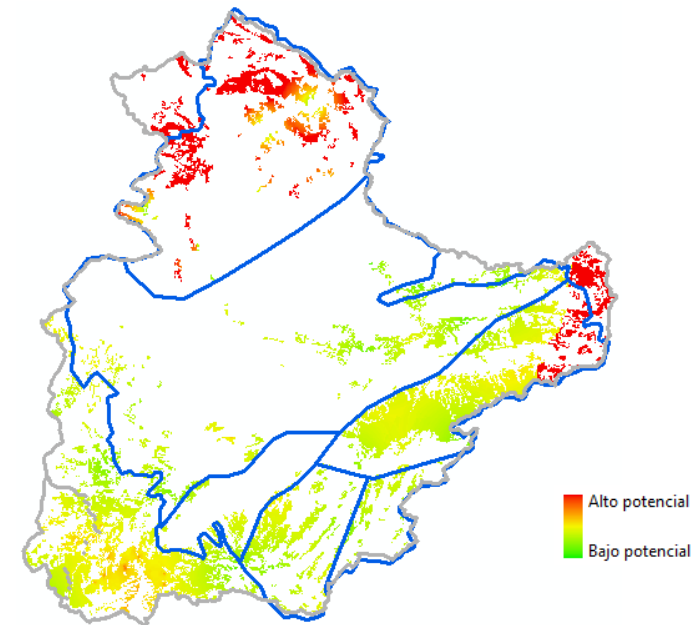
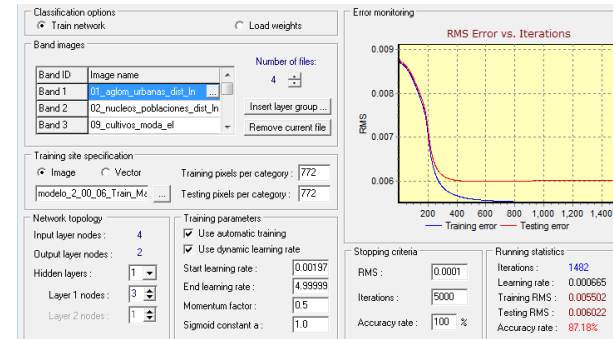
Modelo 2

Transición potencial de Bosques a Matorrales y/o vegetación herbácea



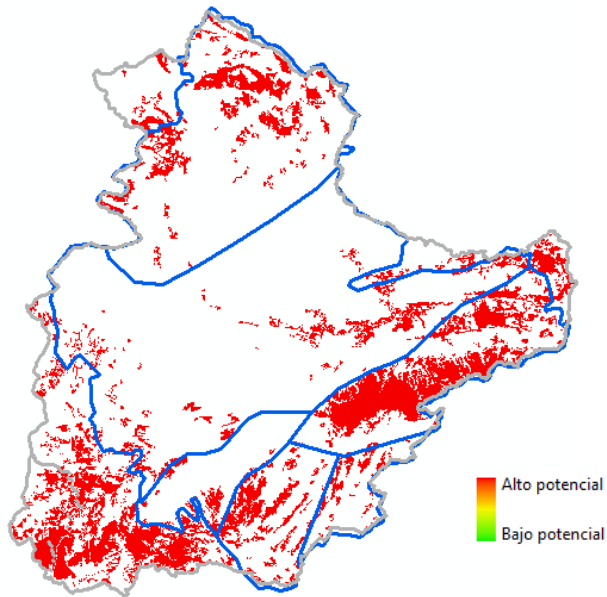
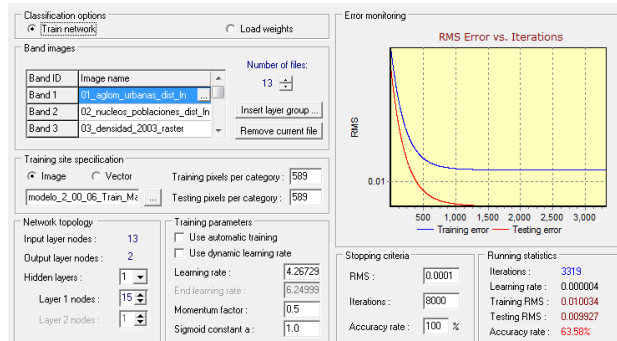
Modelo 2

Transición potencial de Matorrales y/o vegetación herbácea a Bosques



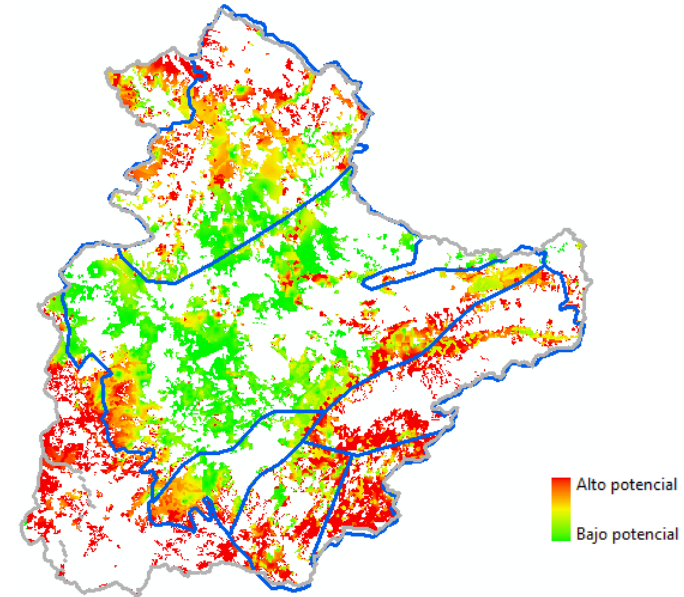
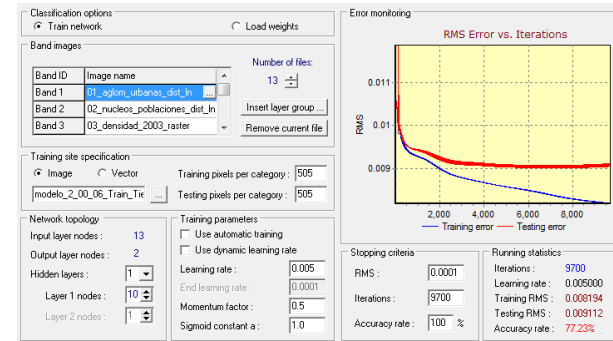
Modelo 2

Transición potencial de Matorrales y/o vegetación herbácea a Tierras de labor en seco



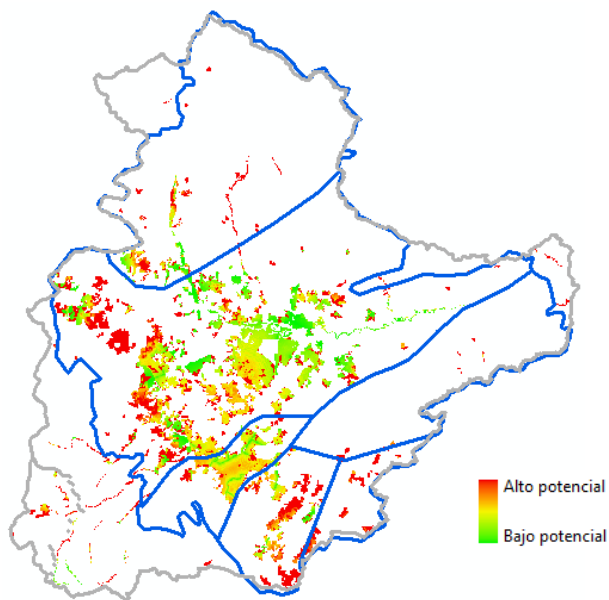
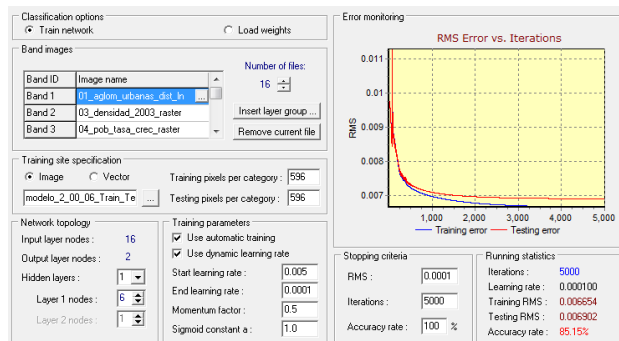
Modelo 2

Transición potencial de Tierras de labor en seco a Matorrales y/o vegetación herbácea



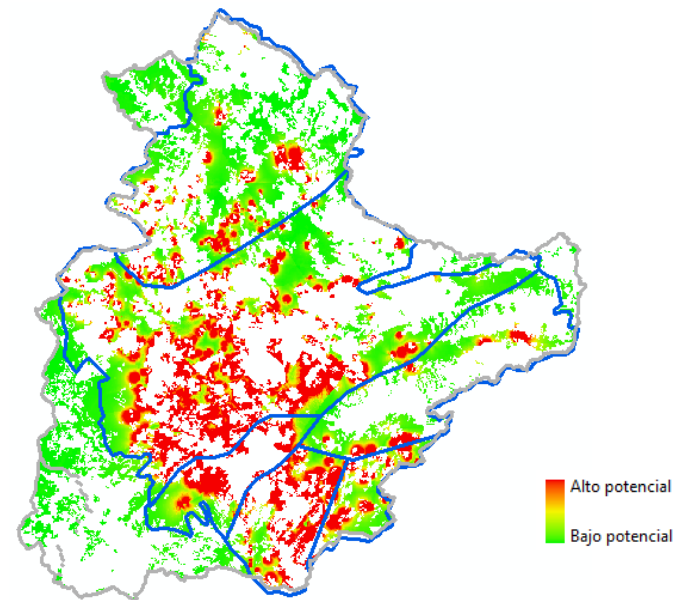
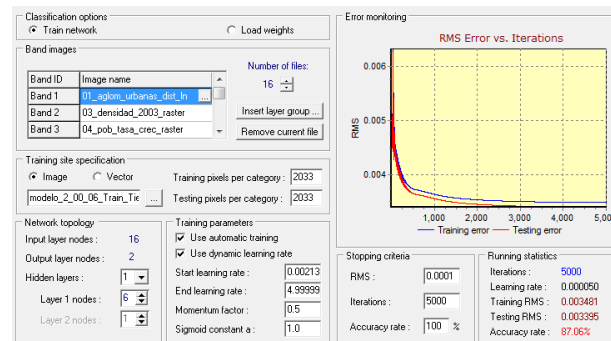
Modelo 2

Transición potencial de Terrenos regados permanentemente a Tierras de labor en seco



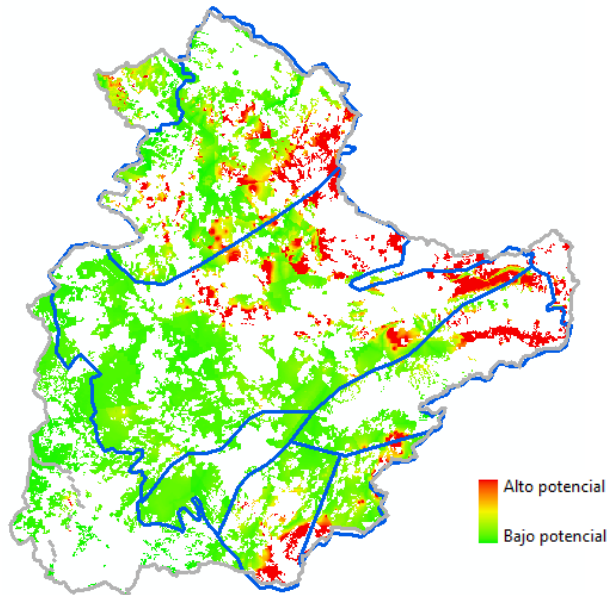
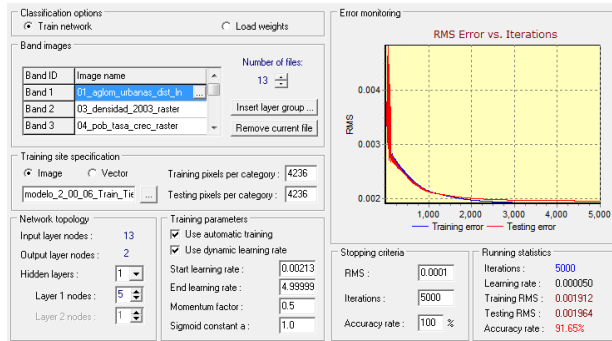
Modelo 2

Transición potencial de Tierras de labor en seco a Terrenos regados permanentemente



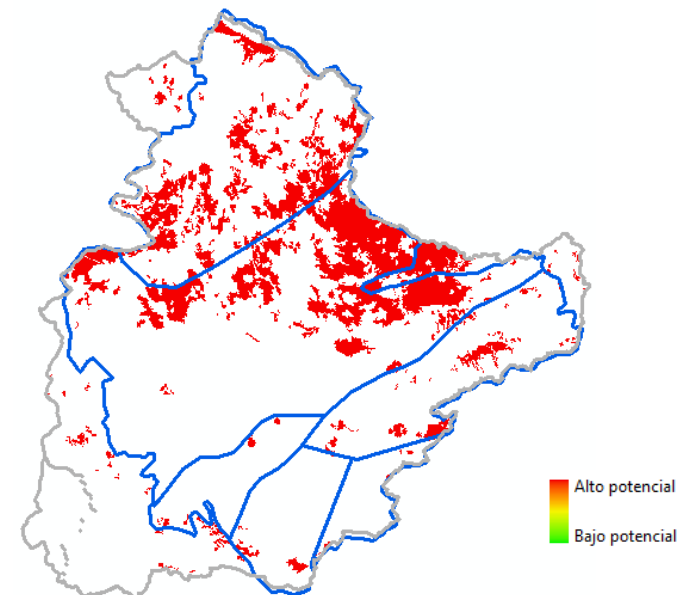
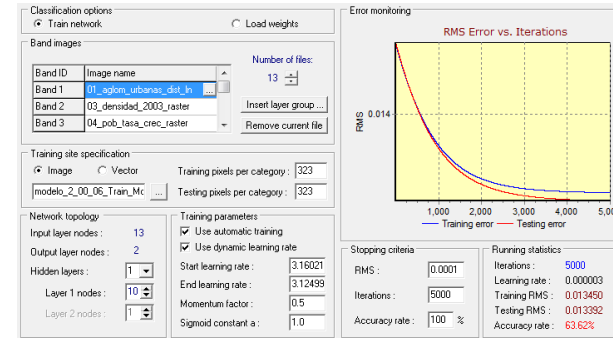
Modelo 2

Transición potencial de Tierras de labor en seco a Mosaico de cultivos



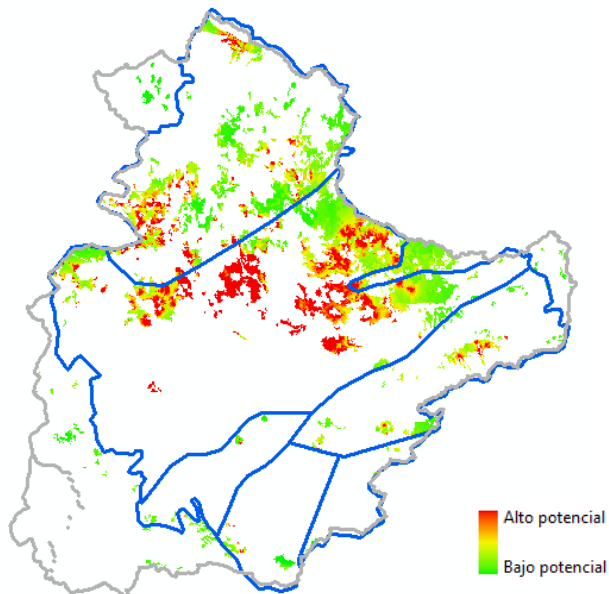
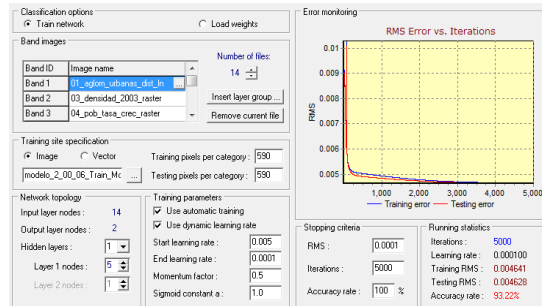
Modelo 2

Transición potencial de Mosaico de Cultivos a Tierras de labor en seco



Modelo 2

Transición potencial de Mosaico de cultivos a Terrenos regados permanentemente



Modelo 2

Transición potencial de Tierras de labor en secano a Suelo urbano

