



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN RECURSOS Y TECNOLOGÍAS

AGRARIAS, AGROAMBIENTALES Y ALIMENTARIAS

**MODELO DE EVALUACIÓN TERRITORIAL
DE LA SOSTENIBILIDAD PARA LA
GESTIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS.
APLICACIÓN AL ANÁLISIS COMPARATIVO
ENTRE ITALIA Y ESPAÑA.**

**TESIS DOCTORAL
ANTONIO BOGGIA**

**Director: Dr. Francisco José Del Campo Gomis
Codirectora: Dra. Asunción María Agulló Torres**

2020

Modalidad de Tesis e Indicio de calidad

La presente tesis se presenta mediante la modalidad de teís convencional, al amparo del apartado 3 del artículo 17 de la Normativa de Estudios de Doctorado de la Universidad Miguel Hernández, aprobada por el Consejo de Gobierno de 29 de mayo de 2018. En consecuencia, debe contar con al menos un indicio de calidad reconocido por CNEAI/ANECA en el Campo de Evaluación 8 de la CNEAI en el cual se “valoran preferentemente los trabajos publicados en revistas de reconocida valía, aceptándose como tales las que ocupen posiciones relevantes en los listados por ámbitos científicos en el *Journal Citation Reports (JCR)*, *Social Sciences Edition*, y *Journal Citation Reports, Science Edition*, así como en *Scimago Journal Rank*”.

El indicio de calidad que cumple el requisito exigido por la UMH que se presenta para esta tesis es el artículo científico *TERRITORIAL SUSTAINABILITY EVALUATION FOR POLICY MANAGEMENT: THE CASE STUDY OF ITALY AND SPAIN*, cuyos autores son Paolotti L., Del Campo Gomis F.J., Agulló Torres A.M., Massei G., **Boggia A.** y que ha sido publicado en la revista *Environmental Science and Policy* (2019), 92, pp. 207-219, (<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.022>), la cual en el *Journal Citation Reports (JCR) Science Edition (SCIE)* del año 2017 aparece en la categoría de *ENVIRONMENTAL SCIENCE* dentro del cuartil Q1 (55/242).



Dr. Ángel Antonio Carbonell Barrachina, Catedrático de Universidad y Coordinador del Programa de Doctorado Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y Alimentarias (ReTos-AAA) de la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH),

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral titulada **MODELO DE EVALUACIÓN TERRITORIAL DE LA SOSTENIBILIDAD PARA LA GESTIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS. APLICACIÓN AL ANÁLISIS COMPARATIVOS ENTRE ITALIA Y ESPAÑA** del que es autor **D. Antonio Boggia** ha sido realizada bajo la dirección del **Dr. Francisco José Del Campo Gomis** y la codirección de la **Dra. Asunción María Agulló Torres**, profesores del Departamento de Economía Agroambiental, IC y EGI de la UMH, actuando como tutora la **Dra. Margarita Brugarolas Mollá-Bauzá**, profesora del Departamento de Economía Agroambiental, IC y EGI de la UMH. Considero que la tesis es conforme en cuanto a forma y contenido a los requerimientos del Programa de Doctorado ReTos-AAA por tanto, es apta para su exposición y defensa pública.

Y para que conste a los efectos oportunos firmo el presente certificado en Orihuela a quince de enero de dos mil veinte.

Dr. Ángel A. Carbonell Barrachina
Coordinador Programa Doctorado ReTos-AAA



Dr. Francisco José Del Campo Gomis, Catedrático de Universidad del Departamento de Economía Agroambiental, Ingeniería Cartográfica y Expresión Gráfica en la Ingeniería de la Universidad Miguel Hernández,

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral titulada **MODELO DE EVALUACIÓN TERRITORIAL DE LA SOSTENIBILIDAD PARA LA GESTIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS. APLICACIÓN AL ANÁLISIS COMPARATIVOS ENTRE ITALIA Y ESPAÑA** presentada por **D. Antonio Boggia** para optar al grado de Doctor ha sido realizada bajo mi dirección en el Departamento de Economía Agroambiental, IC y EGI de la Universidad Miguel Hernández. Considerando que la tesis presentada se trata de un trabajo original de investigación que reúne los requisitos establecidos en la legislación vigente autorizo su presentación.

Y para que conste a los efectos oportunos firmo el presente certificado en Orihuela a quince de enero de dos mil veinte.

Dr. Francisco José Del Campo Gomis



Dra. Asunción María Agulló Torres, Profesora Contratada Doctora del Departamento de Economía Agroambiental, Ingeniería Cartográfica y Expresión Gráfica en la Ingeniería de la Universidad Miguel Hernández,

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral titulada **MODELO DE EVALUACIÓN TERRITORIAL DE LA SOSTENIBILIDAD PARA LA GESTIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS. APLICACIÓN AL ANÁLISIS COMPARATIVOS ENTRE ITALIA Y ESPAÑA** presentada por **D. Antonio Boggia** para optar al grado de Doctor ha sido realizada bajo mi codirección en el Departamento de Economía Agroambiental, IC y EGI de la Universidad Miguel Hernández. Considerando que la tesis presentada se trata de un trabajo original de investigación que reúne los requisitos establecidos en la legislación vigente autorizo su presentación.

Y para que conste a los efectos oportunos firmo el presente certificado en Orihuela a quince de enero de dos mil veinte.

Dra. Asunción María Agulló Torres

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer a Francisco José Del Campo Gomis por permitirme hacer esta maravillosa experiencia en el programa de Doctorado en Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y Alimentarias, y por las valiosas indicaciones y sugerencias.

También agradezco a Asunción María Agullo Torres (Sumay) por la asistencia y el apoyo continuos y por haberme soportado en mis numerosas dudas.

Un agradecimiento especial a la insustituible Luisa Paolotti por la ayuda continua durante esta experiencia.

Un agradecimiento particular va para todo el personal de la Universidad Miguel Hernández, y en particular al Coordinador del programa de Doctorado en Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y Alimentarias - Angel Antonio Carbonell Barrachina, y para todos los miembros de mi grupo de investigación en la Universidad de Perugia, por su continua contribución científica.

Finalmente quisiera agradecer la financiación dada para la realización de esta investigación por la Agencia Regional para la Protección del Ambiente (ARPA) de la región italiana de Umbría y la Universidad Miguel Hernández de Elche.

Resumen

El desarrollo sostenible es hoy en día el principio rector para abordar las políticas y estrategias de desarrollo a nivel mundial. La Unión Europea es el principal punto de referencia en lo que respecta a las políticas de sostenibilidad en Europa, que deben combinar consideraciones económicas, sociales y medioambientales de forma integrada. La UE debería establecer objetivos comunes de desarrollo sostenible a nivel de la Unión, para ser calibrados en función de la situación de los diferentes países y las características territoriales y locales.

Con el fin de facilitar la realización, por parte de los tomadores de decisiones de políticas públicas, de una evaluación territorial de la sostenibilidad se planteó como objetivo de esta tesis el generar una herramienta de evaluación efectiva basada en un Sistema Multicriterio y Espacial de Apoyo a la Toma de Decisiones (*Multiple Criteria Spatial Decision Support System, MCSDSS*), uniendo el Análisis de Decisiones Multicriterio (*Multicriteria Decision Analysis, MCDA*) y los Sistemas de Información Geográfica (*Geographical Information Systems, GIS*).

Esa herramienta se ha plasmado en el modelo *GeoUmbriaSUIT* y se ha demostrado su utilidad mediante su aplicación a un caso particular de las regiones de Italia y España. Para ello se han analizado los patrones de desarrollo de estos dos países mediterráneos, de acuerdo con las tres dimensiones de la sostenibilidad: económica, social y ambiental. Los resultados del análisis han mostrado para ambos países la presencia de una tendencia decreciente de desarrollo sostenible que va del norte al sur. Además, los resultados han indicado que Italia y España tienen patrones

similares de comportamiento en las dimensiones social y económica, pero diferentes en la ambiental.

Este modelo desarrollado en esta tesis puede ser muy útil para gestionar políticas públicas de desarrollo sostenible en la UE, pues permite evaluar la situación local de las regiones individuales, su posición territorial y sus fortalezas o debilidades en relación con las tres dimensiones, económica, social y ambiental, de la sostenibilidad.

Abstract

Sustainable development is today the guiding principle for addressing development policies and strategies worldwide. The European Union is the main point of reference in terms of sustainability policies in Europe, which must combine economic, social and environmental considerations in an integrated way. The EU should establish common sustainable development objectives at Union level, to be calibrated according to the situation of different countries and territorial and local characteristics.

In order to facilitate decision makers in the implementation of a territorial evaluation of sustainability, the objective of this thesis was to develop an effective evaluation tool based on a Multiple Criteria Spatial Decision Support System (MCSDSS), linking Multicriteria Decision Analysis (MCDA) and Geographic Information Systems (GIS).

This tool has been implemented in the GeoUmbriaSUIT model and its usefulness has been demonstrated by applying it to a particular case in the regions of Italy and Spain. For this, the development patterns of these two Mediterranean countries have been analyzed, in accordance with the three dimensions of sustainability: economic, social and environmental. The results of the analysis shown for both countries the presence of a decreasing trend of sustainability going from north to south. In addition, the results have indicated that Italy and Spain have similar patterns of behavior in social and economic dimensions, but different in environmental.

The model developed in this thesis can be very useful for managing public policies for sustainable development in the EU, since it allows to

assess the local situation of the individual regions, their territorial position and their strengths or weaknesses in relation to the three dimensions of sustainability: economic, social and environmental.

MODELO DE EVALUACIÓN TERRITORIAL DE LA SOSTENIBILIDAD PARA LA GESTIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS. APLICACIÓN AL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ITALIA Y ESPAÑA.

Índice

Agradecimientos.....	XI
Resumen.....	XIII
Abstract.....	XV
Índice.....	XVII
Índice de Figuras.....	XIX
Índice de Tablas.....	XX
Lista de abreviaturas.....	XXI
Capítulo 1. Introducción.....	3
1.1. Contexto.....	3
1.2. Objetivos.....	6
1.3. Estructura.....	7
1.4. Indicio de calidad.....	9
Capítulo 2. Evaluación territorial de la sostenibilidad para la gestión de las políticas públicas.....	13
2.1. La sostenibilidad: un concepto pluridimensional.....	13
2.2. Estado actual y evolución de la evaluación territorial de la sostenibilidad.....	28
2.3. Sistemas de apoyo a las decisiones para la evaluación territorial de la sostenibilidad.....	39
Capítulo 3. Definición de un modelo de Sistema Multicriterio y Espacial de Apoyo a la Toma de Decisiones (<i>MCSDSS</i>) para la evaluación territorial de la sostenibilidad.....	53
3.1. El papel del Análisis de Decisiones Multicriterio (<i>MCDA</i>) en la evaluación territorial de la sostenibilidad.....	53
3.2. El papel de los Sistemas de Información Geográfica (<i>GIS</i>) en la evaluación territorial de la sostenibilidad.....	60

3.3. La integración del <i>MCDA</i> y los <i>GIS</i> en un Sistema Multicriterio y Espacial de Apoyo a la Toma de Decisiones (<i>MCSDSS</i>) para la evaluación territorial de la sostenibilidad	65
3.4. El modelo <i>MCSDSS GeoUmbriaSuit</i> de evaluación territorial de la sostenibilidad	68
Capítulo 4. Aplicación del modelo <i>MCSDSS GeoUmbriaSuit</i> al análisis comparativo de la evaluación territorial de la sostenibilidad entre las regiones de Italia y España.....	85
4.1. Introducción y objetivos.....	85
4.2. Metodología	88
4.3. Resultados	94
4.4. Discusión.....	111
4.5. Conclusión	116
Capítulo 5. Conclusiones	119
5.1. Aportación de la tesis	119
5.2. Recomendaciones	121
5.3. Limitaciones.....	123
5.4. Futuras líneas de investigación	124
Referencias.....	129
Anexos.....	141
Anexo 1. Indicio de calidad.....	143
Anexo 2. Método TOPSIS.....	189

Índice de Figuras

Figura 2.1. Abordaje Glocal: pensamiento global y acción local	33
Figura 2.2. La gobernanza multinivel	36
Figura 2.3: Factores a tener en cuenta en las decisiones	40
Figura 2.4. Proceso de toma de decisiones.....	41
Figura 2.5. Representación de un modelo genérico	45
Figura 2.6. Contexto político de los modelos.....	48
Figura 3.2. Base informativa necesaria para <i>GeoUmbriaSuit</i>	70
Figura 3.3. Pantalla inicial para la introducción de datos	71
Figura 3.4. Pantalla para la introducción de datos ambientales	72
Figura 3.5. <i>Outputs</i> de <i>GeoUmbriaSuit</i>	73
Figura 3.6. Panel de control para construir el índice global	74
Figura 3.7. Barras de Sostenibilidad.....	75
Figura 3.8. Barras Acumuladas de Sostenibilidad	76
Figura 3.9. Burbujas de Sostenibilidad.....	77
Figura 3.10. Mapa de Índice de Sostenibilidad Ambiental	78
Figura 3.11. Visión de conjunto de los cuatro mapas de la sostenibilidad..	79
Figura 3.12. Cartograma del Índice Global de Sostenibilidad.....	80
Figura 4.1. Regiones italianas.....	86
Figura 4.2. Comunidades autónomas españolas	87
Figura 4.3. Mapa de Índice de Sostenibilidad Económica para Italia	97
Figura 4.4. Mapa de Índice de Sostenibilidad Social para Italia.....	98
Figura 4.5. Mapa de Índice de Sostenibilidad Ambiental para Italia	99
Figura 4.6. Mapa de Índice de Sostenibilidad Global para Italia	100
Figura 4.7. Mapa de Índice de Sostenibilidad Económica para España.....	101
Figura 4.8. Mapa de Índice de Sostenibilidad Social para España	102
Figura 4.9. Mapa de Índice de Sostenibilidad Ambiental para España.....	103
Figura 4.10. Mapa de Índice de Sostenibilidad Global para España	104
Figura 4.11. Barras de Sostenibilidad de Italia.....	105
Figura 4.12. Barras de Sostenibilidad para España	106
Figura 4.14. Barras Acumuladas de Sostenibilidad para España	108
Figura 4.15. Burbujas de Sostenibilidad para Italia.....	109
Figura 4.16. Burbujas de Sostenibilidad para España	110

Índice de Tablas

Tabla 4.1. Indicadores económicos empleados	90
Tabla 4.2. Indicadores sociales empleados.....	91
Tabla 4.3. Indicadores ambientales empleados	92
Tabla 4.4. Pesos finales normalizados asignados a los indicadores	94
Tabla 4.5. Puntuaciones de los índices para Italia	95
Tabla 4.6. Puntuaciones de los índices para España.....	96
Tabla 4.7. Reglas obtenidas con la función de análisis retrospectivo para Italia.....	114
Tabla 4.8. Reglas obtenidas con la función de análisis retrospectivo para España	115

Lista de abreviaturas

CE: Comisión Europea

COP: Conferencia de las Partes

DRSA: Dominance-based Rough Set Approach

GIS: Geographic Information System

GPS: Global Positioning System

JCR: Journal Citation reports

MCDA: MultiCriteria Decision Analysis

MCSDSS: MultiCriteria Spatial Decision Support System

MIT: Massachusetts Institute of Technology

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

TBL: Triple Bottom Line

TOPSIS: Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

UNCTAD: United Nations Conference on Trade and Development

WCED: World Commission on Environment and Development

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se realiza la introducción de la tesis mediante una primera exposición del contexto de la investigación que sirve de base para, a continuación, establecer los objetivos de la tesis y definir su estructura en la que se va a basar su desarrollo y exposición. Finalmente, se muestra el indicio de calidad de la tesis que cumple el requisito marcado por la Normativa de Estudios de Doctorado de la Universidad Miguel Hernández.

1.1. Contexto

El desarrollo sostenible es el principio rector que orienta las políticas y estrategias de desarrollo a nivel global (Griggs et al., 2013). Los responsables políticos ya no pueden planificar el desarrollo sin tener en cuenta la sostenibilidad. Todas las decisiones deberían tomarse teniendo en cuenta no solo la perspectiva económica, sino al menos la social y ambiental. Aunque se tienen en cuenta nuevas dimensiones de la sostenibilidad, como por ejemplo las institucionales, culturales y tecnológicas, el principal esfuerzo consiste en identificar, comprender y medir ante todo las dimensiones económica, social y ambiental (Sala et al, 2013).

Además, a la hora de asignar fondos públicos al desarrollo de actividades humanas, los tomadores de decisiones deben intentar apoyar a las áreas geográficas que tienen dificultades para lograr un equilibrio entre prosperidad económica, equidad social y protección del medio ambiente, y por tanto requieren unos incentivos económicos más urgentes para

alcanzar la sostenibilidad en su desarrollo (UNCTAD, 2015).

Para alcanzar estos objetivos, los tomadores de decisiones necesitan un apoyo técnico adecuado, ya que la base para tomar decisiones correctas siempre es la evaluación *ex ante*, el seguimiento continuo y la evaluación *ex post*. Por tanto, la evaluación de la sostenibilidad, la capacidad de medirla, se está convirtiendo en un paso crucial para la puesta en práctica de políticas apropiadas para el desarrollo sostenible. Sin embargo, la evaluación de la sostenibilidad es uno de los tipos de metodologías de evaluación más complejos (Sala et al., 2015).

La evaluación de la sostenibilidad juega un papel importante en el apoyo al proceso de toma de decisiones. Una evaluación integrada de las condiciones económicas, ambientales y sociales es una prioridad política para quienes toman las decisiones (Bohringer y Jochem, 2007). La evaluación de la sostenibilidad puede desarrollarse a través de distintos enfoques, dependiendo de los objetivos, la escala y el ámbito (Cinelli et al., 2014). Como consecuencia de ello, la literatura sobre el tema está creciendo con el tiempo, ofreciendo una amplia variedad de abordajes diferentes (Bond et al., 2010). Waas et al. (2014) identificaron cuatro objetivos diferentes de la evaluación de la sostenibilidad en una estrategia de toma de decisiones para el desarrollo sostenible: la producción de información para la toma de decisiones; la operatividad y foros de participación, debate y decisión; el aprendizaje social; y la estructuración de la complejidad. Esta es una perspectiva muy amplia, capaz de apoyar a quienes toman las decisiones orientadas a la sostenibilidad (Waas et al., 2014).

La sostenibilidad es un concepto dinámico y a largo plazo, pero es también un concepto pluridimensional. Por tanto, la evaluación ya no se basa en un solo indicador, sino en una serie de indicadores (Singh et al., 2012), que se concentran principalmente en aspectos económicos, sociales y ambientales (Pollesch y Dale, 2016). Un requisito fundamental para un uso significativo de indicadores e índices es la posibilidad de agregarlos y hacerlos comparables (Bohringer y Jochem, 2007). Las evaluaciones integradas son los abordajes capaces de manejar la información de distintos indicadores de forma completa. De hecho, el instrumento más adecuado para evaluar la sostenibilidad es un conjunto de indicadores, integrado en una metodología de evaluación adecuada (Boggia y Cortina, 2010). El Análisis de Decisiones Multicriterio (*Multicriteria Decision Analysis, MCDA*) es uno de estos (Cinelli et al., 2014). El *MCDA* asume un papel protagonista en el proceso de evaluación pluridimensional. Se utiliza para resolver problemas complejos valorando todas las variables, tanto individual como colectivamente, y asignándole a cada una de ellas una importancia específica (Cortina y Boggia, 2014). Por tanto, el *MCDA* se ha utilizado abundantemente para valorar la sostenibilidad (Liu K., 2007, Shmelev y Labajos-Rodrigues, 2009) y ha sido indicado como el instrumento apropiado para su evaluación (Munda, 2005; Bond et al., 2012). Uno de los actuales desafíos a los que se enfrenta el estudio de la evaluación de la sostenibilidad pasa de la multidisciplinariedad a la transdisciplinariedad a través de la interdisciplinariedad (Sala et al., 2013). El *MCDA* es un típico abordaje transdisciplinario. La complejidad de la evaluación de la sostenibilidad requiere herramientas estructuradas,

transparentes y fiables, y el *MCD*A puede desempeñar un papel importante (Cinelli et al., 2014).

Además, afrontar los problemas que conlleva la toma de decisiones puede implicar tener que aplicar al mismo tiempo un enfoque de análisis multicriterio y uno de análisis territorial mediante Sistemas de Información Geográfica (*Geographic Information Systems, GIS*). Aunque el *MCD*A y el *GIS* representan dos áreas de estudio diferentes, ambas pueden beneficiarse de su uso conjunto, y por esta razón su integración representa una frontera de la investigación (Chakhar y Martel, 2003; Malczewski, 2006). Posteriormente Sugumaran y DeGroot (2011) definieron el Sistema Multicriterio y Espacial de Apoyo a la Toma de Decisiones (*Multiple Criteria Spatial Decision Support System, MCS*DSS) que permitía abordar la evaluación territorial de la sostenibilidad.

1.2. Objetivos

El objetivo general de la tesis es generar un modelo *MCS*DSS que, uniendo el *MCD*A y el *GIS*, sea una herramienta efectiva para la evaluación territorial de la sostenibilidad por parte de los tomadores de decisiones de políticas públicas y demostrar su utilidad mediante su aplicación a un caso particular de las regiones de Italia y España.

Para ello contamos con los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar el estado de la cuestión de la evaluación territorial de la sostenibilidad para la gestión de las políticas públicas.
2. Analizar como aunar el Análisis de Decisiones Multicriterio (*MCD*A) con los Sistemas de Información Geográfica (*GIS*) en un Sistema Multicriterio y Espacial de Apoyo a la Toma de Decisiones (*MCS*DSS) para la evaluación territorial de la sostenibilidad.
3. Proponer un modelo *MCS*DSS de evaluación territorial que permita comparar la sostenibilidad entre regiones de la Unión Europea.
4. Aplicar dicho modelo *MCS*DSS a la comparación de la sostenibilidad entre las regiones de dos países de la Unión Europea: Italia y España.

Además, esta de tesis constituye no solo una prueba para el modelo *MCS*DSS desarrollado, sino también un importante análisis básico para Italia y España, orientado a sopesar la posibilidad de controlar el estado del camino que siguen las políticas de ambos países para alcanzar los objetivos de la *Agenda 2030* de las Naciones Unidas.

1.3. Estructura

La presente tesis consta de cinco capítulos, siendo el presente el primer capítulo de introducción en donde se acaba de exponer el contexto de la investigación y los objetivos de la tesis; para, a continuación, describir la estructura de la tesis y mostrar su indicio de calidad.

En el segundo capítulo se analiza el estado de la cuestión de la evaluación territorial de la sostenibilidad para la gestión de las políticas

públicas. Para ello, se estudia la sostenibilidad como concepto pluridimensional, que va a servir de guía de todo el proceso posterior, de tres vertientes: ambiental, económica y social; para a continuación examinar la evolución y el estado actual de la cuestión de la evaluación territorial de la sostenibilidad, así como los sistemas de apoyo a las decisiones que utiliza.

En el tercer capítulo se define el modelo *MCSDSS* que integra el *MCDA* con el *GIS*. Con dicho fin se realiza un análisis del papel que tienen tanto el *MCDA* como el *GIS* en la evaluación territorial de la sostenibilidad y como se pueden integrar en un *MCSDSS*. Tras ello se presenta el modelo de evaluación territorial de la sostenibilidad denominado *GeoUmbriaSuiT*, desarrollado por el grupo de investigación Laboratorio de Medio Ambiente del Departamento de Agronomía, Ciencias Ambientales y de la Alimentación de la Universidad de Perugia con la coordinación de un servidor. Este modelo al integrar *MCDA* y *GIS* aúna las potencialidades y características de análisis numérico multicriterio y el análisis espacial y geográfico (Massei et al., 2014). *GeoUmbriaSuiT* puede utilizarse a nivel local, regional y nacional, para cotejar la sostenibilidad de distintas áreas territoriales. Las tres dimensiones de la sostenibilidad están representadas por una serie específica de indicadores. Este modelo es el primer *MCSDSS*, basado en una integración completa de *MCDA* y *GIS*, desarrollado especialmente para valorar la sostenibilidad.

En el cuarto capítulo se utiliza el modelo *MCSDSS GeoUmbriaSuiT*, ya experimentado y considerado adecuado para valorar la sostenibilidad (Boggia et al., 2018), para realizar la evaluación territorial de la

sostenibilidad de las regiones de dos países europeos diferentes, Italia y España.

Finalmente, en el quinto capítulo, se exponen las conclusiones de la tesis, detallando las aportaciones nuevas que se realizan, las recomendaciones, las limitaciones y las futuras líneas de investigación.

1.4. Indicio de calidad

La Normativa de Estudios de Doctorado de la Universidad Miguel Hernández, aprobada por el Consejo de Gobierno de 29 de mayo de 2018, indica en el apartado 3 del artículo 17 que “las tesis doctorales podrán presentarse bajo las modalidades de tesis convencional, con al menos un indicio de calidad reconocido por CNEAI/ANECA en el campo de evaluación a la cual pertenezca la tesis; y, bajo la modalidad de tesis por compendio de publicaciones”. La tesis pertenece al Campo de Evaluación 8 de la CNEAI en el cual se “valoran preferentemente los trabajos publicados en revistas de reconocida valía, aceptándose como tales las que ocupen posiciones relevantes en los listados por ámbitos científicos en el *Journal Citation Reports (JCR)*, *Social Sciences Edition*, y *Journal Citation Reports, Science Edition*, así como en *Scimago Journal Rank*”.

El indicio de calidad que cumple el requisito exigido por la UMH que se presenta para esta tesis es el artículo científico *TERRITORIAL SUSTAINABILITY EVALUATION FOR POLICY MANAGEMENT: THE CASE STUDY OF ITALY AND SPAIN*, cuyos autores son Paolotti L., Del Campo Gomis F.J., Agulló Torres A.M., Massei G., **Boggia A.** y que ha sido publicado en la revista *Environmental Science and Policy* (2019), 92, pp. 207-219, la

cual en el *Journal Citation Reports (JCR) Science Edition (SCIE)* del año 2017 aparece en la categoría de *ENVIRONMENTAL SCIENCE* dentro del cuartil Q1 (55/242).

Finalmente, indicar que en el Anexo 3 se adjunta la carta del resto de autores para la aceptación y autorización de la utilización de dicho artículo como parte de la documentación de depósito y defensa de la tesis doctoral y en la que declaran, en primer lugar, que no han utilizado dicho artículo como parte de la documentación de depósito y defensa de otra tesis doctoral y, en segundo lugar, que renuncian a utilizarlo en una futura tesis doctoral.

CAPÍTULO 2

EVALUACIÓN TERRITORIAL DE LA SOSTENIBILIDAD PARA LA GESTIÓN DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS

Capítulo 2. Evaluación territorial de la sostenibilidad para la gestión de las políticas públicas

En este capítulo se analiza, en primer lugar, el concepto pluridimensional de la sostenibilidad que sirve de fundamento a toda la investigación. En segundo lugar, se expone el estado actual de la evaluación territorial de la sostenibilidad y cuál ha sido su evolución. Finalmente, en tercer lugar, se describen los sistemas de apoyo a las decisiones como herramientas básicas que van a permitir la evaluación territorial de la sostenibilidad.

2.1. La sostenibilidad: un concepto pluridimensional

El desarrollo sostenible no es una meta que haya que alcanzar ni una condición de equilibrio a la que tender, sino que debe interpretarse como el conjunto de condiciones que el ser humano debe respetar al manejar los cambios de la sociedad para que puedan seguir subsistiendo en el tiempo los requisitos básicos para su existencia.

El tema del desarrollo sostenible se caracteriza por una complejidad considerable, una de las razones por las que se ha convertido en un tema que cada vez llama más la atención de los estudiosos, las instituciones y buena parte de la comunidad humana. Antes de convertirse en uno de los temas de estudio de las ciencias sociales, durante el siglo XIX, el desarrollo representó la referencia fundamental de los análisis en el campo de las ciencias naturales, en particular de quienes se interesaban por la evolución biológica. Lástima que, cuando los economistas se apropiaron del tema, se

olvidaron de incluir en su caja de herramientas algunos de los criterios fuertes que habían caracterizado la labor de los biólogos: la continuidad del proceso, su direccionalidad, la acumulabilidad y, sobre todo, la irreversibilidad de todo proceso.

El concepto de desarrollo en el campo de los estudios socioeconómicos es más reciente. Se remonta a la primera mitad del siglo pasado, para poner de manifiesto la mejora del bienestar humano fruto del paso de una economía agrícola precapitalista a una capitalista industrial. De hecho, el concepto de desarrollo es la evolución del concepto de crecimiento, empleado para definir e interpretar el incremento de la riqueza producida. En cambio, el desarrollo pretende documentar la mejora de las condiciones no solo económicas, sino también sociales, políticas e institucionales. La idea de desarrollo se ha medido de distintas formas a lo largo del tiempo, en función de la organización política, económica y social presente en un momento y un contexto territorial dados y de las problemáticas variables que se manifestaban en dichos ámbitos.

A finales de los años sesenta del siglo XX, los análisis socioeconómicos empezaron a documentar el declive del modelo de desarrollo industrial como referencia para la mejora del bienestar, y bajo el impulso de las primeras organizaciones ambientalistas empezaron a confirmar algo que, en realidad, ya se había descrito en términos teóricos acerca de la ineficacia del mercado a la hora de desplegar un efecto regulador de los problemas en el terreno ambiental. En este período, a las cuestiones ambientales caracterizadas por una dimensión puntual se les empiezan a

añadir las de naturaleza difusa; crece la alarma de sus efectos sobre el bienestar de las personas, confirmada por la manifestación de daños cada vez más preocupantes al medio ambiente. En consecuencia, la atención a la posibilidad de realizar un modelo de desarrollo más respetuoso con los recursos naturales cada vez es más decidida.

A finales de los años sesenta se da un paso importante, gracias al innovador intercambio de ideas que surge en torno al Club de Roma, bajo la coordinación de Aurelio Peccei. En el libro *Los límites del crecimiento* (Meadows et al., 1972) se identifica en la escasez y el agotamiento de los recursos naturales los límites para un mayor crecimiento y expansión, no solo económica, del sistema antrópico. El debate tuvo el mérito de denunciar ante el mundo entero los riesgos, peligros y limitaciones que supone el actual modelo de crecimiento ilimitado.

En 1972, con la proclamación del 22 de abril como Día Mundial de la Tierra, por vez primera se evidencia a nivel mundial la necesidad de salvar los equilibrios naturales. Al cabo de unos meses, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, celebrada en Estocolmo, los representantes de 103 países compartieron la crisis del modelo económico dominante y adoptaron la Declaración sobre los Derechos y Responsabilidades del Hombre respecto al Medio Ambiente, que pone de manifiesto, entre otras, la necesidad de un desarrollo que utilice de forma racional los recursos naturales con el fin de que estos puedan preservarse para el bienestar de futuras generaciones. En esa misma ocasión cobró vida el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), un organismo autónomo que tiene asignadas las funciones de llevar a cabo

estudios para monitorizar las condiciones ambientales a distintas escalas territoriales, desarrollar instrumentos para tutelar el medio ambiente, prestar asistencia técnica y legislativa para elaborar convenciones para la salvaguardia de los recursos naturales, etc. Aunque el PNUMA fue el protagonista de gran parte de los eventos de los siguientes años, en su seno no dejaron de manifestarse las tensiones, que van a caracterizar a gran parte de los futuros acuerdos, entre las diferentes posturas y expectativas de los países económicamente desarrollados y de los en vías de desarrollo.

En los años siguientes se multiplican las iniciativas internacionales orientadas a firmar convenios para la salvaguardia de los recursos naturales. Este creciente interés da pie al documento Estrategia Mundial para la Conservación, elaborado en 1980 por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, el PNUMA y el Fondo Mundial para la Naturaleza, del que se desprende la necesidad de conciliar el crecimiento económico, una distribución equitativa de los recursos y la salvaguardia de los procesos ecológicos esenciales. Una necesidad que se expresa en el documento con el concepto de “sostenibilidad del desarrollo”. Es la primera ocasión en que aparece la cualidad de sostenible referida al desarrollo.

En base a estos acontecimientos, la Asamblea General de la ONU, en septiembre de 1983, instituyó la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, presidida por la primera ministra noruega Brundtland. El cometido de dicha comisión consistía en examinar las complejas relaciones entre medio ambiente y desarrollo y formular soluciones innovadoras a los

problemas ambientales, cada vez más evidentes, que se plasmaron en el informe *Nuestro futuro común* (WCED, 1987), también conocido como *Informe Brundlant*, en el que se definió el concepto de desarrollo sostenible como “aquel que satisface las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la posibilidad de que las generaciones futuras satisfagan sus propias necesidades”. El *Informe Brundtland* se convirtió desde ese momento en el punto de referencia fundamental para el proceso de la sostenibilidad. Dicho informe reconoce que la actual organización económica y social limita la capacidad del medio ambiente para satisfacer las necesidades de las personas; refuerza la convicción de que es necesario que el desarrollo económico y los recursos naturales estén estrechamente vinculados; afirma que la sostenibilidad va ligada a la condición de equidad intra e intergeneracional; indica que el desarrollo sostenible es un objetivo político pluridimensional: ambiental, económico y social.

Por tanto, el paso del concepto de desarrollo al de desarrollo sostenible no documenta únicamente los límites que los recursos naturales suponen a un crecimiento ilimitado, sino que fortalece la convicción de las fuertes interrelaciones existentes entre la mejora del bienestar de las personas del presente y del futuro, así como los principios de economía, ecología, democracia, responsabilidad social e institucional y pobreza.

Los principios expresados en el *Informe Brundtland* cosecharon amplio consenso en los años posteriores, de tal modo que las Naciones Unidas plantearon en base a ellos la primera Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, también conocida como Conferencia de Río.

Esta tuvo lugar en Río de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992 con la presencia de los representantes de 178 países que se reunieron para discutir sobre el tema y llegando a los siguientes acuerdos:

- Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.
Se identifican y comparten 27 principios que constituyen la base de una relación entre el ser humano y el medio ambiente más correcta y eficaz.
- Agenda 21.
Identificada como una herramienta de aplicación de la Declaración de Río, es un documento que consta de 40 capítulos en el que se proponen los criterios que los encargados de tomar decisiones públicas deberían utilizar para tener un comportamiento decisivo útil para el desarrollo sostenible. En los años posteriores se le prestó especial atención al capítulo 28, relacionado con los procesos locales de la Agenda 21.
- Convención Marco sobre el Cambio Climático.
Propone los criterios generales para contener y estabilizar la producción de gases que actúan sobre el efecto invernadero. Es la convención que unos años más tarde condujo a la redacción del Protocolo de Kioto.
- Convenio sobre Diversidad Biológica.
Es el primer acuerdo global que identifica los objetivos generales para la conservación, el uso sostenible y la distribución justa de los beneficios del uso de la diversidad biológica. El convenio ha

identificado la Conferencia de las Partes (COP) como el instrumento operativo para la protección de la biodiversidad.

- Declaración sobre los Bosques.

Simplemente subraya los principios sobre conservación, gestión y desarrollo sostenible de todo tipo de bosques, pese a que el objetivo de partida era el de definir una convención específica sobre la salvaguardia de los bosques.

Aunque los principios y objetivos propuestos en Río solo se formularon para orientar la programación de los distintos niveles de toma de decisiones hacia la sostenibilidad, es decir, sin que los países que los habían compartido estuvieran obligados a cumplirlos, el imponente efecto comunicativo de la Conferencia de Río impulsó la aceleración del debate mundial sobre el desarrollo sostenible, y sus principios y objetivos constituyeron la base de convenciones con contenido vinculante que, en ocasiones, se incorporaron a la legislación nacional.

La Conferencia de Río representó un claro reconocimiento de la falta de sostenibilidad de los modelos de desarrollo actuales, a la vez que pone de manifiesto las grandes dificultades para hacer que las declaraciones de intenciones expresadas en sus documentos resulten coherentes con las políticas reales para la sostenibilidad. De esta manera, siguen manifestándose las divergencias entre los países de economía avanzada y los llamados países en desarrollo, con los primeros que querrían acelerar las vías para alcanzar el objetivo de la sostenibilidad y que están más atentos a la equidad intergeneracional y los segundos que piden recursos económicos para seguir estas vías; y con una atención más marcada a la

equidad intrageneracional. Desacuerdos estos que, en cualquier caso, también se plantean en la confrontación política entre países desarrollados, por ejemplo, con respecto a los efectos que las políticas de sostenibilidad habrían podido tener sobre el papel regulador del mercado y sobre las direcciones de desarrollo del comercio.

No es, pues, casualidad, que en la Conferencia de Río+5, celebrada en 1997 en Nueva York para evaluar los progresos realizados en el cumplimiento de los compromisos de Río, se evidenciase la modestia de los resultados alcanzados, y desgraciadamente se constató el empeoramiento de la situación ambiental. La evaluación no cambió mucho en la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible que tuvo lugar en 2002 en Johannesburgo. El balance de la aplicación de las decisiones adoptadas en Río seguía siendo de todo menos positivo y, de hecho, se observó que la concentración de anhídrido carbónico (CO₂) en la atmósfera había aumentado significativamente, que el proceso de deforestación continuaba de manera peligrosa y que se habían agudizado las problemáticas inherentes al nexo entre el medio ambiente, la justicia social y la pobreza.

Pese a que en Johannesburgo se adoptó una nueva declaración y un plan de acción específico para reafirmar la voluntad de los países participantes de alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible, la evolución del estado ambiental del planeta en los años posteriores no confirma en absoluto en cuanto a la existencia de una auténtica voluntad común de alcanzar estos objetivos. La divergencia entre declaraciones políticas y acciones reales cada vez está más condicionada por las enormes dificultades para encontrar los recursos necesarios para hacer progresar,

especialmente en los países menos ricos, hacia los objetivos expresados durante las reuniones internacionales y, sobre todo, por la incapacidad o falta de voluntad de los países ricos de convencerse de que el mercado no puede ser el único que regule la vida de las personas.

Con respecto a los recursos necesarios, en el año 2000 los jefes de estado y de gobierno de 191 países, al firmar la Declaración del Milenio de las Naciones Unidas, fijaron ocho objetivos que había que alcanzar para 2015 para lograr un mundo más seguro, próspero, sostenible y justo para todos sus habitantes. Dicha declaración suponía una oportunidad única que reafirmaba con decisión que la posibilidad de realizar un modelo de desarrollo sostenible no pasa únicamente por la cuestión ambiental, sino que requiere una decidida atención a la reducción de las desigualdades sociales y económicas de los pueblos, fomentando un partenariado global entre los países pobres y los más ricos que movilice recursos económicos y tecnologías con dicho fin. Para ello, la primera Conferencia sobre Financiación para el Desarrollo organizada por la ONU en 2002 en Monterrey confirmó el objetivo que ya había expresado la Asamblea General de la ONU en 1970 respecto a la cooperación para el desarrollo, según el cual cada país económicamente avanzado se comprometía a entregar antes de finales de 2015 un importe mínimo igual al 0,7% de su producto interior bruto en concepto de asistencia oficial para la reducción de la pobreza en los países en desarrollo. En realidad, solo unos pocos países cumplieron el compromiso y la mayoría de ellos se situaron en niveles significativamente inferiores y con la reciente situación económica mundial no van a poder cumplirlo.

En los últimos diez años, el llamado proceso de globalización ha sufrido una evidente aceleración. Sin negar los efectos positivos que, al menos al principio, generó para el bienestar económico y social medio de la humanidad, el proceso también ha dado lugar a manifestaciones de crisis económicas que, a falta de intervenciones normativas, han provocado crecientes desigualdades en la distribución de la riqueza, tanto entre países como en el seno de cada país. En el mismo período han aumentado los problemas ligados a la escasez de alimentos, la disponibilidad de energía, el cambio climático y la conservación de la biodiversidad, hasta el punto de poner seriamente en tela de juicio la eficacia de lo que se ha hecho hasta ahora por el desarrollo sostenible, poniendo así de manifiesto la improrrogable necesidad de identificar nuevos planes para alcanzar el objetivo.

Ante este complejo escenario, con motivo del vigésimo aniversario de la primera Conferencia de Río, las Naciones Unidas organizaron la Conferencia Río+20 sobre Desarrollo Sostenible, que se celebró una vez más en Río de Janeiro del 20 al 22 de junio de 2012. Las delegaciones de 193 países se reunieron para seguir discutiendo cómo promover la sostenibilidad para las generaciones actuales y futuras en sus tres vertientes: ambiental, social, con la búsqueda de la equidad, y la económica, con la mejora del bienestar. No obstante, el resultado fue bastante decepcionante pues, aunque la declaración final, *El futuro que queremos* (ONU, 2012), reitera la necesidad de un modelo de desarrollo menos destructivo para el planeta y confirma el compromiso de los signatarios de perseguirlo, carece de cualquier expresión concreta en

cuanto a responsabilidad para cumplirlo. Muchos de los verdaderos partidarios del desarrollo sostenible que se encontraban presentes en Río, con espíritu polémico, rebautizaron la cumbre como “Río menos 20”, para resaltar la forma vaga y teórica de los compromisos contraídos respecto a las gravísimas condiciones económicas, sociales y ambientales a las que se enfrenta el mundo y a la improporrible necesidad de replantearse el actual modelo de desarrollo.

Hoy el futuro horizonte de la política internacional está marcadamente modelado sobre la sostenibilidad y el concepto de desarrollo sostenible. Las Naciones Unidas lanzaron en 2015 los Objetivos de Desarrollo Sostenible a alcanzar para 2030, con la vía denominada Agenda 2030 (ONU, 2015). Se trata de 17 objetivos que abarcan desde los problemas sociales a los ambientales, económicos e institucionales, para alcanzar la plena sostenibilidad. La primera necesidad que surgió fue la de poder medir los progresos en el logro de dichos objetivos, concentrando los esfuerzos en definir unos conjuntos de indicadores que se utilizarán para valorar el logro de los objetivos, es decir, la importancia de la evaluación como requisito previo para llevar a cabo una tarea tan importante.

Lo que se ha dicho hasta ahora destaca la existencia de un debate público avanzado y particularmente favorable al desarrollo sostenible, pero también la presencia de políticas no siempre coherentes con las estrategias, cuando no, demasiado a menudo, de la ausencia de políticas apropiadas. Se es consciente de los problemas, pero existen fuertes dificultades a la hora de actuar para resolverlos. Sin negar el compromiso

de las instituciones, las empresas y los ciudadanos en cuanto a llevar a cabo acciones útiles para el proceso sostenible del desarrollo, cabe constatar que estas experiencias positivas están demostrando no ser suficientes para contrarrestar el aumento de eventos negativos.

Los testimonios están a la vista de todos, solo hay que pensar en el aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero, pese a que ya llevamos años firmando protocolos para reducirla; o el creciente consumo de combustibles fósiles, a pesar del significativo incremento de las iniciativas relacionadas con el ahorro de energía y/o las energías renovables; la salvaguardia de la biodiversidad, respecto a la cual aumentan los proyectos nacionales, internacionales y locales para protegerla, pero que sigue reduciéndose cada vez más rápidamente; el incremento de la desigualdad en la distribución de la riqueza, pese a las muchas cumbres mundiales que se han celebrado para superarla; en las muchas otras consideraciones de insuficiencia que podrían hacerse para otras tantas declaraciones e iniciativas orientadas a lograr el objetivo del desarrollo sostenible.

Los motivos que hay detrás de las enormes dificultades que conlleva realizar un modelo de desarrollo verdaderamente sostenible son varios, pero en general están relacionados con la dificultad de hacer que la naturaleza multidimensional del desarrollo sostenible sea plenamente aceptada dentro de unas reglas sociales, políticas y económicas en constante cambio que condicionan la vida de todas las sociedades humanas. En realidad, la Conferencia de Río de 1992 ya había subrayado esta necesidad, destacando que no basta con orientar las actividades

humanas para que respeten los recursos naturales, sino que es imprescindible que se garantice la reproducibilidad económica de quienes desempeñan las mismas actividades.

Por lo tanto, es necesario llevar a cabo las iniciativas prestando atención a una distribución justa de recursos y oportunidades de desarrollo para todo el mundo, ahora y en el futuro, hasta la necesidad de mejorar el grado de participación y puesta en común de las decisiones sociales por parte de los ciudadanos. El desarrollo sostenible es un objetivo inclusivo y una meta de toda la humanidad; su naturaleza multidimensional hace necesario que el proceso de toma de decisiones se desarrolle considerando la integración de las políticas ambientales con todas las demás políticas y el respeto conjunto de los principios típicos de cada dimensión de la sostenibilidad: económica, social y ambiental que a continuación se analizan.

La dimensión económica de la sostenibilidad debe cualificarse mediante los criterios de eficiencia privada y eficacia social. Hacer las cosas como es debido para optimizar los resultados económicos de las actividades de cada cual, la eficiencia privada, es un criterio imprescindible que debe caracterizar la labor de toda persona. Sin embargo, hoy en día es indispensable que cada persona sea capaz de hacer también las cosas necesarias para que sus resultados personales sean congruentes con los que espera la colectividad; es la eficacia social, a falta de la cual no solo resulta difícil resolver los problemas sociales que se plantean, sino que resulta improbable que la sociedad legitime las posibles actuaciones de apoyo a una o más categorías sociales.

La dimensión social de la sostenibilidad también se desarrolla con el principio de responsabilidad social, que la mayoría de las veces se relaciona con el trabajo de las empresas. En cambio, es preciso que este criterio también sea el motor del comportamiento de los consumidores, las instituciones, los investigadores y cualquier otro componente de la sociedad. De esta forma se podrá mejorar el sentido de solidaridad y cohesión dentro de una comunidad, y con ello poner en práctica aquel estado cooperativo que permita garantizar una distribución justa de los recursos y hacer que coincidan las ambiciones económicas y sociales de los humanos con las necesidades de los ecosistemas.

La dimensión ambiental de la sostenibilidad deber caracterizarse por los criterios de la prevención, la precaución y la responsabilidad (principio de quien contamina paga). Prevenir los impactos negativos en el medio ambiente en lugar de tratarlos es, sin duda alguna, la forma más eficaz, tanto para la salvaguardia de los recursos naturales como para la conveniencia económica de las personas y la comunidad. No obstante, para prevenir es indispensable conocer los efectos de las acciones y, por lo tanto, la ciencia juega un papel central, a sabiendas de que la garantía que puede ofrecer la ciencia no es absoluta, ya que el nivel de los conocimientos científicos avanza por un camino sembrado de dificultades y falsos rastros. Por ello, es necesario que la definición de las reglas que dirigen el comportamiento humano se lleve a cabo de conformidad con el principio de precaución, de modo que se puedan evitar impactos particularmente graves, cuando no irreversibles. Un estímulo hacia esta actitud deriva del criterio según el cual quien contamina paga, de manera

que el uso de recursos naturales y los impactos negativos generados sobre los mismos representen un coste directo para los usuarios. Ya no puede justificarse la desviación, cada vez mayor, entre costes privados y costes sociales derivados del comportamiento no sostenible de las actividades humanas.

Finalmente, desde el punto de vista institucional el desarrollo sostenible debe basarse en el criterio de la subsidiariedad. Por el mismo, los individuos y la sociedad civil tienen que poder actuar libremente; las instituciones no deben ocupar su lugar, sino intervenir únicamente cuando aquellos no sean capaces de hacer las cosas por sí solos, con una actuación que debe llevarse a cabo al nivel institucional más próximo a las personas y con la mayor participación de las partes afectadas. Aplicando esta lógica, las instituciones se convierten en verdaderos centros de servicios a los ciudadanos, estimulando su participación activa y no asistida para alcanzar el desarrollo.

La sostenibilidad anteriormente expuesta goza de amplia aceptación en términos formales, pero el camino político para que sea operativa es muy difícil de sortear. La Unión Europea, pese a que las políticas ambientales implementadas en las últimas décadas presentan luces y sombras, es una de las instituciones internacionales más activas en el tema del desarrollo sostenible. Las Estrategias Europeas, así como sus Programas de Acción en materia de Medio Ambiente, son fundamentales para “cambiar de rumbo”, pero los contenidos expresados en estos documentos corren el riesgo de quedarse sobre el papel si no se logra dar una expresión real a las necesidades de incorporar de forma concreta los principios de

sostenibilidad a todos los procesos de toma de decisiones, llevar a cabo una integración cada vez más precisa de la salvaguardia ambiental en todas las políticas europeas, promover el conocimiento científico a todos los niveles para realizar y hacer aceptar las innovaciones ecocompatibles, e identificar de forma plurianual los recursos financieros públicos necesarios para el desarrollo sostenible.

La globalización del sistema social y económico está determinando una creciente complejidad del propio sistema que, junto con las distintas manifestaciones de crisis que se le están planteando al mismo, representan factores que limitan que las necesidades anteriores tengan un peso apropiado a la hora de identificar las acciones necesarias para promover un desarrollo sostenible en su naturaleza multidimensional. Por ello, cada vez es más importante sopesar la posibilidad de hallar un camino real para la sostenibilidad del desarrollo a partir del nivel local. Es necesaria una mayor integración entre el mundo científico y técnico y los tomadores de decisiones públicas. En consecuencia, necesitamos instrumentos capaces de medir a nivel territorial el logro de los objetivos de sostenibilidad, para guiar así el camino político y de aplicación paso a paso.

2.2. Estado actual y evolución de la evaluación territorial de la sostenibilidad

Las decisiones en materia de desarrollo sostenible requieren, en primer lugar, un debate democrático que garantice la corrección y legalidad de las acciones, a falta del cual es imposible evitar esas disputas

irresolubles que, como sucede a menudo hoy en día, suponen un grave obstáculo para alcanzar los objetivos. Un debate democrático que debe instaurarse a partir de los contextos locales, ya que cada vez resulta más evidente que es imposible trazar caminos de desarrollo sostenible indiferenciados y, por otro lado, que es necesario fijar unos objetivos coherentes con las características sociales, económicas y ambientales del territorio, de conformidad con los principios generales de la multidimensionalidad, las necesidades y expectativas de la comunidad local y con una relación constante con la dimensión global.

Dando por sentado que el desarrollo sostenible es de naturaleza multidimensional y afecta a la relación entre la generación actual y las futuras, al intentar pormenorizar las modalidades básicas para alcanzarlo, surge una primera duda cuando nos hallamos ante la decisión de identificar los límites ecosistémicos dentro de los cuales hay que situar las estrategias y políticas para el desarrollo. Aunque el aspecto afecta a una sola de las dimensiones del desarrollo sostenible, la ambiental, y si a menudo se lo considera teórico, es fundamental y está relacionado con la decisión de recorrer un camino de sostenibilidad débil o uno de sostenibilidad fuerte.

La sostenibilidad fuerte es la que no admite la sustitución del capital natural por el producido por el ser humano. Los recursos naturales son un patrimonio fundamental y limitado para la existencia de la humanidad y, por lo tanto, no pueden sustituirse por el incremento del patrimonio económico, sino que deben utilizarse de manera que no se superen los límites que rebasan la capacidad de los mismos para reproducirse. Por el contrario, la sostenibilidad débil tolera la posibilidad de sustituir los

recursos naturales por productos y servicios económicos, siempre que ello dé lugar a una mejora del bienestar humano, y en todo caso siempre que se defina una tutela “razonada” de los recursos naturales.

Es decir, que nos hallamos ante la controvertida y nada fácil posición de quienes plantean la hipótesis de un modelo de desarrollo que, pese a definirse como sostenible, sigue estando orientado a la demanda, respecto a la de quienes querrían un modelo de desarrollo orientado a la naturaleza. Comparando las estrategias y programas elaborados a los distintos niveles institucionales: en los estratégicos, que por naturaleza contemplan un horizonte temporal largo, se hace referencia a los criterios de sostenibilidad fuerte, mientras que se alude abundantemente a los criterios de sostenibilidad débil en los programas a corto y medio plazo. Si bien esta interpretación legitima ambas condiciones como alternativas respecto al tiempo, no se les escapa a nadie que no se pueden seguir sustituyendo de forma ilimitada e indeterminada los recursos naturales a lo largo del tiempo y que, por lo tanto, seguir colocando la sostenibilidad fuerte únicamente en los escenarios futuros e inciertos hace que resulte imposible tener garantías de que se pueda replicar el sistema antrópico, entre otras cosas por sus dimensiones económicas y sociales.

Las aclaraciones “teóricas”, como se afirma a menudo, no sirven de nada; haberlas recordado es una forma para recordar, por una parte, que la situación real actual se caracteriza por una forma de actuar por parte de las personas que está incluso lejos de seguir la posición menos vinculante y más aceptable de la sostenibilidad débil, y por otra, para resaltar la necesidad de tener previamente claro y en común el camino de desarrollo

que se quiere seguir. Es indispensable ser plenamente conscientes de los límites dentro de los que uno quiere moverse para salvaguardar los recursos naturales y, con ello, para orientar la naturaleza de las políticas, diferenciándolas entre políticas a corto plazo y a largo plazo. La falta de estas referencias o un estado incierto para las mismas hace que resulte improbable indicar estrategias y políticas eficaces para alcanzar el objetivo del desarrollo sostenible, a la vez que impide que los actores del sistema comprendan cómo modificar su comportamiento.

Por último, para tener respuestas adecuadas hay que poner en entredicho también la incapacidad del comportamiento humano de considerar plenamente, en todas sus manifestaciones, los principios propios de la complejidad natural. El ser humano vive y opera en sistemas ecológicos y sociales específicos y complejos caracterizados por múltiples elementos interdependientes entre sí. Su comportamiento en la toma de decisiones dentro del sistema no puede dejar de tener en cuenta los efectos que genera en cada uno de ellos. En cambio, aún hoy, al afrontar un problema se siguen sopesando las peculiaridades de los elementos por separado: la renta per cápita, por ejemplo, para la economía; la calidad del aire para el medio ambiente; la justicia distributiva para el aspecto social, etc. Decidir sin tener en cuenta las interdependencias entre los componentes del sistema no permite evaluar las consecuencias que la decisión sobre un componente puede tener sobre los demás componentes, obteniendo a menudo resultados nada eficaces. Igual que resulta perjudicial decidir sin tener en cuenta que el sistema complejo Tierra es, al menos aún hoy, un sistema cerrado que solo puede intercambiar energía

con el entorno exterior y que asiste al crecimiento constante de su entropía.

En un documento reciente, titulado *La innovación para un crecimiento sostenible: una bioeconomía para Europa* (CE, 2012), la Comisión Europea afirmaba que “para poder hacer frente al continuo aumento de la población mundial, al rápido agotamiento de muchos recursos, a las presiones cada vez mayores sobre el medio ambiente y al cambio climático, Europa debe optar por una forma radicalmente diferente de enfocar la producción, el consumo, la transformación, el almacenaje, el reciclaje y la eliminación de los recursos biológicos”; y auspiciaba que se comprometía a “aumentar la presencia de la investigación multidisciplinar e intersectorial y de la innovación para afrontar la complejidad”.

El desafío del desarrollo sostenible concierne a todas las personas del mundo; para intentar vencerlo, cada vez crece más el consenso acerca de la utilidad operativa del modelo de desarrollo “glocal”, basado en una nueva relación entre la dimensión global y la local (Figura 2.1).

Un modelo que expresa de forma resumida el eslogan “Pensamiento Global y Acción Local”, el cual se basa en la convicción de que varios de los objetivos globales del desarrollo sostenible pueden alcanzarse de forma concreta si las comunidades locales se comprometen a perseguirlos, ya que a nivel local existe la percepción directa de los problemas que hay que afrontar y resulta más fácil la interacción entre los individuos, tanto públicos como privados, que tienen que comprometerse a resolverlos.

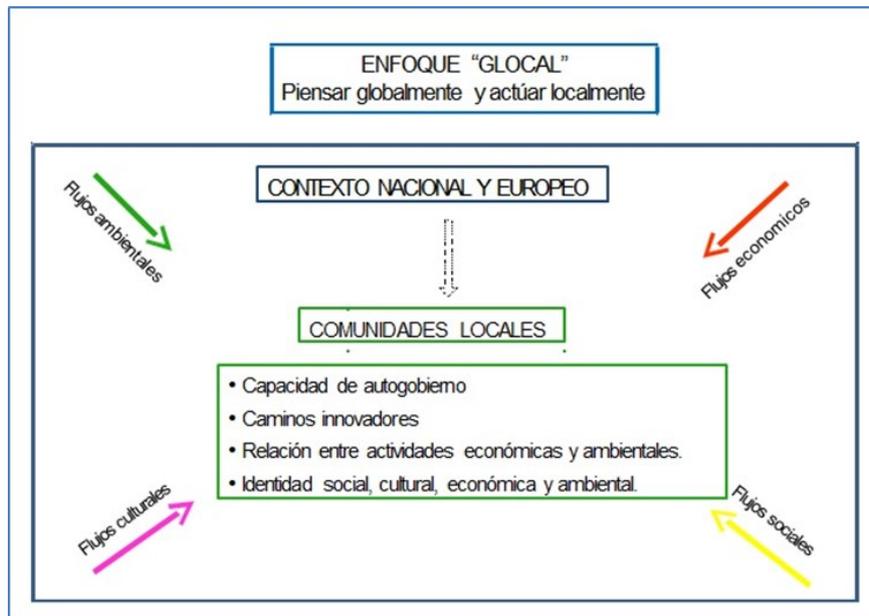


Figura 2.1. Abordaje Glocal: pensamiento global y acción local
Fuente: elaboración propia

De esta forma, gracias a la capacidad de autogobierno que caracteriza al sistema local, cabe considerar concretamente la relación entre actividades humanas y recursos naturales, poner en marcha acciones eficaces para la salvaguardia de los recursos ambientales y, al mismo tiempo, definir vías innovadoras para una mejora real de las condiciones económicas y sociales de todos los operadores del propio sistema. Un modelo a realizar con una variedad de caminos que permitan a cada sistema aprovechar su propia identidad social, cultural, económica y ambiental: “un problema ecológico es también un problema de ecología... también es un problema económico... pero sobre todo es un problema de las formas de convivencia y de los valores que las inspiran” (Zamagni, 1994). En todo caso, un modelo que no debe confinar el sistema local como una isla periférica respecto al contexto nacional y europeo que lo rodea,

sino que debe intentar estar abierto a los flujos económicos, sociales y culturales típicos de una sociedad global, con el fin de promover sus características específicas.

El abordaje del desarrollo local representa la referencia central de las políticas europeas para el período de programación 2014-2020. Una elección que identifica en las regiones funcionales los ámbitos territoriales dentro de los cuales pueden definirse proyectos compartidos - en cuanto a la elección de los objetivos y las formas de puesta en práctica - para construir un desarrollo endógeno capaz de mejorar el bienestar de la comunidad. Para poder seguir este camino con éxito se requiere la firme voluntad política de evaluar seriamente la eficacia de los principios, métodos e instrumentos utilizados hasta ahora para definir las políticas locales y la igualmente firme convicción de llevar a cabo todos los cambios organizativos que sean necesarios.

Actuar a nivel local teniendo como referencia la connotación multidimensional del desarrollo sostenible supone apoyar enérgicamente el paso del enfoque de la toma de decisiones pública del método del *government* (gobierno) al de la *governance* (gobernanza). Un camino que implica una reflexión acerca de las formas de constitución del gobierno local, y en particular un cambio de método del proceso de toma de decisiones, del primero basado predominantemente en el método de la autoridad, al segundo que, aun sin excluir el control jerárquico, le atribuye un papel más vigoroso a la coordinación social. Al mismo tiempo, el enfoque del desarrollo local debe girar en torno a una clara convicción política por parte de los operadores locales de desarrollar los programas

internos en coordinación con las estrategias nacionales y comunitarias, es decir, siguiendo el modelo de gobernanza multinivel fuertemente auspiciado por la Unión Europea.

Las regiones representan ámbitos territoriales fundamentales para dar vida a este modelo, especialmente si se adopta con la mayor coordinación posible entre ellas con la lógica de las grandes áreas. Los sujetos que operan en ellas tienen la posibilidad de afrontar de forma activa y completa las complejas interacciones entre las distintas dimensiones del desarrollo sostenible en todos los sectores operativos, estableciendo una comparación eficaz entre recursos disponibles, conocimientos, ideas para proyectos y políticas propias con lo que sucede en el mundo, con el fin de programar vías específicas para el éxito de los individuos y del sistema (Figura 2.2). Solo operando en estas condiciones, el papel de los sistemas locales se convierte en central y paritario respecto al que desempeñan quienes se mueven en ámbitos internacionales.

Si la voluntad política del tomador de decisiones públicas de seguir este modelo es una condición necesaria, la posibilidad de hacerlo operativo requiere un cambio cultural de todos los sujetos de la sociedad regional, un cambio que debe basarse en una mayor participación de la sociedad en las decisiones públicas, que debe realizarse con instrumentos y procedimientos eficaces para identificar los problemas a afrontar, para fijar las metas a alcanzar y para evaluar los resultados alcanzados. Un cambio que, gracias entre otras cosas a estos procedimientos, fomente la confianza recíproca entre las instituciones y los actores del territorio y entre todos estos últimos, de manera que los principios de cooperación y

solidaridad social, el sentimiento de pertenencia a una comunidad, la relación de confianza entre administrados y administradores, se conviertan en principios de referencia para recorrer con éxito el camino del desarrollo sostenible.

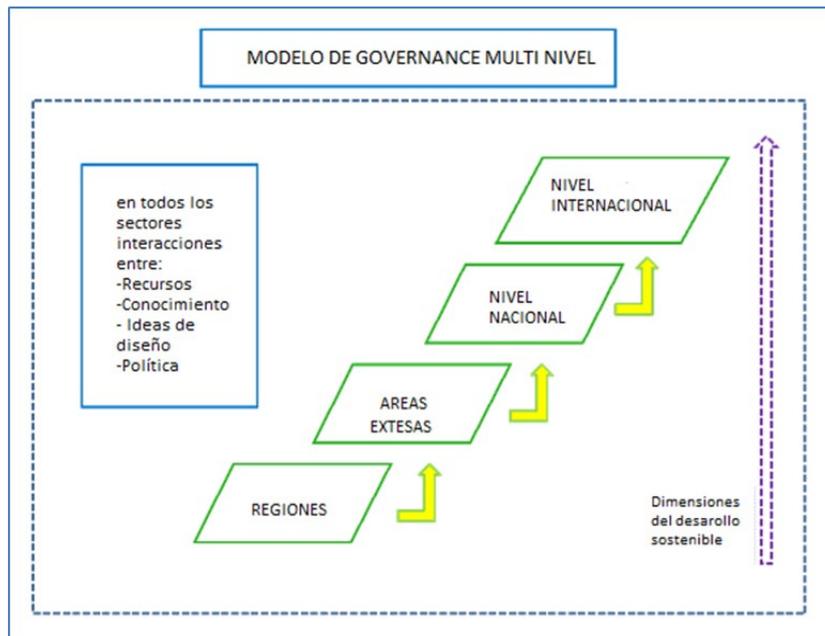


Figura 2.2. La gobernanza multinivel
Fuente: elaboración propia

La necesidad de dar un giro está clara, y el cambio ya no se puede posponer. El verdadero problema radica en cómo programarlo y manejarlo. Probablemente es imposible indicar direcciones que aún no se hayan mencionado; en cambio, es evidente la necesidad y la urgencia de una voluntad más fuerte de seguirlas. Un conocido proverbio atribuido a los nativos americanos dice así: “no heredamos la tierra de nuestros antepasados, sino que la tomamos prestada de nuestros hijos”. Si este debe ser el objetivo que caracteriza el compromiso de todo ser humano, es evidente que hay que poner a punto métodos de gobierno que reconsideren los actuales.

El modelo de desarrollo del siglo pasado, sin duda, dio lugar a una mejora importante de la riqueza mundial y del bienestar medio, pero con la intención de alcanzar unos objetivos que estaban muy lejos de coincidir con los de la sociedad, condujo también a cancelar de forma progresiva y constante los derechos fundamentales de los seres humanos y los recursos naturales. Frente a problemas que han cobrado dimensiones globales, la crisis de la capacidad de gobierno de los Estados, la incapacidad de las organizaciones internacionales de definir normativas eficaces, los reiterados fracasos del mercado y la pérdida de valores comunes en la sociedad civil, ese modelo ya ha agotado su función. Querer seguir utilizándolo ante una realidad demográfica, social y económica completamente diferente a la del siglo pasado está dando lugar a numerosos problemas para los que no se consigue hallar respuesta. Un auténtico modelo de desarrollo sostenible no puede construirse, pues, corrigiendo el modelo de desarrollo pasado, sino que requiere una definición completamente nueva.

El desafío que se propone es un desafío que requiere un cambio cultural de toda la sociedad, de manera que los procesos de toma de decisiones de las personas puedan tener lugar, no solo con expresiones verdaderamente democráticas, sino conforme a valores comunes. La dirección que parece más útil para llevar a cabo esta renovación consiste en construir un modelo de desarrollo en el que la relación entre la dimensión global y la local esté completamente redefinida, con los papeles de los distintos niveles de toma de decisiones bien claros y con el compromiso de afrontar de forma coordinada y conforme a la

subsidiariedad los problemas que se definan. El advenimiento de la globalización ha generado, entre otras cosas, un efecto de homologación que ha anulado uno de los factores más poderosos del proceso democrático: la diversidad.

Una característica importante de la evaluación de la sostenibilidad es que puede proporcionar a los tomadores de decisiones una valoración de los sistemas globales y locales, considerando períodos de referencia a corto y largo plazo, con el fin de determinar las acciones que hay que llevar a cabo en un área determinada (Ness et al., 2007). La práctica de clasificar a los países puede ser una forma de empujar a los tomadores de decisiones a mejorar su posición (Dahl, 2012) y, por tanto, sus niveles nacionales de sostenibilidad. Sin embargo, la sostenibilidad no puede evaluarse solamente a nivel nacional, aunque quizá sea la evaluación más significativa (Dahl, 2012) y la más aplicada en los foros internacionales (Canavese et al., 2014), sino que deben estudiarse los sistemas a nivel local para obtener evaluaciones eficaces y realistas de contextos territoriales específicos y determinar acciones de planificación sólidas. El desarrollo sostenible se considera factible si tiene su origen a nivel local, es decir, con un enfoque desde abajo del nivel local al supranacional (Ravetz J., 2000). Según la política de la Unión Europea, uno de los motores más importantes del desarrollo sostenible es el principio de subsidiariedad, por el cual el individuo y la sociedad civil deben actuar libremente, (Diario Oficial de las Comunidades Europeas DO C112, 20 de diciembre de 1973, página 7). Por consiguiente, las intervenciones deben llevarse a cabo al nivel institucional más próximo a las personas, con la participación más amplia posible.

2.3. Sistemas de apoyo a las decisiones para la evaluación territorial de la sostenibilidad

Actuar de manera sostenible significa incluir la defensa activa del medio ambiente en todas las políticas sectoriales, es decir, hacer indispensable que las decisiones sean respaldadas no solo por los criterios tradicionales de elección sociales y económicos, sino también por un conocimiento objetivo del estado de los recursos naturales. Un paso fundamental para alcanzar dicha finalidad es disponer de toda la información necesaria para tomar una dirección determinada.

Tomar decisiones es la base de la realización de políticas y normativas, pero es una actividad muy difícil. La palabra decisión indica la actividad de juicio entre varias alternativas posibles (definidas a priori o durante el proceso de toma de decisiones) que desarrolla un sujeto, denominado tomador de decisiones, en base a determinadas preferencias (más o menos formalizadas), orientada a perseguir un objetivo determinado.

Antaño, las decisiones que implicaban el uso de los recursos naturales, y en general la planificación del territorio, se tomaban con más facilidad porque se consideraba que se disponía de recursos naturales ilimitados y, por tanto, no tenían valor económico y se utilizaban libremente. Actualmente, con la conciencia de que nuestro planeta tiene una capacidad de carga ambiental reducida, de que muchos recursos naturales se están agotando y de la necesidad de administrar la planificación territorial para un desarrollo económico respetuoso con las problemáticas ambientales, la complejidad de las decisiones a tomar ha

aumentado de manera considerable.

De todos modos, por regla general, tomar decisiones es difícil, ya que son muchos los aspectos y factores a tomar en consideración (Figura 2.3.):

- Para tomar una buena decisión es preciso definir el horizonte temporal y los efectos temporales (inminentes o no) de la misma.
- La decisión está condicionada por la incertidumbre de que lo que se ha previsto se verifique o no.
- A menudo hay un gran número de alternativas a tener en cuenta y la dificultad de la decisión aumenta a medida que aumenta el número de alternativas posibles.
- Casi siempre hay restricciones, tanto financieras como temporales.
- Toda decisión puede generar conflictos de intereses entre los distintos grupos sociales implicados.

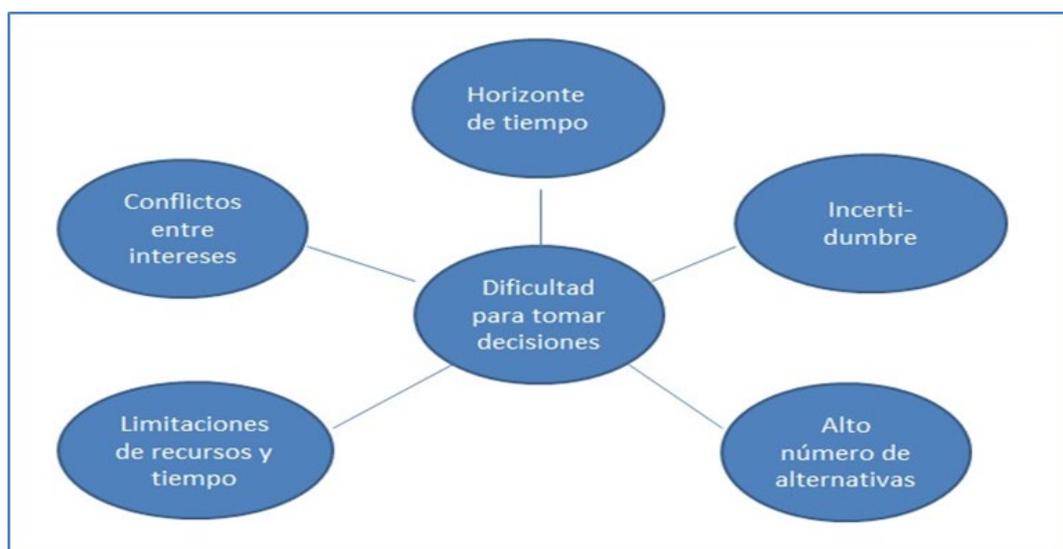


Figura 2.3: Factores a tener en cuenta en las decisiones
Fuente: elaboración propia

Una forma de lidiar con las dificultades que acabamos de enumerar consiste en introducir el seguimiento continuo en el proceso de decisión, convirtiéndolo en un proceso circular (Figura 2.4). De esta forma, una vez que se ha tomado una decisión deberán observarse y estudiarse sus efectos para poder volver a intervenir eventualmente en el proceso de toma de decisiones y aportar correcciones.

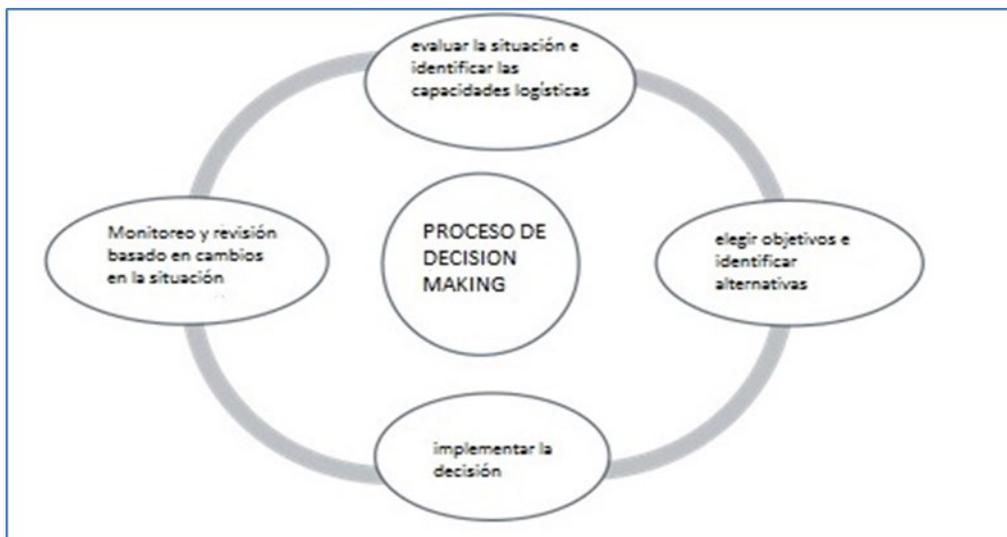


Figura 2.4. Proceso de toma de decisiones
Fuente: adaptado de Lin (2013)

A la luz de todo lo que acabamos de evidenciar, las decisiones deben tomarse de forma ponderada y adecuada, con un respaldo técnico, científico y normativo adecuado. Al tomar decisiones se tienen en cuenta una serie de aspectos vinculados a múltiples factores diferentes que inciden en la propia decisión, cuyas consecuencias es necesario conocer. La solución estriba en basarse en varios parámetros al mismo tiempo,

logrando incluso integrarlos y compensarlos entre sí.

La decisión final no deberá basarse únicamente en la búsqueda de la mejor solución solo desde el punto de vista técnico, ya que la búsqueda de lo ideal exclusivamente desde ese planteamiento no puede existir en las decisiones públicas. Sin embargo, no cabe duda de que el conocimiento de los aspectos técnicos es de gran ayuda y representa un medio cognoscitivo e informativo gracias al cual quien toma la decisión lo hace de forma más prudente.

De hecho, las distintas alternativas posibles para una elección siempre deberán cotejarse con las necesidades políticas, normativas (nacionales y otras), sociales, económicas y, por tanto, la solución ideal podría no ser necesariamente la mejor desde el punto de vista técnico. Sin embargo, a menudo el apoyo a las decisiones se basa a menudo en el aspecto técnico.

El apoyo a las decisiones es la actividad que facilita el desarrollo del proceso de toma de decisiones y que permite proporcionar información a quienes deben decidir, hacer que la decisión sea transparente, garantizar la reiterabilidad del proceso de toma de decisiones y favorecer la participación pública en el proceso.

La identificación y el uso de indicadores de sostenibilidad como instrumento de apoyo de las políticas de desarrollo sostenible ya está reconocido por los principales organismos internacionales y europeos. Desde los años setenta del siglo pasado hemos asistido a un esfuerzo por parte de los correspondientes institutos de estadística, destinado a recoger

información en el terreno del medio ambiente para relacionarla con la correspondiente al sistema socioeconómico. Los datos sobre el medio ambiente se han incluido en informes específicos sobre el estado del medio ambiente, con el objetivo de mantener bajo control las condiciones ambientales en relación a las presiones antrópicas y de crear un sistema de estadísticas para completar los datos económicos y sociales.

Sin embargo, la sostenibilidad no es fácil de medir pues no se presenta como un fenómeno natural, ni tampoco es fácil de describir a través de una serie de indicadores directamente cuantificables. Podría evidenciarse mediante un balance complejo entre el conjunto de flujos y consumos de recursos en el ámbito de un contexto socioeconómico dado, teniendo en cuenta los coeficientes de reproducción de dichos recursos. Además, ese balance debería tener en cuenta las demandas actualizadas de las generaciones futuras. La complejidad de esta evaluación ha dado lugar al fuerte retraso acumulado al definir un acuerdo a nivel internacional sobre los indicadores de sostenibilidad, sus criterios de medición y las unidades de medida; un retraso que hoy en día por fin se ha recuperado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

No obstante, sigue siendo necesario organizar los sistemas de indicadores identificados para que puedan convertirse en instrumentos eficaces de medición de la sostenibilidad y, por consiguiente, un apoyo real para los tomadores públicos de decisiones. Hoy en día este cometido se encomienda cada vez más a los modelos. Un modelo se define, según Roy (1996), como “un esquema que, para un grupo de cuestiones dado, se

considera como la representación de una clase de fenómenos que un observador ha eliminado más o menos atentamente de su entorno para facilitar su investigación”.

Por tanto, en cierto sentido, cada vez que se realiza un intento de observación, reflexión y análisis de un problema determinado, dicho intento está basado en un modelo. Este es, pues, la representación de un “fragmento de realidad” determinado.

El tipo de abordaje elegido para ello, así como el nivel de pormenorización, pueden variar considerablemente: un modelo es tanto una representación mental implícita de ciertos fenómenos como una representación rigurosa, basada exclusivamente en hechos, datos cuantitativos y en la lógica. En la era moderna, la correlación y la globalización de las acciones y los asuntos de la humanidad son cada vez más evidentes, aunque a menudo las consecuencias sean desconocidas. Este hecho, junto con la cada vez más marcada y creciente capacidad tecnológica en el campo de la informática y las ciencias relacionadas con ella, explica el porqué del incremento de la creación y uso de modelos informáticos tanto para la investigación como para la puesta a punto de estrategias políticas.

También en el campo de la evaluación de la sostenibilidad asistimos a un continuo incremento de la producción y uso de modelos informáticos. La ventaja principal consiste en el hecho de que de esta forma se pueden manejar simultáneamente enormes cantidades de datos ambientales, económicos y sociales, y pueden realizarse rápidamente

cálculos complejos, tanto para evaluar situaciones actuales como para efectuar proyecciones en el ámbito de escenarios alternativos.

El proceso operativo de un modelo genérico puede representarse como en la Figura 2.5., mediante los *inputs*, los *outputs*, los factores externos y la estructura interna.

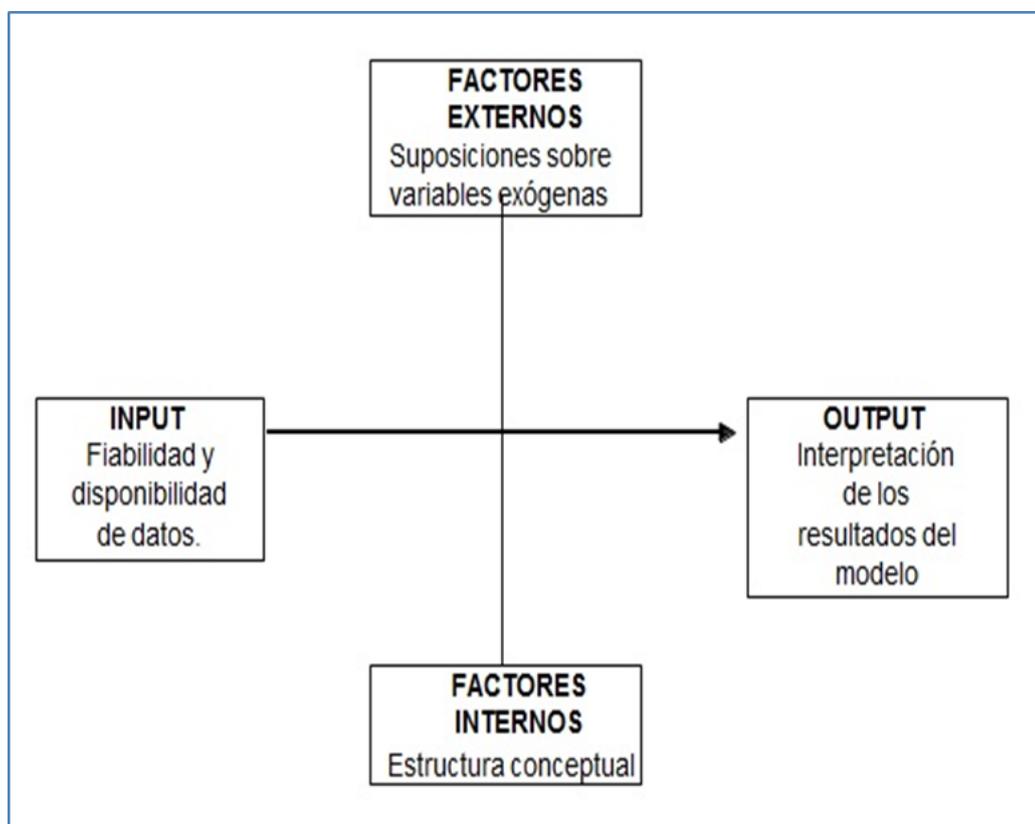


Figura 2.5. Representación de un modelo genérico
Fuente: adaptado de Roy (1996)

Para garantizar la máxima calidad posible en los procesos de modelización, es importante sopesar detenidamente algunos aspectos:

1. Múltiples modelos.

Para cada problema que hay que analizar a menudo hay varios modelos disponibles, cada uno de los cuales aborda el mismo problema con enfoques completamente distintos. Por tanto, es preciso elegir.

2. Características del modelo.

Cada modelo posee unas características peculiares que lo hacen más o menos útil en situaciones particulares. Frecuentemente estas diferencias están relacionadas con la cantidad y la calidad de los datos solicitados. Por tanto, este aspecto debe tenerse en cuenta cuidadosamente.

3. Elección del modelo.

En condiciones ideales, el técnico vería todos los modelos disponibles y elegiría el modelo que se adaptara mejor al análisis a realizar, pero lo que pasa es que raramente la elección de un modelo es un proceso ideal. El caso típico es que el técnico elige el modelo que conoce mejor, no solo porque sopesar las diferentes opciones es costoso en cuanto a tiempo y recursos financieros, sino también porque se plantea el problema de la formación en el uso de los nuevos modelos, que afecta a todo el grupo de trabajo implicado. Sin embargo, cabe subrayar que es verdaderamente arriesgado utilizar un modelo inadecuado a la situación que se está estudiando. El riesgo de obtener resultados inexactos aumenta considerablemente.

4. Elección de los parámetros a introducir en el modelo.

Incluso una elección óptima del modelo, que lleve al uso del más adecuado para la situación específica que hay que analizar, puede ser insuficiente para garantizar la eficacia del análisis y la validez de los resultados si no se seleccionan cuidadosamente los parámetros de input para el modelo. Los datos empíricos son el mejor input para los modelos informáticos.

La evaluación en el sector ambiental, y concretamente en el estudio de las relaciones entre el medio ambiente y las demás dimensiones del desarrollo sostenible, es decir, la económica y la social, amplía inevitablemente su campo de acción de la esfera privada a la pública, no solo porque la salvaguardia de los recursos ambientales es cada vez más un interés de la colectividad, sino también porque hoy en día se suceden incesantemente medidas políticas que intervienen directamente en las relaciones entre la economía, los aspectos sociales y el medio ambiente, con la participación de los organismos públicos designados y con implicaciones sociales cada vez más profundas. Naturalmente, si los modelos deben constituir un punto de referencia importante de las evaluaciones en este sector, todo lo dicho afecta directamente a las relaciones entre los propios modelos y el contexto social y político. Por tanto, cabe hacerse dos preguntas: en primer lugar, ¿cuántas son las experiencias reales en el uso de modelos en la aplicación de políticas particulares? y, en segundo lugar, ¿cuál es la influencia del contexto social y político en la puesta a punto y el uso de los modelos, así como en la evaluación?

Roy (1996), por ejemplo, ve una clara relación entre modelos y apoyo a las decisiones públicas, definiendo el apoyo a las decisiones como “la actividad de quien, mediante el uso de modelos explícitos, pero no necesariamente formalizados completamente, ayuda a obtener elementos para responder a las preguntas que se plantean en un proceso de decisión”. Así, los resultados de un modelo pueden desempeñar la función de input para las estrategias políticas, pero a su vez los resultados de las estrategias políticas pueden jugar un papel importante en la definición de los problemas a tratar y, de este modo, convertirse en inputs para los propios modelos (Figura 2.6).

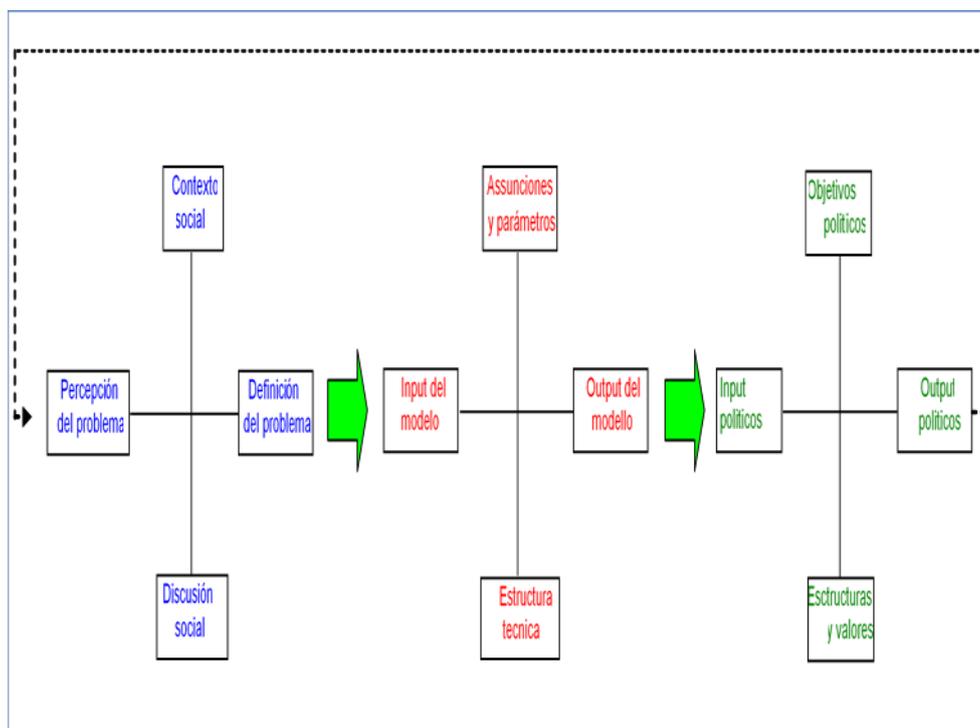


Figura 2.6. Contexto político de los modelos
Fuente: adaptado de Roy (1996)

El punto de llegada, la máxima expresión de un modelo de evaluación de la sostenibilidad, debería permitir la evaluación integrada de los aspectos sociales, culturales, económicos, políticos, tecnológicos y ambientales, a nivel de productos, proyectos, programas y políticas individuales. Sin embargo, los modelos de este tipo son difíciles de realizar y el riesgo de cometer errores es muy elevado. En cambio, son más seguros, más fáciles de realizar y fáciles de encontrar en el mercado los modelos que analizan algunos aspectos críticos de las relaciones entre las actividades humanas y el medio ambiente, que se integran luego en una fase sucesiva con otros resultados obtenidos con otros instrumentos.

En la historia de los modelos, uno de los más complejos en el campo ambiental ha sido sin lugar a dudas *World 3*, que proporcionó los resultados para las consideraciones y proyecciones contenidas en el famoso libro *Los límites del crecimiento*, fruto de un estudio que llevó a cabo en 1971 el *System Dynamics Group* del *MIT* por encargo del Club de Roma, cuya finalidad consistía en simular en un modelo matemático global informatizado las tendencias e interacciones de cierto número de factores de los que depende el destino del conjunto de la sociedad: el aumento de población, los alimentos disponibles, las reservas y el consumo de materias primas, el desarrollo industrial y la contaminación. Veinte años después de aquel primer informe, los autores reformularon sus ecuaciones y volvieron a recorrer el camino con *World 3* para examinar las nuevas interacciones entre los distintos elementos enumerados con anterioridad, para verificar hasta qué punto y por qué se había desviado de la realidad el primer modelo. De esta idea nació el libro

Más allá de los límites del crecimiento (Meadows et al., 1993). En referencia a ese modelo, Van de Walle (1975) concluyó que “cuando un modelo ha alcanzado la perfección formal de *World 3*, y cuando para presentar su metodología a un nivel inteligible de detalle se han dedicado tanto empeño y capacidad, no se pueden rechazar sus conclusiones sin recurrir a métodos análogos y sin plantear nuevas preguntas a las que responder con nuevos modelos”.

Por tanto, los modelos, sobre todo los informáticos, pueden ser instrumentos verdaderamente eficaces para analizar las relaciones entre actividades humanas y medio ambiente si se eligen atentamente y los datos de *input* se seleccionan cuidadosamente. Los tomadores públicos de decisiones deberían participar más en el proceso de modelización y contribuir a la elección de los modelos más apropiados, manifestando claramente sus prioridades.

En resumen, como afirmaba Roy (1985), “el apoyo a la decisión es la actividad de quien, tomando como referencia modelos claramente explícitos pero no necesariamente formalizados por completo, ayuda a obtener elementos de respuesta a las preguntas que se plantea una persona que interviene en un proceso de decisión, elementos que contribuyen a aclarar la decisión y, en general, a prescribir, o simplemente favorecer, un comportamiento orientado a aumentar la coherencia entre la evolución del proceso, por una parte, y los objetivos y el sistema de valores de la propia persona, por la otra”.

CAPÍTULO 3

Definición de un modelo de Sistema Multicriterio y Espacial de Apoyo a la Toma de Decisiones (*MCSDSS*) para la evaluación territorial de la sostenibilidad

Capítulo 3. Definición de un modelo de Sistema Multicriterio y Espacial de Apoyo a la Toma de Decisiones (MCSDSS) para la evaluación territorial de la sostenibilidad

Este capítulo comienza con la explicación del papel que tanto el Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA) como los Sistemas de Información Geográfica (GIS) tienen en la evaluación territorial de la sostenibilidad y como se pueden integrar ambos en un modelo de Sistema Multicriterio y Espacial de Apoyo a la Toma de Decisiones (MCSDSS). Finalmente se define un modelo MCSDSS, denominado *GeoUmbriaSuit*, que va a constituir la herramienta utilizada para realizar la evaluación territorial de la sostenibilidad.

3.1. El papel del Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA) en la evaluación territorial de la sostenibilidad

La necesidad de simplificar los procedimientos de evaluación y abreviar la duración del proceso de toma de decisiones, junto con la tendencia -antes predominante y que de todas formas sigue siendo la preferida aún hoy- a expresar en términos monetarios los resultados del proceso de evaluación, son dos de las razones por las que muchos modelos de evaluación se basan en la agregación de las consecuencias derivadas de una acción de desarrollo en un solo criterio. Análisis de este tipo, que podríamos definir como monocriterio, conllevan la explicación y valoración de cada acción en términos de un criterio predefinido, como por ejemplo el beneficio económico. Un abordaje de este tipo ha funcionado y funciona bien cuando nos hallamos ante problemas sencillos o que, en todo caso,

pueden representarse bien mediante un solo criterio, por otra parte, elegido a priori. En efecto, al actuar de esta manera se obtiene una simplificación del proceso, pero en el sentido de que los aspectos que difícilmente pueden incluirse en el sistema de representación empleado quedan excluidos, con menoscabo de la precisión y la exhaustividad.

Un problema complejo no puede resolverse simplificando el procedimiento o reduciendo la complejidad por exclusión de los aspectos considerados menos relevantes o de difícil consideración. Al revés, es preciso emplear sistemas de evaluación capaces de tomar en consideración todos los elementos en juego; cada uno según sus peculiaridades y características, el papel que desempeña y la aportación que da al efecto de conjunto. Un solo criterio no posee por sí solo los requisitos propios de un grupo coherente de criterios de evaluación: inteligibilidad, aceptabilidad y exhaustividad. Tal como dijo Raiffa (1969), “si una cosa se considera válida en términos absolutos, ciertamente lo es por más de una razón”.

Para ello, los *MCDA* permiten afrontar problemas complejos evaluando todas las variables involucradas, una por una, pero de forma integrada, atribuyéndole a cada una de ellas su importancia relativa. Los análisis multicriterio se emplean para resolver problemas complejos, evaluando diversas alternativas, evaluando varios aspectos y asignándole una importancia específica a cada uno de ellos (Boggia y Cortina, 2010).

Las bases del *MCDA* se encuentran en el ámbito de diferentes campos, como la investigación operativa, la teoría de las organizaciones y la teoría social de las decisiones. En general, el *MCDA* es un instrumento de apoyo a

las decisiones cuyo ámbito de aplicación también es muy amplio. Esto significa que no proporciona soluciones absolutas, sino que apoya precisamente a quien toma las decisiones en sus elecciones, proporcionándole claves de lectura para problemas de no inmediata solución. Luego será siempre, en todos los casos, el tomador de decisiones quien concluya el proceso y tome la decisión, sin someterse de forma pasiva a la elección metodológica.

Los métodos de evaluación multicriterio permiten afrontar evaluaciones comparadas y clasificar una serie de alternativas utilizando un conjunto de reglas para la toma de decisiones. Evidentemente, los resultados que se pueden alcanzar serán diferentes según sean comparables los parámetros involucrados, lo que está estrechamente vinculado a las relaciones de preferencia y a cuatro situaciones básicas posibles:

1. Indiferencia.

Existen razones claras y precisas que justifican la equivalencia entre dos situaciones.

2. Preferencia estricta.

Existen razones claras y precisas que justifican la preferencia neta de una situación frente a la otra.

3. Preferencia débil.

No existen razones claras y precisas que justifiquen la preferencia neta, pero tampoco la indiferencia.

4. Incomparabilidad.

No existen razones claras y precisas que justifiquen ninguna de las tres relaciones anteriores.

En función de las relaciones existentes entre los distintos criterios considerados en el análisis, y de la estructura global de las preferencias, como resultados finales del proceso de evaluación se pueden alcanzar las siguientes situaciones:

- a. Ordenamiento completo: $A > B > C > D$.
- b. Identificación de la mejor alternativa: $A > (B, C, D)$.
- c. Identificación de un grupo de alternativas aceptables: $(A, B, C) > D$.
- d. Definición de clasificaciones incompletas, no absolutas; como por ejemplo $(A, B) > (C, D)$.
- e. Simple presentación de las alternativas.

Los resultados que pueden conseguirse varían en función del método de evaluación que se decida utilizar. Los elementos de un método de evaluación son las reglas de decisión (DR), el conjunto (X) de alternativas (x), y el conjunto de reglas (f_1, f_j) mediante las cuales se evalúa cada atributo para una alternativa x dada. Un método de evaluación puede escribirse formalmente como sigue:

$$\underset{x \in X}{DR} \quad [f_1(x), \dots, f_j(x)]$$

Los métodos de evaluación difieren entre sí por el tipo de regla que se aplica en la toma de decisiones, las características del conjunto de alternativas que pueden manejar y el conjunto de reglas empleadas para evaluar los atributos. La Figura 3.1 esquematiza los *inputs* y el *output* de un proceso de evaluación multicriterio.

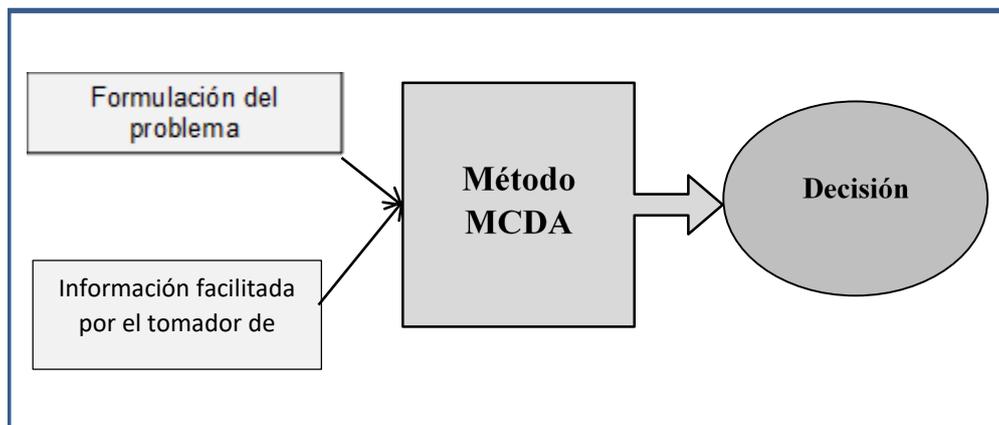


Figura 3.1. Esquematación del proceso de evaluación multicriterio

Fuente: elaboración propia

Dado que la sostenibilidad es un concepto multidimensional, en el que deben considerarse simultáneamente los aspectos económicos, sociales y ambientales, el instrumento apropiado para medirla de acuerdo con una representación multidimensional es un conjunto adecuado de indicadores que debe formar parte integral de una metodología de evaluación (Ness et al., 2007; Moffat et al., 2001).

El análisis de decisión multicriterio (*MCDA*) es una de estas metodologías (Cinelli et al., 2014) y ha sido señalado como uno de los instrumentos más apropiados para evaluar la sostenibilidad (Munda, 2005; Bond et al., 2012), ya que su naturaleza intrínseca consiste en tratar los procesos de evaluación multidimensional.

De todo lo expuesto hasta ahora se deduce claramente que el enfoque económico-ecológico se presta especialmente bien a la interpretación y evaluación de los numerosos aspectos involucrados. Por otra parte, incluso en presencia de un camino teórico básico trazado de forma satisfactoria, a efectos de la evaluación siempre es necesaria la formalización en un método

operativo. El enfoque económico-ecológico, aunque con diferentes versiones, se basa en el reconocimiento de la complejidad, abandonando así los rígidos esquemas de simplificación que proponía la economía neoclásica.

En este espíritu, los procedimientos de evaluación deben adquirir la capacidad de interpretar y cuantificar una multitud de aspectos. La necesidad de establecer una relación entre las valoraciones económico-estimativas con las valoraciones procedentes de otros puntos de vista, como el biológico, ecológico o social, ha llevado a definir el valor complejo, que en el caso de recursos de interés público adopta el nombre de valor social complejo. El valor social complejo representa un paradigma opuesto al del valor económico total pero que, a diferencia de este último, aún no tiene un desarrollo teórico y aplicativo suficientemente articulado, debido sin duda a su reciente formulación.

Zeleny (1993), Njikamp y Voogd (1989) y Fusco (1993), son los estudiosos que han tratado más a fondo el análisis del valor social complejo. Para Fusco (1993), “el valor social complejo resalta en particular la multidimensionalidad del proceso de evaluación...”. Precisamente en el valor social complejo se funda la estimación multidimensional, que quiere considerar en el proceso de evaluación el conjunto de todos los valores que coexisten en un recurso, que son múltiples y heterogéneos.

De este modo, la evaluación ya no se basa únicamente en el indicador monetario, sino en un conjunto de indicadores, algunos de ellos económicos y otros no monetarios. He aquí por qué las metodologías de evaluación multicriterio adquieren un papel protagonista en la estimación

multidimensional. La evaluación se lleva a cabo en base a varios atributos, pero el resultado final no se expresa en términos monetarios. Los análisis multicriterio permiten afrontar problemas complejos evaluando todas las variables involucradas, una por una, pero de forma integrada, atribuyéndole a cada una de ellas su importancia relativa. Según Roy (1996), “un análisis multicriterio se diferencia de un análisis de criterio único en el hecho de que tiende a hacer explícita una familia coherente de criterios, que servirá como herramienta de comunicación inteligible, aceptable y exhaustiva, para permitir la concepción, justificación y transformación de las preferencias dentro de un proceso de toma de decisiones”.

El uso de un procedimiento de evaluación multicriterio permite, pues, examinar un problema desde varios puntos de vista al mismo tiempo; por lo tanto, desde el punto de vista económico, social y ambiental también, tal y como requiere la idea misma de sostenibilidad de una actuación. Este tipo de evaluaciones se adapta a todo tipo de contextos: desde la evaluación de proyectos a la de productos o políticas de planificación.

Así pues, el *MCDA* también puede utilizarse para la evaluación territorial, es decir, no específica de un solo elemento, sino de un conjunto de elementos y situaciones relacionadas entre sí en un espacio físico determinado, precisamente por la capacidad de evaluar conjuntamente y de forma integrada aspectos heterogéneos y de manejar la complejidad.

Como veremos posteriormente, la integración con los *GIS* resalta esta capacidad y convierte la *MCDA* en un método realmente válido para evaluar la sostenibilidad a nivel territorial.

3.2. El papel de los Sistemas de Información Geográfica (GIS) en la evaluación territorial de la sostenibilidad

En primer lugar, es conveniente proporcionar una definición de las materias y metodologías empleadas en los análisis espaciales en los cuales se emplean los denominados Sistemas de Información Geográfica (*Geographical Information Systems, GIS*). Los *GIS* están incluidos en el ámbito de la Geomática, que es la materia que estudia el abordaje sistémico, integrado y multidisciplinar para seleccionar los instrumentos y técnicas apropiadas para adquirir, integrar, tratar, analizar, archivar y distribuir datos espaciales georreferenciados con continuidad en formato digital. Además de los *GIS*, otros instrumentos que forman parte de la Geomática son, por ejemplo, la cartografía numérica y el Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System o GPS*).

El *software* puede ser de varios tipos según el tipo de datos procesados, aunque la tendencia consiste en tener un *software* que admita varios tipos de datos. Dependiendo de la propiedad de la licencia, se puede tener un *software* privado (de pago) o libre (descarga gratuita) o de código fuente abierto, que es siempre de descarga gratuita pero que puede ser modificado por el usuario, que por tanto puede adaptarlo y mejorarlo con arreglo a sus necesidades.

Un *GIS* puede comprender una gran variedad de herramientas de *software* y *hardware*. El factor importante es el nivel de integración de estas herramientas para proporcionar un entorno geográfico de elaboración de datos completamente funcional.

Además, la capacidad de incorporar datos espaciales, manejarlos, analizarlos y responder a las preguntas “espaciales” es la característica que distingue a los *GIS*. De este modo, un *GIS* está formado por los siguientes componentes:

- **Bases de datos.**
Comprenden los datos geográficos y la información alfanumérica asociada a los mismos. Los datos constan de una parte geométrica y una parte descriptiva, que se visualiza como un dato tabulado (la tabla de atributos). Los datos se representan en forma de vectores (puntos, líneas o polígonos) o matrices de píxeles (datos *raster*). La información homogénea se recopila en capas llamadas *layers*. Las dos tipologías de datos coexisten y se complementan entre sí.
- **Software.**
Proporciona las herramientas y funciones para activar las operaciones de elaboración y cálculo necesarias para memorizar, analizar los datos y visualizar la información geográfica.
- **Hardware.**
Las estaciones de trabajo, periféricas, servidores y demás dispositivos a través de los que opera el *GIS*.
- **Personal.**
Equipo de profesionales cuyo cometido consiste en definir métodos y modelos de análisis.
- **Metodologías.**
Métodos de análisis y evaluación del territorio basados en las herramientas informáticas y de información de tipo geográfico.

Los datos se elaboran utilizando relaciones espaciales de continuidad, contigüidad y proximidad, que son la base de las metodologías empleadas en los *GIS*, que utilizan relaciones basadas en las propiedades topológicas, matemáticas y de conjuntos asociadas a cada dato. La combinación de los atributos referidos a las entidades espaciales originales permite obtener nueva información.

Los principales análisis que se realizan a partir de datos espaciales son los siguientes:

- *Overlay mapping*, que permite obtener nuevas áreas de la intersección de niveles temáticos básicos.
- Análisis de proximidad.
- Búsqueda de tendencias.
- Predisposición de escenarios.
- Modelos espaciales.

Los datos elaborados por los *GIS* se presentan en forma de mapas que permiten visualizar los datos espaciales georreferenciados así obtenidos. Estos instrumentos tienen la característica de poder interconectarse para el intercambio mutuo de información.

Entre los primeros ejemplos de *software GIS* está *GRASS*, creado por el ejército estadounidense en torno a los años 90. En la actualidad es el más potente por la cantidad de módulos en que se apoya.

Otra herramienta muy válida es *Quantum GIS (QGIS)*, *software* que puede descargarse fácilmente de la red, que al ser de código fuente abierto es convenientemente modificable por parte de usuarios expertos. *QGIS*

posee una estructura modular que se interconecta con otros tipos de *software*, lo que permite procesar una gran cantidad de datos diferentes, integrarlos y representarlos en forma de mapas.

Antes de la modularidad, los *GIS* eran herramientas solo para expertos, pero ahora se están expandiendo y mejorando también desde el punto de vista metodológico; gracias, entre otras cosas, a la aportación de los usuarios que permiten actualizar y resolver los problemas (errores) continuamente.

En el ámbito territorial y ambiental los *GIS* tienen una multitud de aplicaciones:

- Gestionar y planificar el territorio rural y el paisaje.
- Realizar evaluaciones ambientales y paisajísticas.
- Analizar y evaluar los sistemas agroforestales.
- Aplicar los modelos multicriterio para el análisis de los fenómenos agroambientales.
- Crear mapas de riesgo sísmico, hidrogeológico y de incendios
- Procurar el seguimiento, control y construcción de mapas de riesgo de desprendimientos de tierras
- Analizar, evaluar y apoyar la gestión de áreas naturales.

En definitiva, los *GIS* facilitan una evaluación a nivel territorial de un bien y/o una o varias actividades humanas a efectos de su clasificación y medición para elaborar las estrategias de gestión, basándose tanto en las características físicas intrínsecas del bien o la actividad en sí, como en su ubicación espacial. La evaluación a nivel territorial permite responder a

preguntas como, por ejemplo, ¿cómo ubicar una carretera?, ¿cuál es la mejor configuración para darle a una zona en expansión? o ¿cómo situar los límites de un parque?

Los *GIS* representan un sistema de apoyo de las decisiones de tipo espacial para un usuario o grupo de usuarios, que reciben apoyo en un proceso de toma de decisiones definido espacialmente. Quien toma las decisiones puede ser un sujeto físico o abstracto al que le corresponde decidir sobre una cuestión determinada. Los *GIS* permiten cotejar diferentes alternativas que contemplen todas las variables ambientales, económicas y sociales, o al menos las que se consideren más importantes a efectos de un proyecto determinado.

El aumento del potencial de cálculo de los últimos años, debido a la evolución tecnológica y a las técnicas de análisis *GIS*, y la disponibilidad de licencias, que permiten una accesibilidad cada vez mayor, lo que hace posible la lectura del código del *software*, permiten que la planificación de por sí resulte transparente desde el punto de vista del cálculo. Además, justifica la toma de una decisión en lugar de otra, ya que hace que los procesos sean reiterables por parte de cualquiera que posea conocimientos básicos de *GIS* y planificación.

Según Malczewski (1999), un Sistema Espacial (geográfico) de Apoyo a las Decisiones podría definirse como “un sistema interactivo (basado en ordenador) de apoyo a las decisiones con el que un usuario o grupo de usuarios recibe apoyo eficaz en un proceso de toma de decisiones definido espacialmente”. En este contexto, los *GIS* se consideran como una “base de

datos dedicada” en que la información geográfica representa el elemento principal de almacenamiento y análisis de datos para obtener información de utilidad para el tomador de decisiones.

En conclusión, los *GIS* son herramientas de apoyo para el tomador de decisiones y, siguiendo a Cowe (1988), cabría definir los *GIS* como “un sistema de apoyo a las decisiones que integra datos espaciales para solucionar un problema relacionado con la toma de decisiones”.

3.3. La integración del *MCDA* y los *GIS* en un Sistema Multicriterio y Espacial de Apoyo a la Toma de Decisiones (*MCSDSS*) para la evaluación territorial de la sostenibilidad

Los problemas de decisión espacial a nivel territorial requieren que se evalúe un gran número de alternativas en base a varios criterios (Silva et al., 2014), por lo que una posible solución deriva de la integración de un sistema de información geográfica (*GIS*) y un método de apoyo a la toma de decisiones basado en múltiples criterios (*MCDA*) (Malczewski, 2006, 2010). Esta integración se conoce como Sistema Multicriterio y Espacial de Apoyo a la Toma de Decisiones (*Multiple Criteria Spatial Decision Support Systems, MCSDSS*) (Sugumaran y DeGroot, 2011).

En los últimos veinte años los *MCSDSS* se han utilizado en muchos campos de investigación, como subraya Malczewski (2006). Los *MCSDSS* conectan conceptos y métodos de *GIS* y *MCDA*, facilitando nuevas formas de abordar los problemas de la toma de decisiones (Malczewski y Rinner, 2015), porque un *MCSDSS* es una herramienta de apoyo a la toma de

decisiones que hace posible combinar los datos geográficos y las preferencias de los formuladores de políticas, de manera que se presente información específica para una decisión (Greene et al., 2010; Bottero et al., 2013).

En particular, la aplicación de un *MCSDDS* para abordar los problemas ligados a la toma de decisiones en la planificación territorial puede aportar los siguientes beneficios:

- Uso de herramientas analíticas apropiadas para la participación directa de las personas en un proceso de planificación espacial colaborativa (Jelokhani-Niaraki y Malczewski, 2015a).
- Posibilidad de estructurar y evaluar el problema de la toma de decisiones en base a una serie de criterios de evaluación que están sujetos a una escala de prioridades cuantitativa según una regla específica de decisión (Massei et al., 2014).
- Clasificar una serie de alternativas en base a su importancia relativa a la hora de cumplir el objetivo del análisis (Demesouka et al., 2013).
- Los mapas GIS ayudan a las partes interesadas a alcanzar un consenso en ciertos tipos de conflictos (Ozawa, 1999) usando un lenguaje visual fácil de explicar y comprender (Haertsch y Smith, 2012; Jelokhani-Niaraki y Malczewski, 2015b).
- Identificación de las potencialidades de desarrollo de los municipios rurales (Boggia et al., 2014).

La integración en un *MCSDDS* de *MCDA* con *GIS* puede clasificarse de acuerdo con un sistema de tres niveles:

1. Integración indirecta.

Los dos instrumentos están separados, pero se conectan mediante un sistema intermedio.

2. *MCDA* y *GIS* incorporados.

Los modelos multicriterio se insertan como componentes integrados en el sistema geográfico, aunque siguen siendo independientes tanto desde un punto de vista lógico como funcional.

3. Integración completa de los dos sistemas.

Utilizan la misma interfaz y la misma base de datos, por lo que se logra una verdadera eficiencia aplicativa. En este caso, el modelo o modelos *MCDA* se activan dentro del *software GIS* y se convierten en una de sus muchas funciones.

Las aplicaciones concretas de la integración *MCDA* y *GIS* en un *MCSDDS* han aumentado de manera significativa en los últimos veinte años. Este aumento no es sorprendente, debido a la naturaleza interior múltiple y conflictiva del análisis espacial. En el caso de análisis de sostenibilidad esto es especialmente cierto, porque los objetivos ambientales, sociales y económicos influyen en los resultados finales.

La gestión y planificación sostenible del territorio se benefician considerablemente de la integración *MCDA* y *GIS* en los *MCSDDS*. Así, varios autores se han concentrado en la utilidad de la aplicación en la

planificación urbana (Banai, 2005; Kropp y Lein, 2013; Lombardi y Ferretti, 2015). Por su parte, Banai (2005) ha destacado cómo se abordan la incertidumbre y las múltiples prioridades políticas y necesidades de las comunidades locales en las decisiones de planificación urbana. En este contexto, el sistema de apoyo a las decisiones espaciales facilita la decisión política proactiva y colectiva de los recursos territoriales para el futuro desarrollo urbano sostenible (Banai, 2005; Kropp y Lein, 2013). Por su parte, Lombardi y Ferretti (2015) mostraron la importancia de los procesos colaborativos e inclusivos en la planificación urbana y la aportación de la integración *MCDA* y *GIS*. La gestión sostenible y planificación de bosques (Sheppard, 2005; Store, 2009), de las cuencas hidrográficas (Macleod et al., 2007; Prato y Herath, 2007; Kang y Lee, 2011) y de las áreas ecológicas (White y Fennessy, 2005; Ferretti y Pomarico, 2013) también se han beneficiado de la integración *MCDA* y *GIS*. Sin embargo, aún hay muy pocos ejemplos de aplicaciones relacionadas con la planificación estratégica sostenible (Banai, 2005, Ferretti y Pomarico, 2012, López y Monzón, 2010, Manos et al., 2010 y Ottomano et al., 2016a).

3.4. El modelo *MCSDSS GeoUmbriaSuit* de evaluación territorial de la sostenibilidad

En este apartado se presentan las principales características del modelo *MCSDSS GeoUmbriaSuit* de evaluación territorial de la sostenibilidad. En el siguiente enlace puede descargarse un manual completo del modelo y una guía de instalación: <http://maplab.alwaysdata.net/geoUmbriaSUIT.html>.

GeoUmbriaSuit fue desarrollado, bajo la coordinación de un servidor, por el grupo de investigación Laboratorio Ambiental del Departamento de Ciencias Agrícolas, Alimentarias y Ambientales de la Universidad de Perugia.

Todo el sistema *GeoUmbriaSuit* se realizó en el entorno *GIS* de código abierto muy difundido llamado *QuantumGIS* o *QGIS*. Entre las numerosas funcionalidades existentes para el análisis geográfico, está la posibilidad de desarrollar herramientas para personalizar el *software* mediante la creación de *plugins*. El *plugin* básico es un programa no autónomo que interactúa con otro programa para ampliar o extender sus funcionalidades originales, permitiendo el uso de nuevas funciones que no están presentes en el *software* principal. *GeoUmbriaSuit* se configura de hecho como un *plugin*, escrito en lenguaje *python*, que utiliza las bibliotecas (conjunto de funciones o estructuras de datos) que pone a disposición el propio *QGIS* para llevar a cabo las elaboraciones que requiere el usuario. Además, de efectuar los cálculos previstos por el algoritmo de evaluación, los datos de *input* y *output* pueden manejarse como cualquier otro dato geográfico y el usuario es libre de realizar otros análisis geoestadísticos, operaciones de geoprocesamiento o de elaboración de informes. De hecho, es una integración perfecta de un sistema de análisis multicriterio con el instrumento geográfico. La tipología de dato que trata el *plugin* es el formato vectorial.

El entorno de desarrollo y elaboración, las bibliotecas utilizadas y el repositorio dentro del cual se inserta el *plugin* para la descarga, requieren que la licencia utilizada para el lanzamiento del módulo sea de código

abierto, y concretamente una licencia *GNU GPL version 3*. En este contexto, la elección efectuada por los autores en la fase de diseño se respeta automáticamente como consecuencia de la tecnología y la arquitectura utilizadas en el desarrollo del *plugin*. Esta elección fue dictada por el deseo de llegar al mayor número posible de usuarios y dar la posibilidad de efectuar análisis de sostenibilidad de manera generalizada.

El procedimiento de evaluación de la sostenibilidad utiliza un fichero geográfico como base informativa, como por ejemplo un *shape file*, donde la parte gráfica representa el área de estudio con cada una de las unidades que hay que evaluar (por ejemplo, una nación con cada una de las regiones, o una región con cada uno de los municipios), mientras que la parte alfanumérica, es decir, la tabla de atributos, describe los aspectos ambientales, económicos y sociales de cada unidad territorial mediante un sistema de indicadores seleccionados (Figura 3.2).

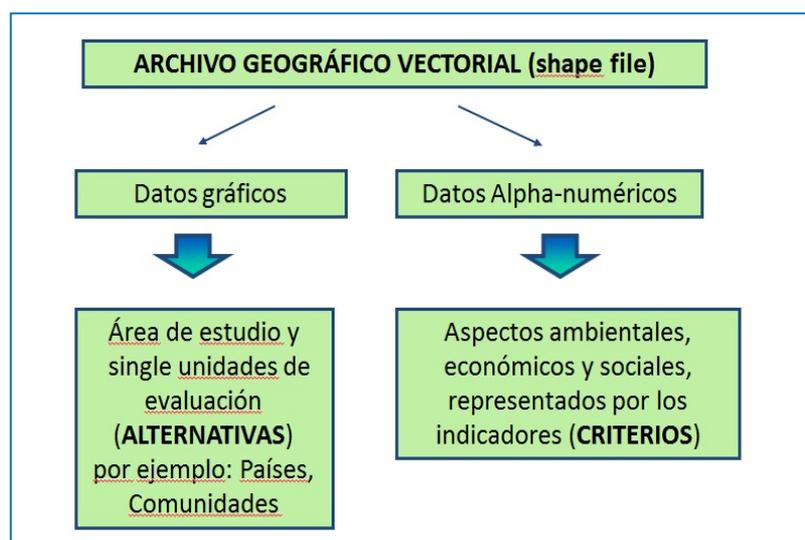


Figura 3.2. Base informativa necesaria para *GeoUmbriaSuit*
Fuente: elaboración propia

En lo tocante a los datos que requiere el funcionamiento de *GeoUmbriaSuit*, se prevé un número limitado de *inputs* por parte del usuario, que consisten en introducir el nombre del archivo de *input*, de *output*, los nombres y los valores de los indicadores y el vector de los pesos empleados en la ponderación. La introducción de los datos es muy sencilla, gracias a la interfaz gráfica que consta de una serie de “máscaras” que aparecen una tras otra y guían al usuario en la introducción de datos (Figuras 3.3 y 3.4).

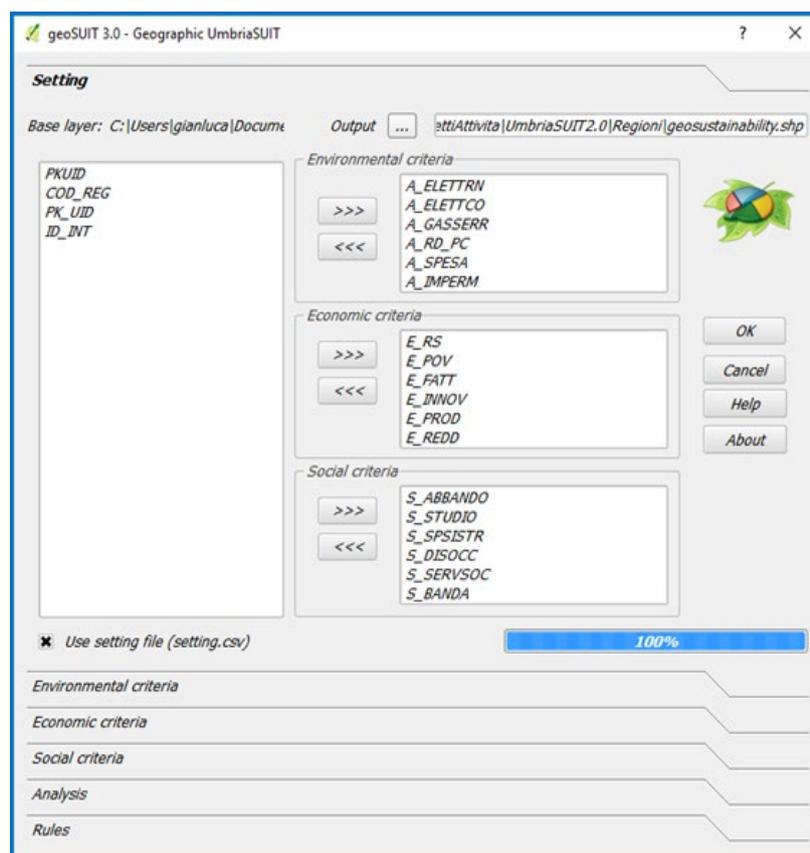


Figura 3.3. Pantalla inicial para la introducción de datos
Fuente: captura de pantalla *GeoUmbriaSuit*

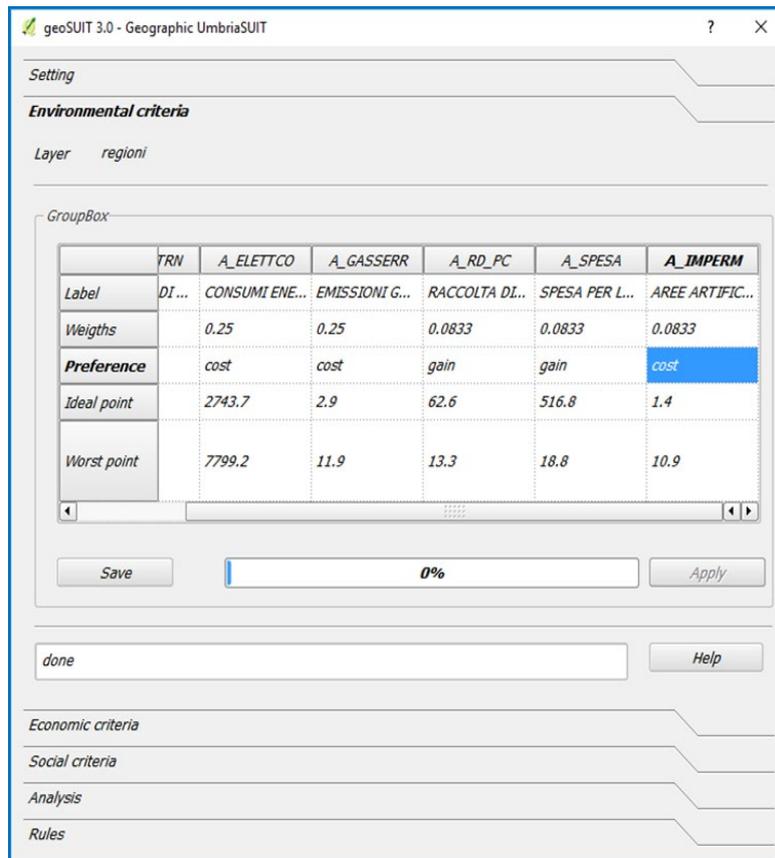


Figura 3.4. Pantalla para la introducción de datos ambientales
Fuente: captura de pantalla *GeoUmbriaSuit*

El algoritmo multicriterio con el que se agregan entre sí los indicadores que producirán los tres índices finales es el Método *TOPSIS* (o método del Punto Ideal). El Anexo 2 contiene una descripción más pormenorizada del algoritmo. El método *TOPSIS* permite evaluar un conjunto de alternativas en base a la distancia de estas al punto ideal. En particular, el método realiza un ordenamiento basado en varios criterios, estableciendo un objetivo al que apuntar (punto ideal o *ideal point*) y uno del que alejarse (punto peor o *worst point*) para cada criterio de evaluación. El punto ideal representa por tanto una alternativa hipotética

que optimiza el valor de cada criterio, y puede hallarse dentro del rango de indicadores propuesto o fuera de él: el *plugin* permite una absoluta personalización. Si no se indica lo contrario, el valor mayor para cada criterio es el punto ideal, y el valor menor el punto peor o viceversa, dependiendo de si el indicador se considera un coste o una ganancia.

El producto final de las elaboraciones está representado por *outputs* numéricos y tabulados, pero también gráficos y cartográficos (Figura 3.5).

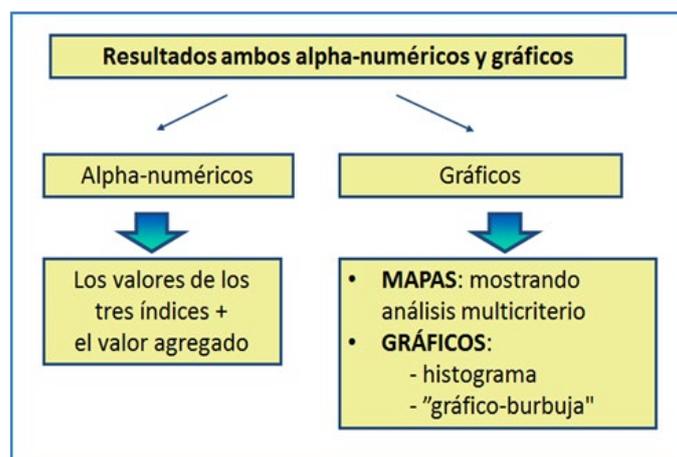


Figura 3.5. *Outputs* de GeoUmbriaSuit
Fuente: elaboración propia

Los outputs numéricos representan los índices de sostenibilidad ambientales, económicos y sociales, así como el índice global eventual, que puede obtenerse ponderando los valores de los tres índices que lo componen. Por asonancia con el método a partir del cual se producen, los índices toman los nombres de EcoIdeal (para sostenibilidad económica), SocIdeal (para sostenibilidad social), EnvIdeal (para sostenibilidad ambiental) y SustIdeal (para sostenibilidad global).

Para construir el índice global, se ha aplicado la metodología de la

suma ponderada, la cual se basa en el cálculo de un valor global para cada región que se obtiene multiplicando cada valor de los atributos por su propio peso y luego sumando los valores ponderados de cada región según la fórmula siguiente:

$$\max_{i=1, \dots, I} \sum_{j=1}^J (w_j \bar{z}_{ji})$$

Los tres índices (Ecoldeal, Envídeal y Socioldeal) se han considerado de igual importancia. Como resultado de la suma ponderada, los valores del índice global ya no se expresan en la escala 0-1. En este caso, cuanto mayor sea el valor, mayor será la sostenibilidad global. En *GeoUmbriaSuit* la ponderación de las tres dimensiones para obtener el índice global se realiza de forma bastante intuitiva, gracias a la presencia de una selección mediante cursor (Figura 3.6).

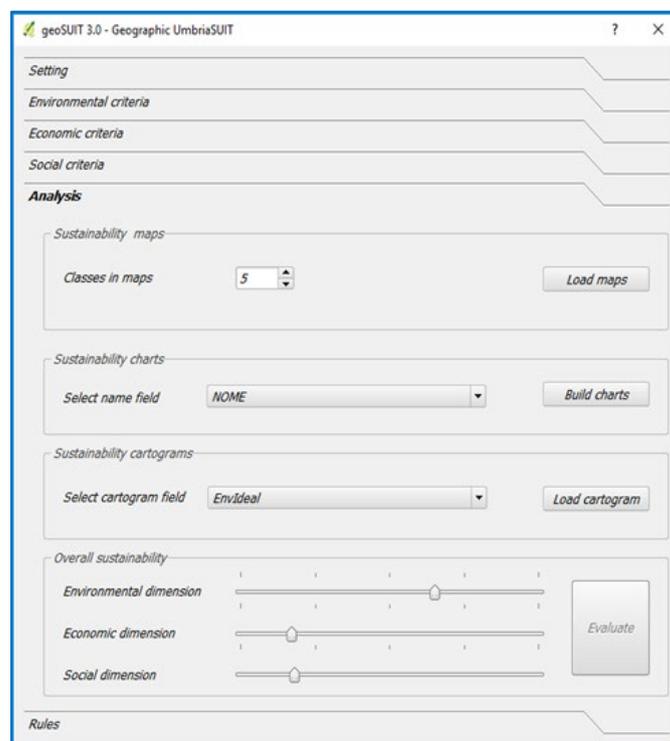


Figura 3.6. Panel de control para construir el índice global
Fuente: captura de pantalla *GeoUmbriaSuit*

Los *outputs* gráficos son representados en las Figuras 3.7, 3.8 y 3.9.

En este primer tipo de gráfico (Figura 3.7), llamado de Barras de Sostenibilidad, los tres índices - económico, ambiental y social - aparecen uno al lado del otro. Por tanto, no hay ninguna compensación entre las tres dimensiones. Las barras no tienen dimensiones y cada una de ellas está escalada entre 0 y 1. Cuanto más alta es la barra, mejor es la prestación de la dimensión correspondiente. Por tanto, esta representación gráfica facilita información sobre el nivel alcanzado por cada unidad territorial para cada una de las tres dimensiones de la sostenibilidad. La dimensión económica está representada en azul, la social en rojo y la ambiental en amarillo. Al pasar con el ratón por encima de una de las barras aparece una etiqueta con el valor del índice.

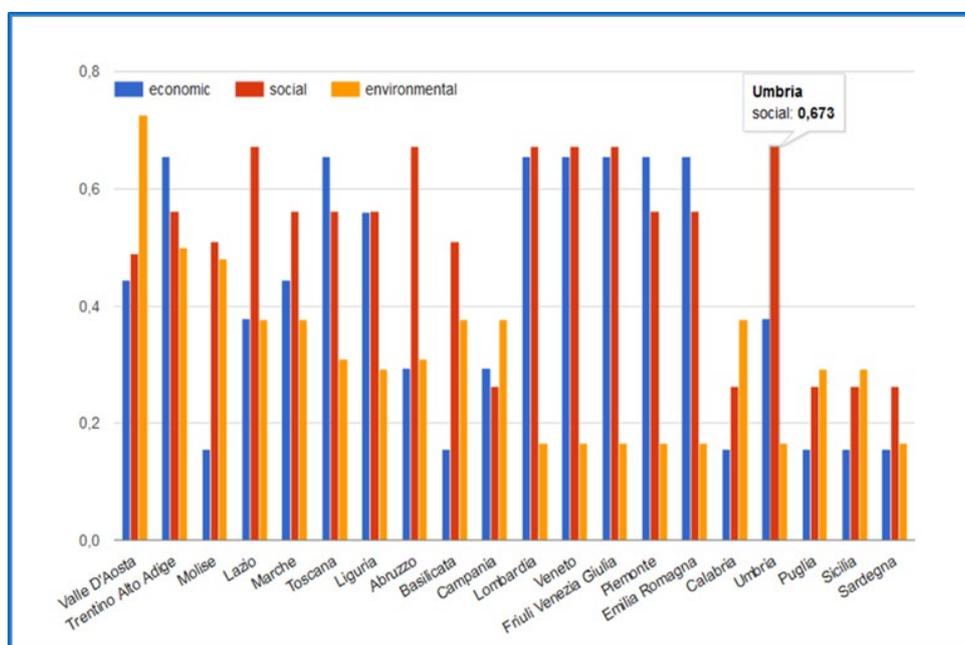


Figura 3.7. Barras de Sostenibilidad
Fuente: output de *GeoUmbriaSuit*

La segunda tipología de gráfica (Figura 3.8), nombrada como Barras Acumuladas de Sostenibilidad, presenta una sola barra para cada unidad territorial, cuya altura total viene dada por la combinación lineal de las tres componentes de la sostenibilidad expresadas mediante los tres índices (ambiental, económico y social). Al pasar con el ratón por encima de una de las barras aparece una etiqueta con el valor del índice. Gracias a este gráfico resulta fácil visualizar la importancia relativa de cada índice en la clasificación final y hasta qué punto una dimensión puede compensar a las otras para alcanzar una posición determinada en la clasificación.

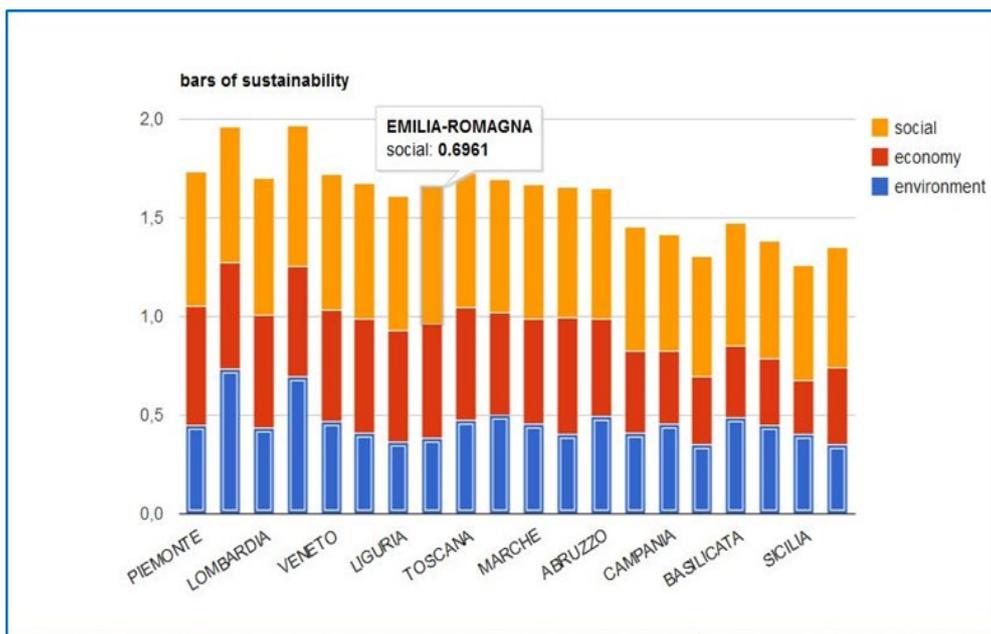


Figura 3.8. Barras Acumuladas de Sostenibilidad
Fuente: *output de GeoUmbriaSuit*

El tercer tipo de gráfico (Figura 3.9), denominado Burbujas de Sostenibilidad, consta de unas “burbujas” cuya posición, tamaño y color facilitan información sobre los índices ambientales, económicos, sociales y

de sostenibilidad. En particular, en las ordenadas aparece el índice de síntesis de los aspectos económicos, en las abscisas el correspondiente a los aspectos ambientales, el tamaño de la burbuja es proporcional al valor del índice de síntesis para los aspectos sociales, mientras que el color expresa la sostenibilidad total, según la clave de lectura facilitada por la barra de color situada en lo alto del gráfico (el rojo muestra un bajo grado de sostenibilidad, mientras que el verde corresponde a un valor alto). Al pasar el ratón por encima de cualquier burbuja se obtienen los valores numéricos de cada componente del gráfico.

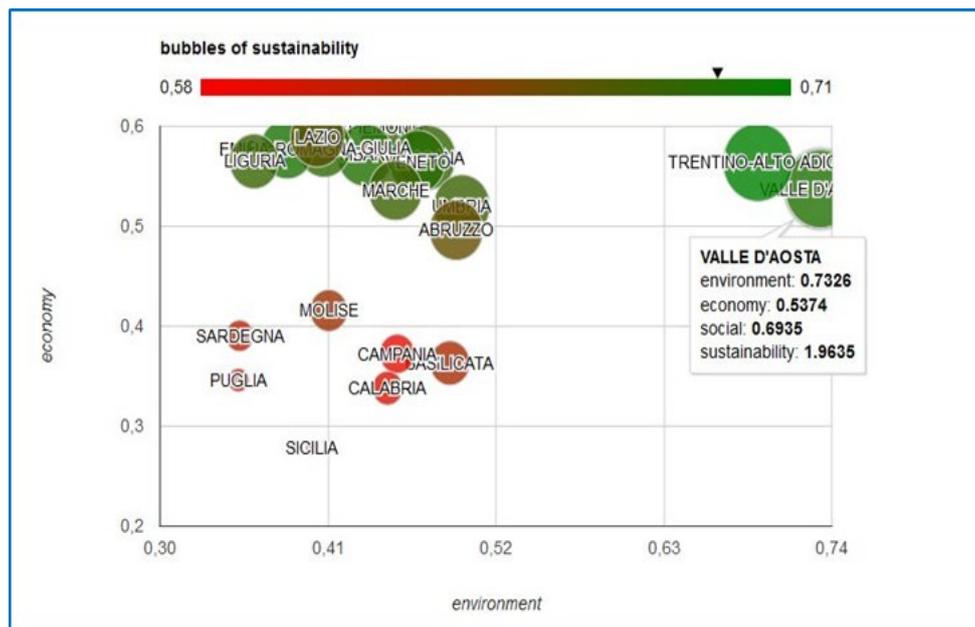


Figura 3.9. Burbujas de Sostenibilidad
Fuente: *output* de *GeoUmbriaSuit*

Por otro lado, los *outputs* cartográficos representan en el espacio los resultados obtenidos. La figura 3.10 representa un ejemplo del mapa correspondiente al índice de sostenibilidad ambiental. El color amarillo

indica un nivel de sostenibilidad ambiental muy bajo, mientras que el color verde oscuro indica un nivel muy alto. Las tonalidades intermedias indican niveles de sostenibilidad intermedios desde el punto de vista ambiental.

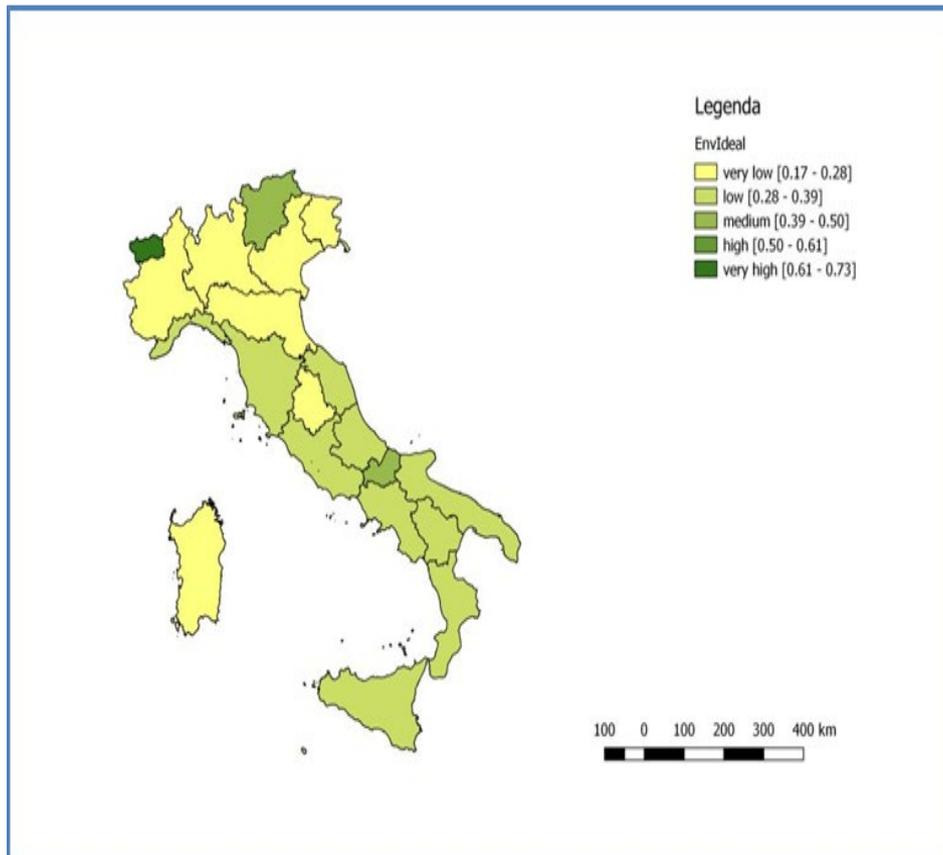


Figura 3.10. Mapa de Índice de Sostenibilidad Ambiental
Fuente: *output de GeoUmbriaSuit*

Se realizan mapas similares para los índices de sostenibilidad social, económica y para global. La Figura 3.11. muestra la visión de conjunto de los cuatro mapas. Arriba a la izquierda aparece el mapa correspondiente al índice de sostenibilidad ambiental (EnvIdeal), y a la derecha el correspondiente a la sostenibilidad económica (Ecoldeal). Abajo a la izquierda está el mapa correspondiente al índice de sostenibilidad social (SocIdeal), y a la derecha el de sostenibilidad global (SustIdeal).

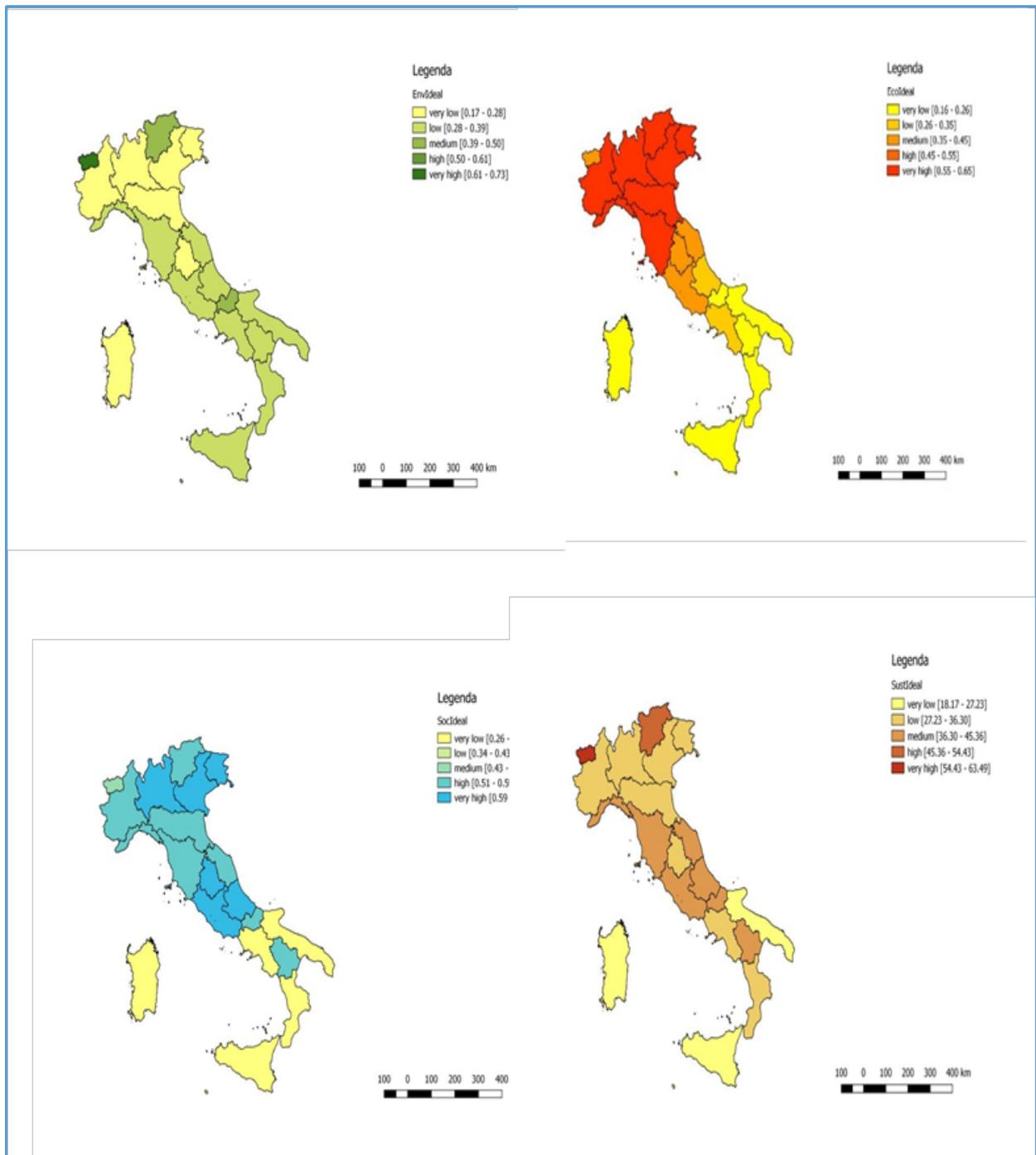


Figura 3.11. Visión de conjunto de los cuatro mapas de la sostenibilidad
Fuente: *output* de *GeoUmbriaSuit*

Otro tipo de *output* cartográfico es el cartograma (Figura 3.12.). Los cartogramas muestran una deformación de las áreas en función de la intensidad del índice y la superficie en que se expresa. Cuanto mayor sea el índice y menor la superficie real, más deformada en exceso resultará esta en el cartograma y viceversa.

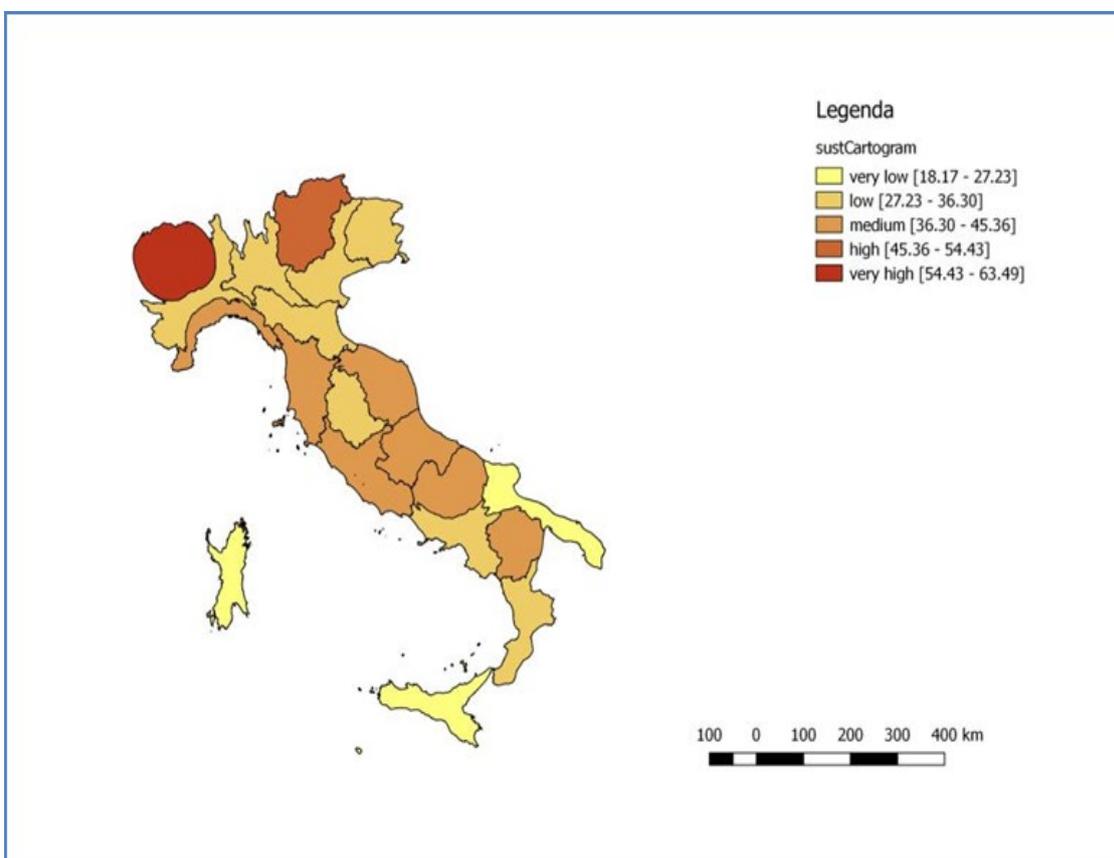


Figura 3.12. Cartograma del Índice Global de Sostenibilidad
Fuente: *output* de *GeoUmbriaSuit*

Muchos modelos existentes que abordan la evaluación de la sostenibilidad presentan la característica de una legibilidad poco transparente. El resultado final de los cálculos de estos modelos casi

siempre está representado por un índice agregado de sostenibilidad, crítico y difícil de interpretar. Este es el problema que suele encontrarse cuando se utilizan herramientas para evaluar un concepto complejo como el de la sostenibilidad, que sintetizan los resultados obtenidos en un solo índice. *GeoUmbriaSuit*, además de calcular los índices económico, ambiental y social por separado, presenta un procedimiento capaz de volver a recorrer las etapas que han llevado al resultado final, revelando qué indicadores y/o etapas del procedimiento han influido en mayor medida en los resultados obtenidos. Ello es posible gracias a la aplicación en el *plugin* del algoritmo *DOMLEM* (Greco et al., 2001b), basado en el enfoque basado en la *Dominance based Rough Set Approach (DRSA)* (Greco et al., 2001a). Mediante el uso de este algoritmo, es posible extraer algunas "reglas para la toma de decisiones", con el fin de garantizar transparencia y rastrear los resultados, remontándose desde la puntuación final hasta los datos de input.

En resumen, las características operativas más destacadas del modelo *MCSDSS GeoUmbriaSuit* son (Boggia et al, 2018):

- El *plugin GeoUmbriaSuit* es gratuito y puede descargarse directamente de la lista de *plugins* que se encuentran dentro del software de código abierto *QGIS*.
- Diseñado específicamente para llevar a cabo la planificación y la política estratégica sostenible.
- Puede utilizarse a cualquier nivel territorial (desde el local al supranacional).

- Puede aplicar ambos conceptos de sostenibilidad fuerte y débil. El usuario elige qué enfoque aplicar.
- Presenta una interfaz muy sencilla, intuitiva y que guía al usuario a la hora de efectuar el análisis; lo cual permite que el modelo funcione fácilmente, incluso para quienes no son expertos en *GIS* o en *MCDA*.
- Lleva incorporado un análisis retrospectivo mediante *DRSA* (Greco et al., 2001a), que permite la trazabilidad y transparencia y evita el concepto de un modelo como una caja negra.
- Al ser de código abierto del modelo (licencia *GNU GPL version 3*) permite el acceso abierto a cualquier persona interesada, por lo que todo el mundo puede descargar, utilizar y mejorar el modelo.

CAPÍTULO 4

**Aplicación del modelo *MCSDSS*
GeoUmbriaSuit al análisis
comparativo de la evaluación
territorial de la sostenibilidad entre las
regiones de Italia y España**

Capítulo 4. Aplicación del modelo *MCSDDS GeoUmbriaSuit* al análisis comparativo de la evaluación territorial de la sostenibilidad entre las regiones de Italia y España

En este capítulo se realiza una aplicación práctica del modelo *MCSDDS GeoUmbriaSuit* a un estudio de caso, concretamente al análisis comparado de la evaluación territorial de la sostenibilidad entre las regiones de Italia y España siguiendo una estructura de clásica de introducción y objetivos, metodología, resultados, discusión y conclusión.

4.1. Introducción y objetivos

Italia y España son países europeos en los que el desarrollo se ha concentrado en algunos “polos urbanos” importantes, dando lugar a distintos niveles de sostenibilidad dentro del país. Geográficamente, para ambos países se ha hablado siempre del “Norte desarrollado” con respecto al “Sur menos desarrollado”. Sin embargo, esto debería confirmarse mediante un análisis completo e integrado de la sostenibilidad más apropiado a nivel territorial, teniendo en cuenta las tres dimensiones, económica, social y ambiental, con el fin de identificar determinados modelos de desarrollo en base a cada dimensión. Una característica fundamental de la evaluación de la sostenibilidad es su capacidad de proporcionarles a los tomadores de decisiones una evaluación de los sistemas tanto a nivel global como local, tomando en consideración varios períodos de referencia temporal, para determinar medidas y acciones a llevar a cabo en un área específica (Ness et al., 2007).

Se comparan diferentes áreas territoriales dentro de cada país; en particular la comparación se realiza entre las 20 regiones oficialmente establecidas en Italia (Figura 4.1.) y las 17 comunidades autónomas instauradas en España (Figura 4.2.). Para simplificar, en adelante también llamaremos "regiones" a las comunidades autónomas.



Figura 4.1. Regiones italianas
Fuente: elaboración propia

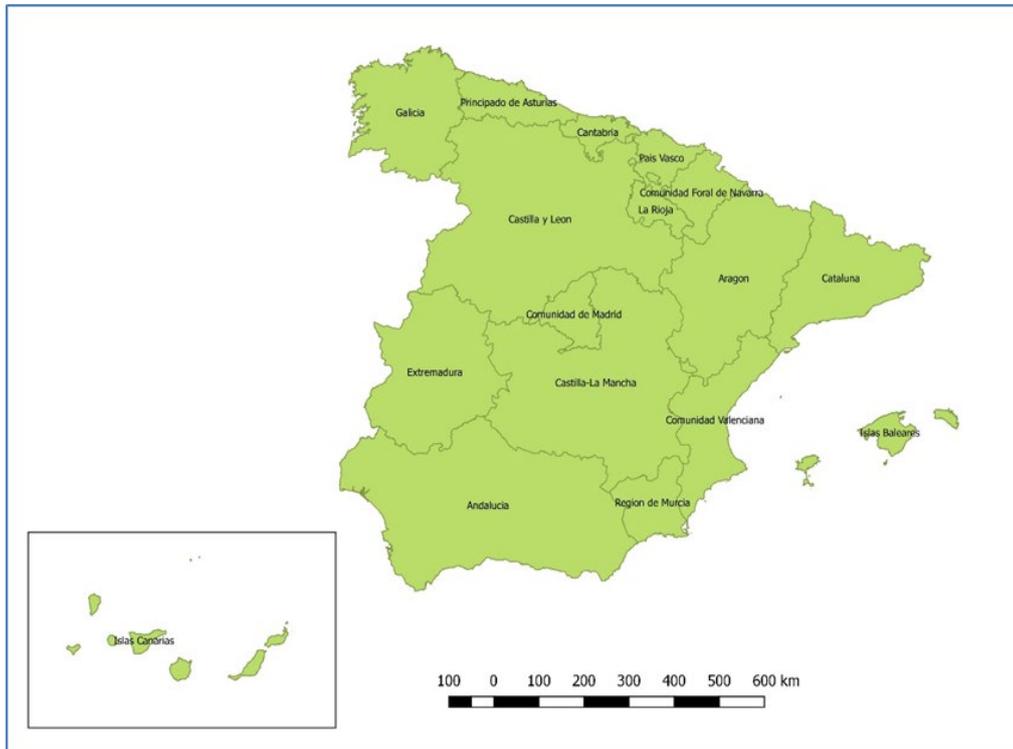


Figura 4.2. Comunidades autónomas españolas
Fuente: elaboración propia

De hecho, aunque es importante estudiar el nivel de sostenibilidad nacional alcanzado, el desarrollo sostenible se considera viable si se origina a nivel local; un abordaje de abajo hacia arriba, del nivel local al supranacional (Ravetz, 2000). Es sabido que la práctica de clasificar los países puede estimular a los responsables de la toma de decisiones a mejorar su posición (Dahl, 2012). En este caso, tanto Italia como España son países mediterráneos, y en algunos casos parecen tener modelos de desarrollo y culturas parecidas.

En consecuencia, el primer objetivo consiste en analizar el nivel de sostenibilidad de los dos países en relación a los objetivos fijados por la Estrategia Europea 2020 (Comisión Europea, 2010) y, a continuación, como

segundo objetivo, hacer una comparación entre las regiones de ambos países para identificar modelos parecidos de sostenibilidad y, por consiguiente, de políticas potenciales.

4.2. Metodología

El modelo *MCSDSS GeoUmbriaSuit* puede utilizarse a nivel local, regional y nacional, para comparar la sostenibilidad de distintas áreas territoriales y en las tres dimensiones de la sostenibilidad que están representadas por una serie específica de indicadores. Cabe recordar que el modelo *GeoUmbriaSuit* se ha propuesto como el primer sistema de apoyo a las decisiones espaciales multicriterio (*MCSDSS*), basado en una completa integración de *MCDA* y *GIS*, desarrollado específicamente para evaluar la sostenibilidad, y ya ha sido ensayado previamente en un caso de estudio italiano (Ottomano et al., 2016b) y otro de Malta (Boggia et al., 2018).

Esta es la primera aplicación de *GeoUmbriaSuit* que toma en consideración dos países distintos de la UE, intentando identificar modelos de desarrollo similares y al mismo tiempo las diferencias existentes en base a las dimensiones de la sostenibilidad. A los territorios analizados en esta tesis, las 20 regiones de Italia y las 17 de España, se les ha aplicado por separado el modelo *GeoUmbriaSuit*.

Para la elección de los indicadores es importante indicar que su elección se ha basado en la Estrategia Europea 2020. Esta fue la agenda diseñada para la década 2010-2020 por la UE para el crecimiento y el empleo. Hacía hincapié en el crecimiento inteligente, sostenible e inclusivo

como una forma de superar las debilidades estructurales de la economía europea, mejorar su competitividad y productividad y apoyar una economía social de mercado sostenible (<https://ec.europa.eu>). Por tanto, se eligieron unos indicadores, los cuales se consideraron estaban más probablemente relacionados con los objetivos de la Estrategia Europea 2020, y se dividieron en tres categorías principales: económicos, sociales y ambientales, según las dimensiones de la sostenibilidad analizadas por el modelo *GeoUmbriaSuit*.

La mayoría de los datos se recopilaron gracias a la rica base de datos de los Institutos Nacionales de Estadística italianos y españoles. Otros datos se recabaron de las bases de datos de varios ministerios (en el caso de España) y de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (en el de Italia). Los datos se refieren principalmente a los años que van de 2013 a 2016. La fuerza del análisis radicaba en el hecho de que, gracias al enorme trabajo de los correspondientes Institutos Nacionales de Estadística, fue posible recopilar casi exactamente la misma tipología de datos e indicadores para ambos países. De esta forma, la comparación en términos de sostenibilidad ha podido ser lógica y fluida. Las Tablas 4.1, 4.2. y 4.3. presentan el significado de cada uno de los indicadores utilizados en el análisis, la correspondiente unidad de referencia y fuente, agrupados en económicos sociales y ambientales. En algunos casos, las unidades de referencia de los indicadores podrían diferir, pero esto no constituye un elemento relevante, ya que los dos análisis se han efectuado por separado.

Tabla 4.1.

Indicadores económicos empleados

Indicador económico	Descripción y unidad de referencia	Fuente
E1. Gastos internos en I+D	Representa los gastos internos en Investigación y Desarrollo (% del Producto Interno Bruto).	Italia: Oficina Nacional de Estadística, 2013 España: Oficina Nacional de Estadística 2016 (referencia a 2014)
E2. Índice de pobreza	Representa la tasa de riesgo de pobreza, en relación con las familias que viven bajo el "Estándar Internacional de la Línea de Pobreza" (%).	Italia: Oficina Nacional de Estadística, 2013 España: Oficina Nacional de Estadística 2016 (referencia a 2014)
E3. Volumen de ventas de unidades económicas.	Representa el valor de producción de las empresas en el número total de empresas (euros / número de empresas).	Italia: Oficina Nacional de Estadística, 2013 España: Oficina Nacional de Estadística 2016 (referencia a 2014)
E4. Empresas con actividades innovadoras (producto y / o proceso)	Representa a las empresas que han introducido innovación, en productos o procesos, como porcentaje sobre el número total de empresas (%).	Italia: Oficina Nacional de Estadística, 2013 España: Oficina Nacional de Estadística 2016 (Consulta sobre innovación de empresas 2014)
E5. Productividad laboral	Representa el valor añadido con precios corrientes básicos (Italia: miles de euros; España: euros / habitante).	Italia: Oficina Nacional de Estadística, 2013 España: Oficina Nacional de Estadística 2016 (datos de referencia 2015)
E6. Renta disponibles por habitante	Es el ingreso neto anual promedio por persona (euros / habitante).	Italia: Oficina Nacional de Estadística, 2013 España: Oficina Nacional de Estadística 2016 (datos de referencia 2013)

Tabla 4.2.

Indicadores sociales empleados

Indicador social	Descripción y unidad de referencia	Fuente
S1. Abandono temprano de escuela	Representa la tasa de jóvenes que abandonan sus estudios prematuramente (%).	Italia: Oficina Nacional de Estadística, 2013 España: Ministerio de Educación, 2015.
S2. Población de 30 a 34 años con nivel de Educación Superior	Población entre 30 y 34 años que ha obtenido un título universitario (%).	Italia: Oficina Nacional de Estadística, 2013 España: Ministerio de Educación, 2015.
S3. Gasto público total en educación y formación.	Representa el gasto público total para actividades de educación y formación (euros / habitante).	Italia: Oficina Nacional de Estadística, 2013 España: Oficina Nacional de Estadística, 2016 (Datos de referencia 2013)
S4. Tasa de desempleo	Representa la tasa de desempleo actualizada más reciente (%).	Italia: Oficina Nacional de Estadística, 2013 España: Oficina Nacional de Estadística, 2016 (Datos de referencia 2015)
S5. Gasto per cápita en servicios sociales y de bienestar.	Representa el gasto público total para servicios sociales, como por ejemplo para familias y menores, discapacitados, dependencias, ancianos, inmigrantes y nómadas, pobreza, incomodidad de adultos y personas sin hogar (euros/ hab.).	Italia: Oficina Nacional de Estadística, 2013 España: Ministerio de Empleo y Seguridad Social, 2016
S6. Grado de difusión de banda ancha en los negocios.	Representa el porcentaje de empresas con banda ancha sobre el total de empresas (%).	Italia: Oficina Nacional de Estadística, 2013; España: Oficina Nacional de Estadística, Investigación sobre tecnología de información y comunicaciones, 2016

Tabla 4.3.

Indicadores ambientales empleados

Indicador ambiental	Descripción y unidad de referencia	Fuente
A1. Consumo de electricidad cubierto por fuentes renovables.	Representa el consumo de energía renovable con respecto a la demanda total de electricidad (%).	Italia: Agencias de Protección del Medio Ambiente, 2013 España: Oficina Nacional de Estadística - Consulta sobre consumo de energía, 2013
A2. Consumo energético de electricidad	Representa el consumo total de electricidad. (Italia: KWh / habitante; España: Euros / habitante).	Italia: Agencias de Protección del Medio Ambiente, 2013 España: Oficina Nacional de Estadística - Consulta sobre consumo de energía, 2013
A3. Emisiones de gases de efecto invernadero.	Representa la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, en términos de CO2 equivalente (ton CO2 equivalente / habitante).	Italia: Agencias de Protección del Medio Ambiente, 2013 España: Ministerio de Medio Ambiente, 2013.
A4. Residuos municipales: tasa de recogida selectiva	Representa el porcentaje de residuos recogidos por separado, sobre el total de residuos producidos (Italia:%; España: Ton / habitante).	Italia: Agencias de Protección del Medio Ambiente, 2013 España: Oficina Nacional de Estadística - Consulta sobre recogida de residuos, 2012
A5. Gastos público para la protección del medio ambiente.	Representa el importe del gasto público para la protección del medio ambiente, evitando la contaminación y otros problemas ambientales (euros / habitante).	Italia: Oficina Nacional de Estadística, 2013 España: Oficina Nacional de Estadística, 2016
A6. Zonas artificiales / superficie regional	Representa el área urbanizada de una región en relación con el área total de tierra (%).	Italia: Mapa de cobertura terrestre de CORINE (AEMA, 2006) España: Ministerio de Transporte y Comunicaciones - Sistema de Información Urbana, 2006..

La aplicación del método *TOPSIS* requería el desarrollo de un sistema de pesos para los indicadores. Para asignar pesos se aplicó el método *SWING* (von Winterfeldt y Edwards, 1986). Este método consiste en pedirle a un grupo de tomadores de decisiones a nivel regional que consideren una alternativa (no real) que tenga todos los indicadores en el peor nivel. El segundo paso consiste en elegir el primer indicador que el tomador de decisiones querría pasar al mejor nivel, según su punto de vista. A este se le asignan 100 puntos. El procedimiento sigue adelante, tomando en consideración el segundo indicador más deseable, asignándole puntos por debajo de 100, y así sucesivamente para todos los indicadores. Al final del procedimiento, los puntos dados se normalizan para sumar 1 (Pöyhönen y Hämäläinen, 2001).

El criterio guía para los responsables de las decisiones en el proceso *SWING* consistió en dar prioridad a las cuestiones ambientales, sociales y económicas que más se debaten en la actualidad a nivel local, pero también a nivel global y que, por tanto, representan problemas críticos que hay que resolver. Un proceso colaborativo de tomadores de decisiones, basado en la comunicación y la participación, mejoraría la eficiencia de los resultados (Beratan et al., 2004).

Fueron entrevistados cuatro tomadores de decisiones por cada uno de los dos países considerados, por tanto, ocho en total. Su campo de competencia era la planificación territorial y el desarrollo sostenible. Para gestionar el proceso y obtener los valores de peso finales se utilizó el *software WINPRE* (Salo A. y Hämäläinen, 1995), capaz de estimar el nivel de incertidumbre al asignar los pesos. En este caso, tenemos un bajo nivel de incertidumbre, lo que significa que el riesgo de subjetividad se reduce al mínimo.

La Tabla 4.4. muestra los pesos finales asignados a los indicadores.

Tabla 4.4.

Pesos finales normalizados asignados a los indicadores

Indicador	Peso normalizado
E1. Gastos internos en I+D	0.27
E2. Índice de pobreza	0.27
E3. Volumen de ventas de unidades económicas.	0.09
E4. Empresas con actividades innovadoras (producto y / o proceso)	0.14
E5. Productividad laboral	0.09
E6. Renta disponibles por habitante	0.14
S1. Abandono temprano de escuela	0.25
S2. Población de 30 a 34 años con nivel de Educación Superior	0.21
S3. Gasto público total en educación y formación.	0.08
S4. Tasa de desempleo	0.25
S5. Gasto per cápita en servicios sociales y de bienestar.	0.08
S6. Grado de difusión de banda ancha en los negocios.	0.13
A1. Consumo de electricidad cubierto por fuentes renovables.	0.21
A2. Consumo energético de electricidad	0,21
A3. Emisiones de gases de efecto invernadero.	0.21
A4. Residuos municipales: tasa de recogida selectiva	0.18
A5. Gastos público para la protección del medio ambiente.	0.07
A6. Zonas artificiales / superficie regional	0.11

4.3. Resultados

Los indicadores descritos en el apartado anterior se han introducido en el modelo *GeoUmbriaSuit*, junto a los pesos correspondientes. Este apartado contiene una breve descripción de los resultados producidos por el modelo, tanto para Italia como para España. Los resultados obtenidos eran tanto alfanuméricos como gráficos, y representaban las clasificaciones obtenidas mediante la aplicación del método *TOPSIS*.

Las Tablas 4.5. y 4.6. muestran las puntuaciones de los distintos índices (Ecoldeal, Socideal y Envildeal), e indican las puntuaciones para las tres dimensiones de la sostenibilidad en base al principio de la sostenibilidad fuerte.

Tabla 4.5.

Puntuaciones de los índices para Italia

Región	Económico	Social	Ambiental
	<i>Ecoldeal</i>	<i>Socideal</i>	<i>Envideal</i>
Trentino Alto Adige	0,5611	0,7877	0,5723
Valle D'Aosta	0,4428	0,6011	0,7973
Piemonte	0,9254	0,6189	0,2295
Emilia Romagna	0,7244	0,7164	0,1513
Friuli Venezia Giulia	0,6606	0,746	0,1255
Lombardia	0,7092	0,6744	0,1474
Veneto	0,6047	0,6727	0,1845
Liguria	0,5859	0,6435	0,1989
Toscana	0,5303	0,6336	0,2500
Lazio	0,5036	0,6532	0,2295
Marche	0,4377	0,6099	0,2408
Abruzzo	0,3535	0,6319	0,2919
Umbria	0,3681	0,6803	0,1760
Molise	0,171	0,5511	0,3437
Basilicata	0,1098	0,5184	0,3545
Campania	0,2889	0,2152	0,3020
Calabria	0,0921	0,2772	0,3792
Sardegna	0,1711	0,3068	0,2187
Puglia	0,1168	0,3118	0,1970
Sicilia	0,1432	0,2233	0,2367

Tabla 4.6.

Puntaciones de los índices para España

Región (Comunidad autónoma)	Económico	Social	Ambiental
	<i>Ecoldeal</i>	<i>Socideal</i>	<i>Envideal</i>
País Vasco	0,9836	0,9623	0,4078
Comunidad Foral de Navarra	0,8443	0,8399	0,5153
Comunidad de Madrid	0,6082	0,7002	0,5127
Castilla y León	0,4308	0,6107	0,6966
La Rioja	0,5458	0,5534	0,6221
Cataluña	0,6243	0,562	0,4950
Aragón	0,5293	0,6017	0,5432
Galicia	0,4462	0,6281	0,5955
Cantabria	0,3558	0,7231	0,4121
Principado de Asturias	0,4238	0,6311	0,2494
Comunidad Valenciana	0,3659	0,4065	0,5213
Castilla-La Mancha	0,2451	0,2855	0,6661
Extremadura	0,1506	0,2214	0,7584
Islas Baleares	0,244	0,3619	0,5138
Región de Murcia	0,3046	0,2635	0,5145
Andalucía	0,2494	0,1034	0,5751
Islas Canarias	0,1515	0,216	0,5287

Las Figuras 4.3. a 4.10. muestran los resultados geográficos para los dos países de los análisis correspondientes a cada índice y a la evaluación global de sostenibilidad para las regiones examinadas. La clasificación de las alternativas se efectuó en una escala de 5 clases, de muy baja a muy alta (intervalo basado en la función *QGIS*, según un algoritmo de intervalo igual). Los mapas proporcionan una comprensión rápida y sencilla de la distribución geográfica de los índices en el nivel territorial elegido (Boggia et al., 2018).

En lo que atañe a la situación económica en el caso de Italia (Figura 4.3.), según los resultados algunas regiones de la parte norte del país pertenecen a clases altas (cuatro regiones) y muy altas (una región), tres regiones del norte y tres del centro pertenecen a la clase media, mientras que el resto de las regiones (centro, sur de Italia y las islas) pertenecen a las clases bajas o muy bajas. Por tanto, está claro que el índice económico empeora de norte a sur.

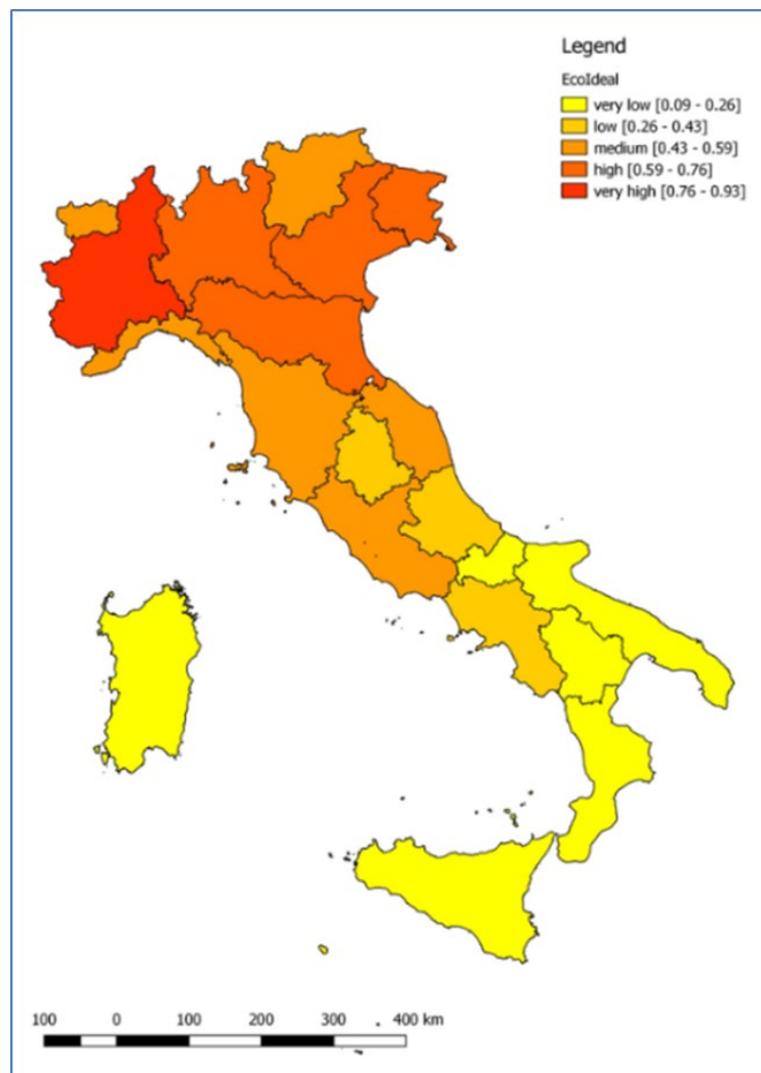


Figura 4.3. Mapa de Índice de Sostenibilidad Económica para Italia
Fuente: *output* de *GeoUmbriaSuit*

Al observar los resultados desde un punto de vista social (Figura 4.4.) parece haber algunas mejoras, ya que la mayoría de las regiones pertenece a las clases altas o muy altas (en el norte de Italia, en el centro y en algunas regiones del sur), mientras que cinco regiones del sur pertenecen a la clase muy baja y solo dos regiones pertenecen a la clase media.

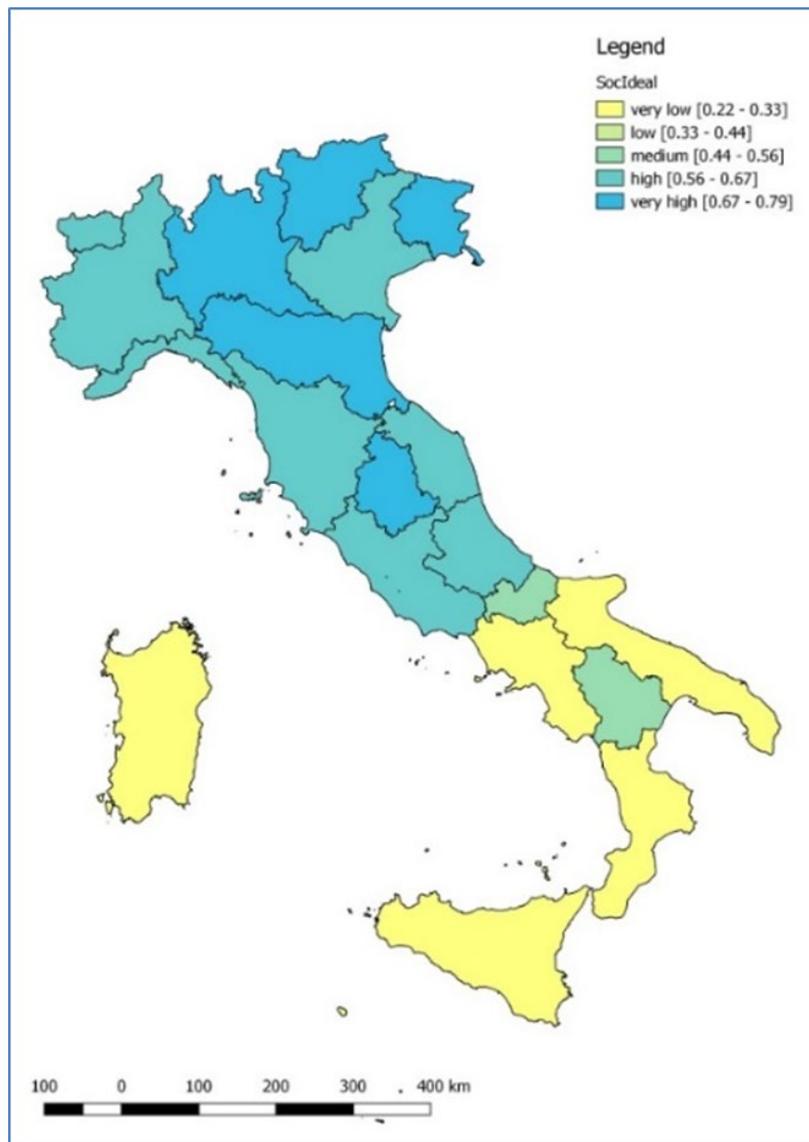


Figura 4.4. Mapa de Índice de Sostenibilidad Social para Italia
Fuente: *output de GeoUmbriaSuit*

En lo tocante a la dimensión ambiental (Figura 4.5.), el contexto es bastante diferente, porque la mayoría de las regiones italianas (independientemente de su emplazamiento territorial) pertenecen a la clase muy baja, con excepción de dos regiones del norte, que pertenecen a la clase alta y muy alta, y cinco regiones del sur, pertenecientes a la clase baja. Ninguna de las regiones pertenece a la clase media.

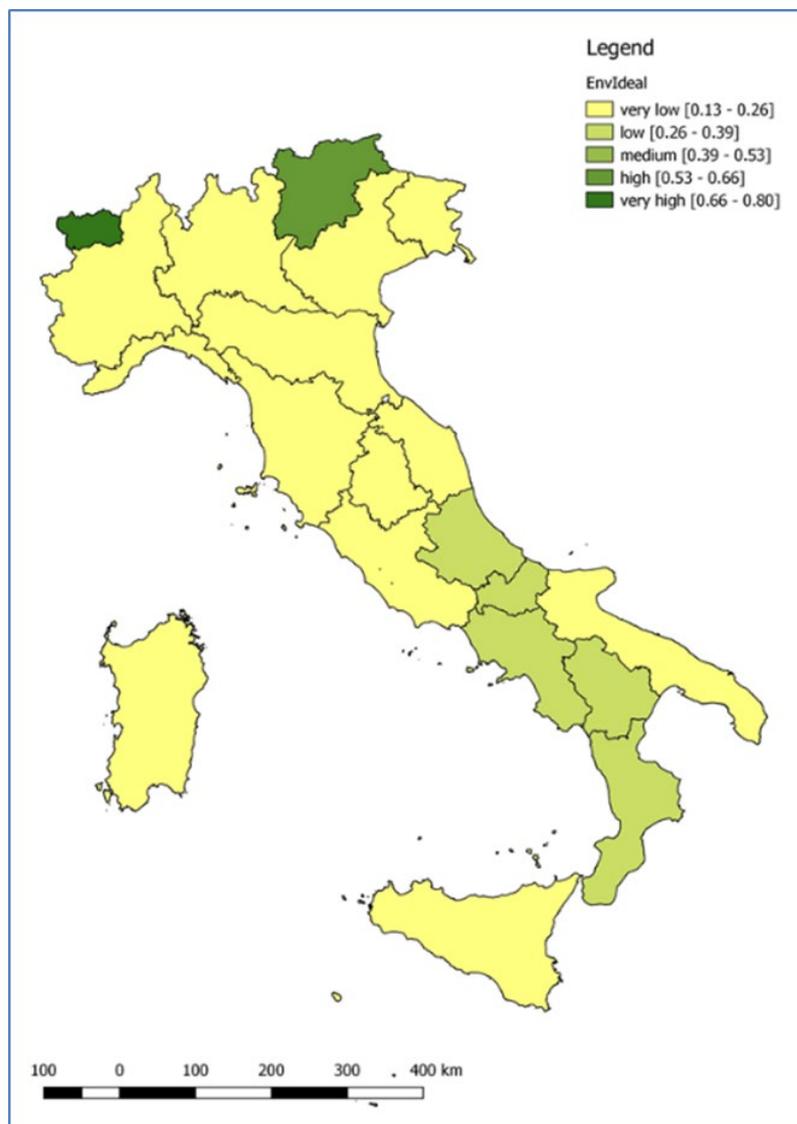


Figura 4.5. Mapa de Índice de Sostenibilidad Ambiental para Italia
Fuente: *output de GeoUmbriaSuit*

La sostenibilidad global puede verse en la Figura 4.6. Para construir el índice global, los tres índices Ecoideal, Socioideal y Envideal se han considerado de igual importancia. En general, la parte norte y central de Italia parece tener mejores resultados (tres regiones muy altas, seis regiones en la clase alta y cuatro regiones en la clase media), mientras que el sur y las islas tienen un nivel de sostenibilidad global inferior (dos regiones en clase baja y cinco regiones en clase muy baja).

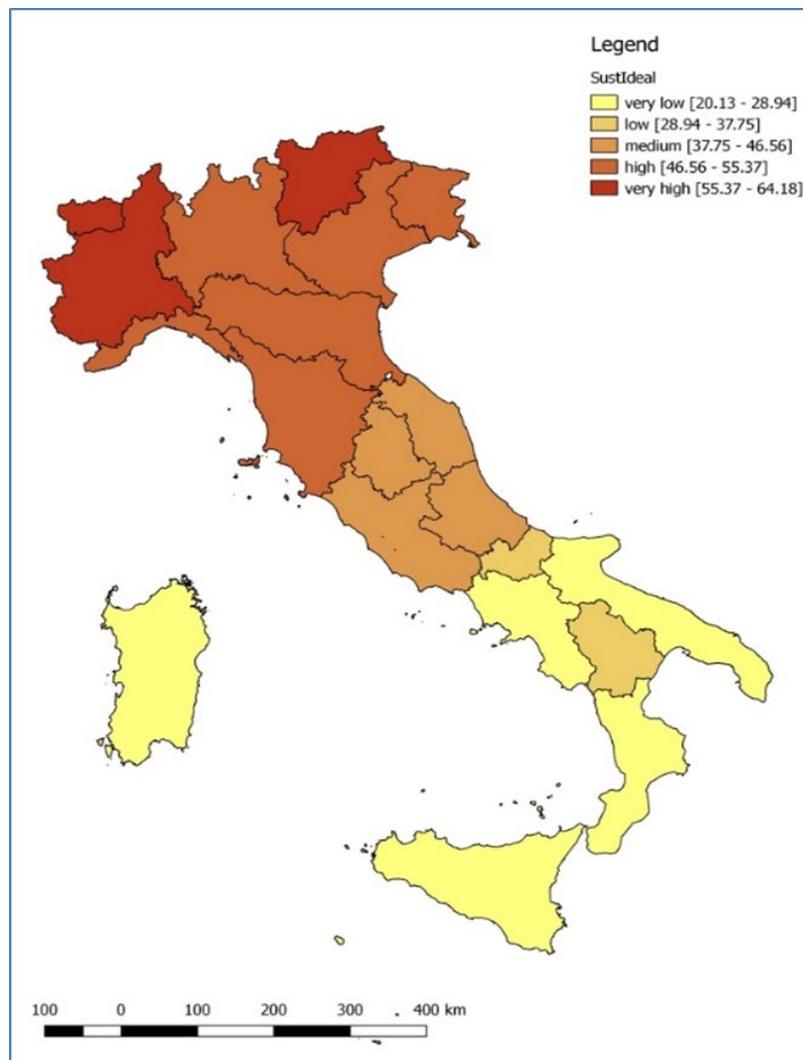


Figura 4.6. Mapa de Índice de Sostenibilidad Global para Italia
Fuente: *output de GeoUmbriaSuit*

En cuanto al caso de estudio de España, los resultados del índice económico (Figura 4.7.) muestran que la mayoría de las regiones pertenecen a las clases baja (cuatro regiones) y muy baja (seis regiones), mientras que solamente tres regiones tienen resultados medios y dos pertenecen a la clase alta y muy alta, cada una de ellas situada en las zonas más desarrolladas de España.

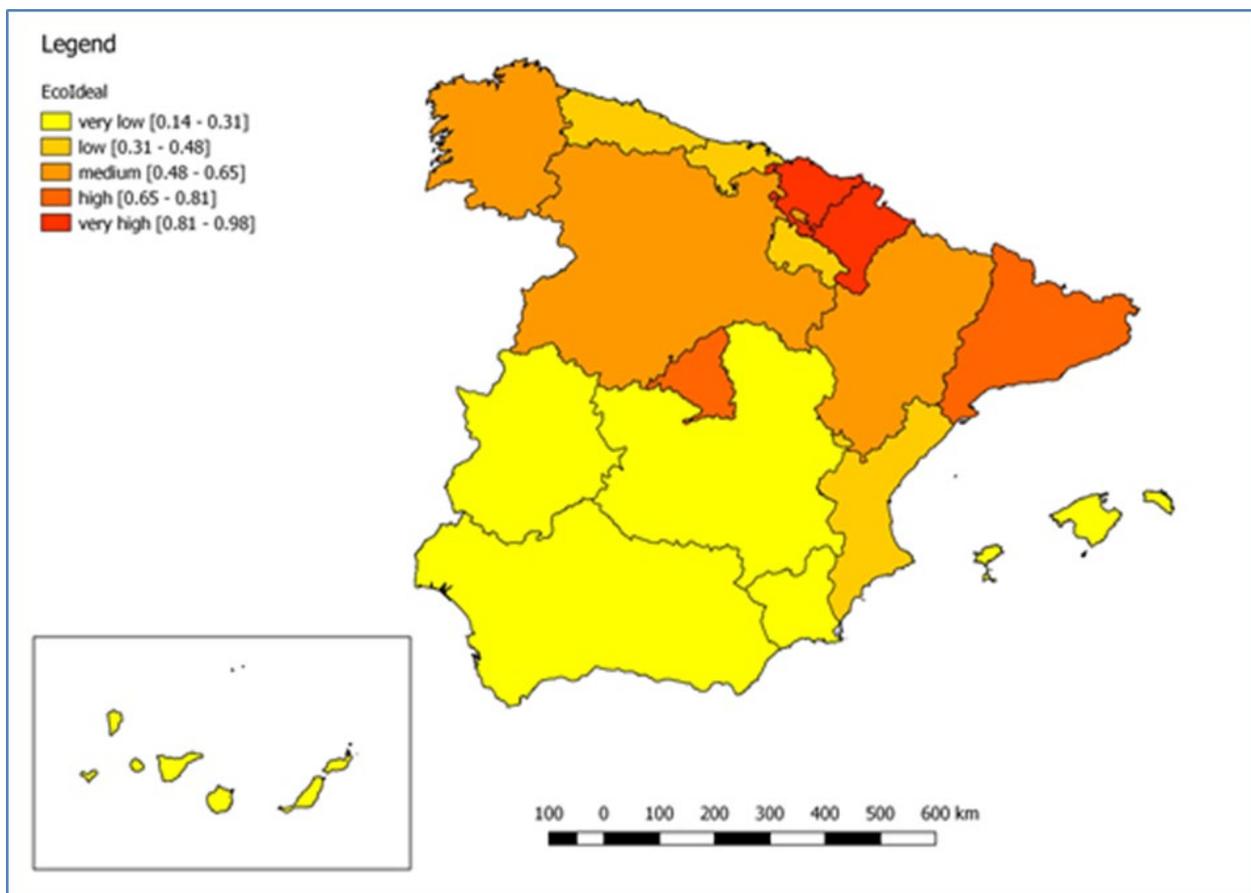


Figura 4.7. Mapa de Índice de Sostenibilidad Económica para España
Fuente: *output de GeoUmbriaSuit*

El mapa del índice social (Figura 4.8) muestra una especie de división del país en dos partes: las regiones situadas en el norte / centro del país pertenecen a la clase media (cuatro regiones), alta (tres regiones) o muy alta (tres regiones); las regiones situadas en el sur, por el contrario, pertenecen a las clases baja (tres regiones) o muy baja (cuatro regiones).

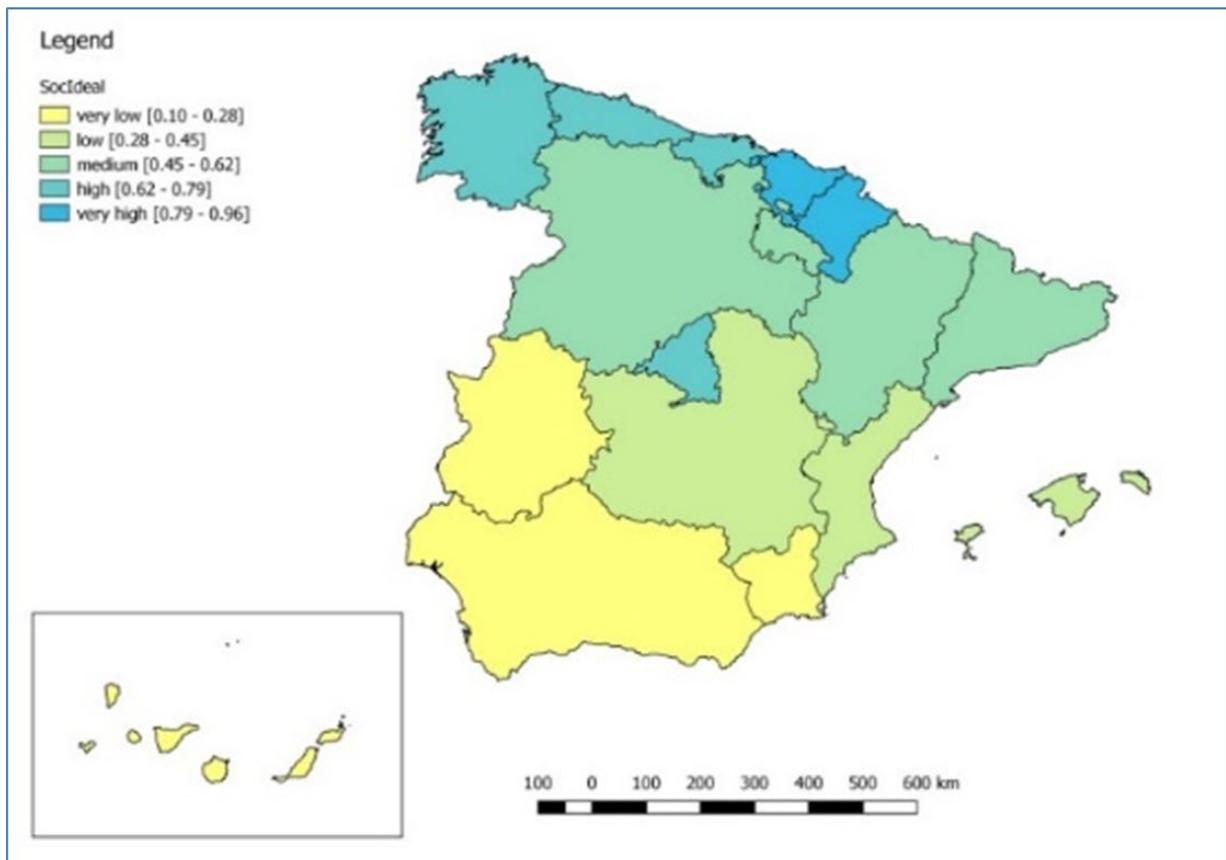


Figura 4.8. Mapa de Índice de Sostenibilidad Social para España
Fuente: *output* de *GeoUmbriaSuit*

En lo que se refiere al análisis de la dimensión ambiental (Figura 4.9.), las regiones con puntuaciones muy altas son las tres más grandes situadas en la parte central de España, otras regiones pertenecen a la clase alta, mientras que ocho regiones pertenecen a la clase media (las seis regiones del este, la región central y las dos regiones insulares). Tres regiones restantes (todas ellas situadas en el norte) pertenecen a la clase baja (dos regiones) y muy baja (una región).

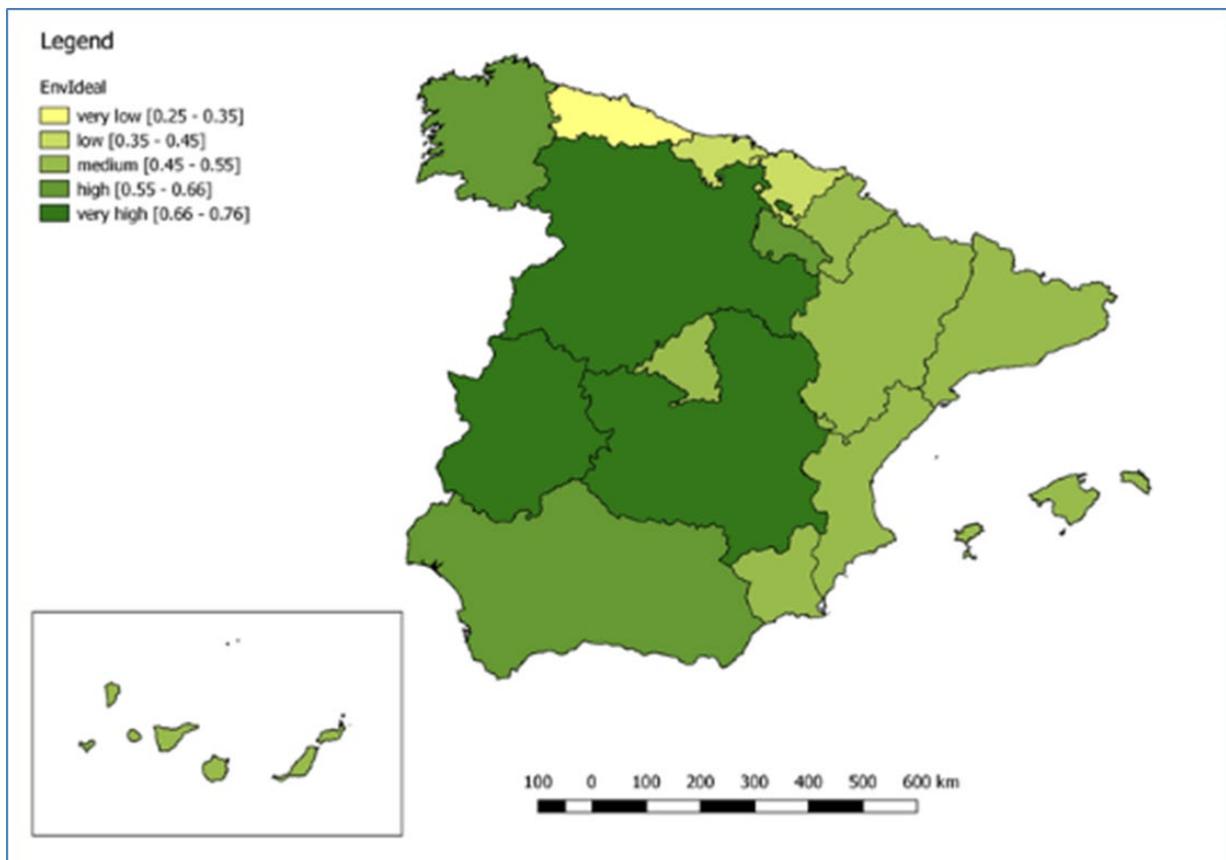


Figura 4.9. Mapa de Índice de Sostenibilidad Ambiental para España
Fuente: *output de GeoUmbriaSuit*

Finalmente, la evaluación global de la sostenibilidad (Figura 4.10), considerando las tres dimensiones igualmente importantes, muestra una disminución de la sostenibilidad de norte a sur: las clases muy alta (dos regiones), alta (dos regiones) y media (cinco regiones) se encuentran en la mitad norte del país, mientras que la clase baja (dos regiones, excepto una, que está en el norte) se encuentran en la parte meridional del país.

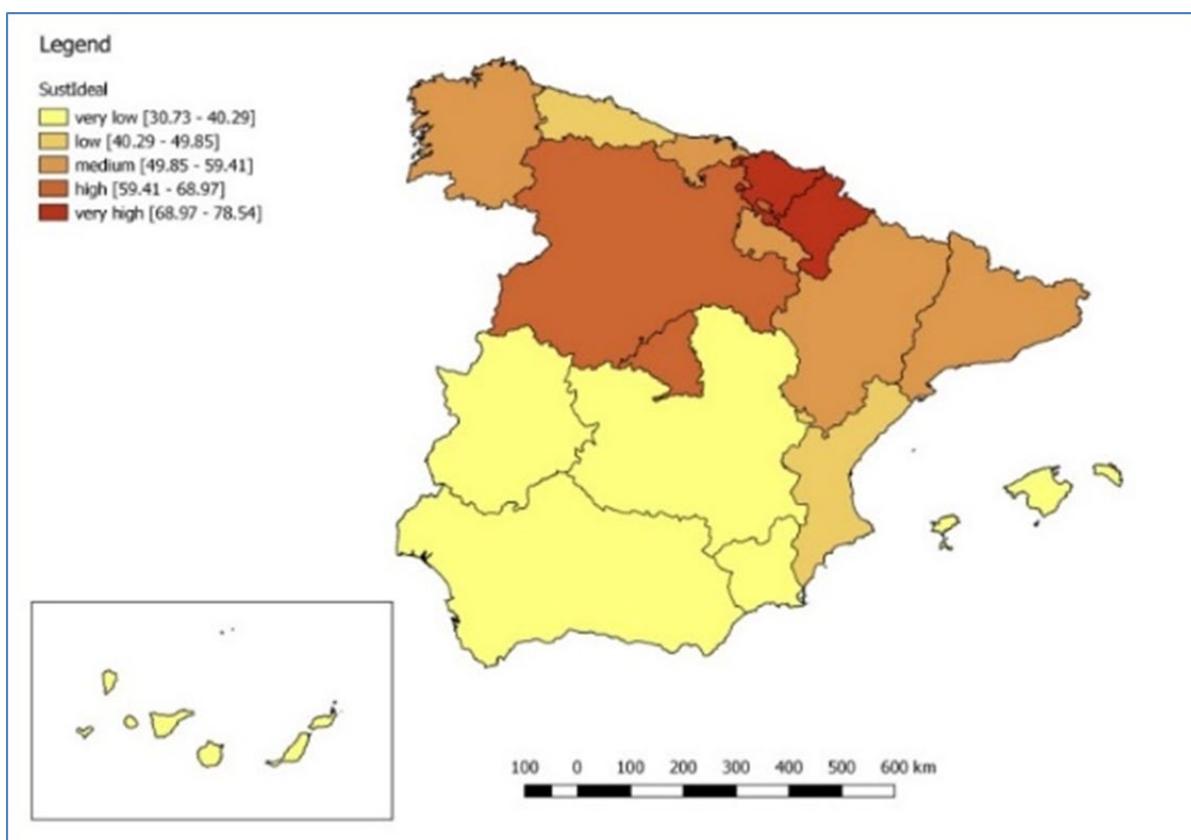


Figura 4.10. Mapa de Índice de Sostenibilidad Global para España
Fuente: *output* de GeoUmbriaSuit

Además de los mapas gráficos, el modelo *GeoUmbriaSuit* también ha producido otros interesantes gráficos que muestran las Figuras 4.11. a 4.16.

Las Figuras 4.11. y 4.12. muestran el Gráfico de la Sostenibilidad para Italia y España respectivamente. En este tipo de gráfico, los tres índices - económico, ambiental y social - están situados uno al lado de otro. Por tanto, no hay compensación alguna entre las tres dimensiones. Las barras, sin dimensiones, tienen una escala entre 0 y 1. Cuanto mayor sea la barra, mejor será la prestación de la dimensión correspondiente. Por tanto, este gráfico deja claro el nivel de desarrollo de cada dimensión en cada región.

En el caso de Italia (Figura 4.11.), la mejor dimensión es la social, con las puntuaciones más elevadas para 13 del total de 20 regiones; la dimensión ambiental es la mejor en 4 regiones, mientras que la dimensión económica es la mejor en 3 regiones. Además, se ve claramente que, en general, la componente social tiene una tendencia positiva en la mayoría de las regiones, mientras que en dos regiones (Piamonte y Valle de Aosta) la dimensión económica y ambiental respectivamente juegan un papel importante en su puntuación.

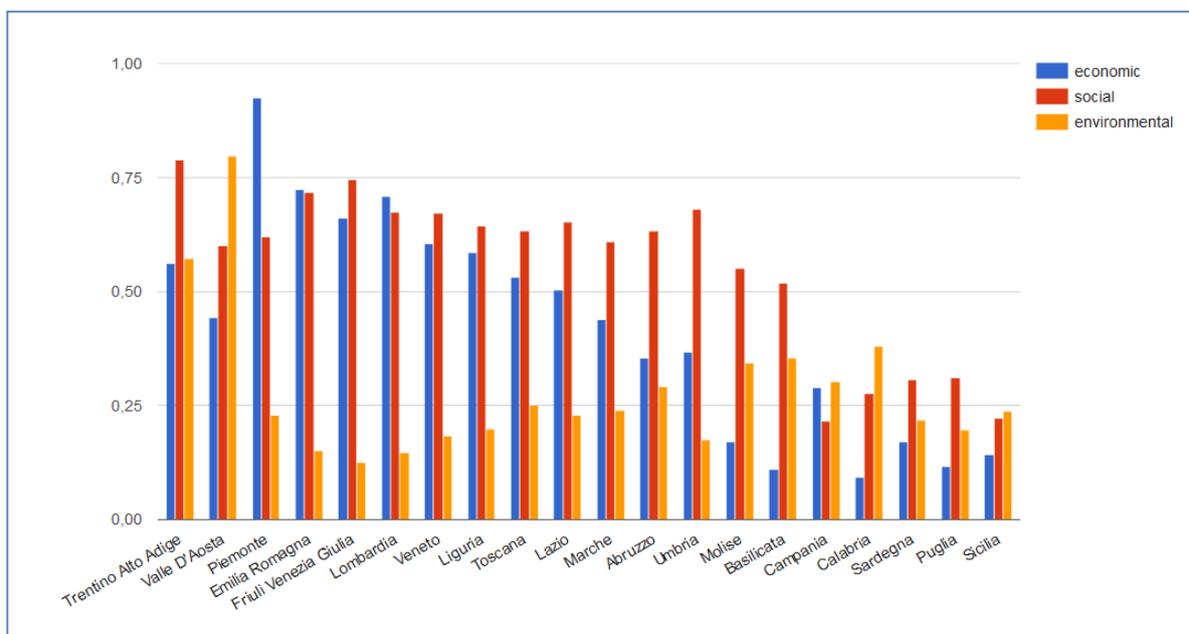


Figura 4.11. Barras de Sostenibilidad de Italia
Fuente: output de GeoUmbriaSuit

En el caso de España (Figura 4.12.), la mejor dimensión es la ambiental en 9 regiones del total de 17; la dimensión social es la mejor en 4 regiones, mientras que la dimensión económica es la mejor en las 4 regiones restantes. En particular, estas son las regiones (País Vasco, Comunidad Foral de Navarra, Comunidad de Madrid y Cataluña) que han resultado entre las más sostenibles en la clasificación global, lo que significa que para estas regiones la componente económica juega un papel decisivo en la clasificación.

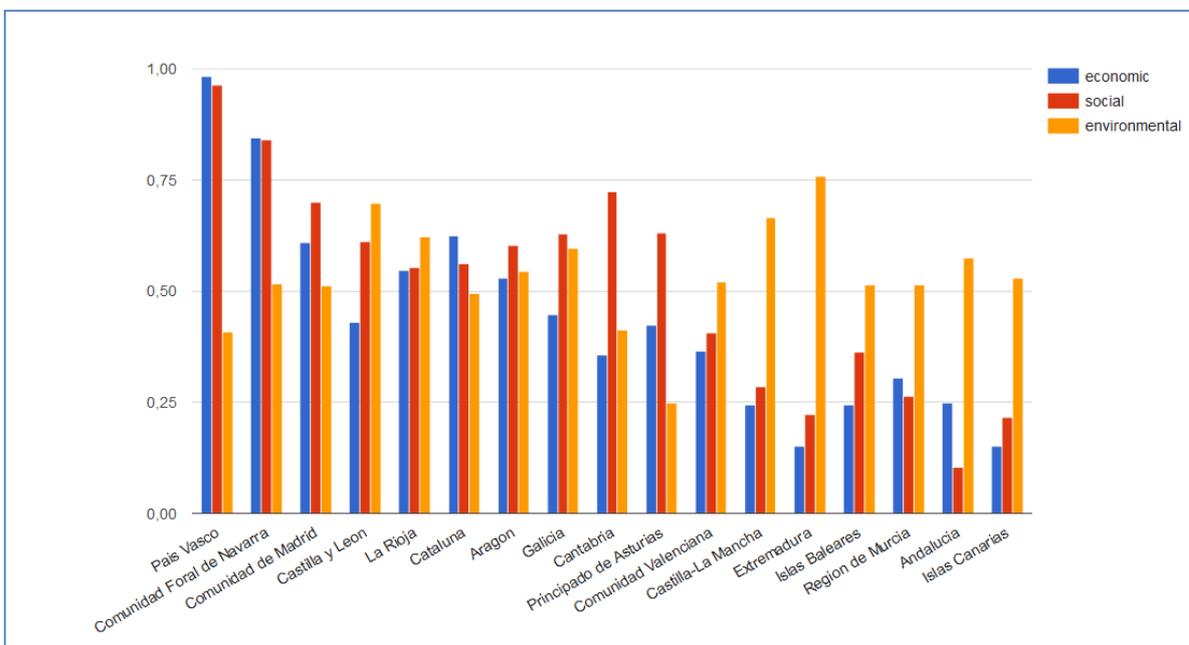


Figura 4.12. Barras de Sostenibilidad para España
Fuente: *output de GeoUmbriaSuit*

Por su parte, las Figuras 4.13. y 4.14. muestran las Barras de Sostenibilidad para Italia y España respectivamente. A diferencia del gráfico de sostenibilidad, aquí las tres dimensiones aparecen resumidas juntas, lo que permite establecer una clasificación final de sostenibilidad global entre las unidades territoriales consideradas. La suma de cada uno de los índices varía entre 0 y 3.

En el caso italiano (Figura 4.13.), la primera región en términos de sostenibilidad global es Trentino Alto Adige (en el norte), por sus buenos resultados en las tres dimensiones, pero en particular en la social. La segunda y la tercera posición las ocupan el Valle de Aosta (bien situado en cuanto a la dimensión ambiental) y el Piemonte (bien situado en cuanto a la dimensión económica), ambas en el norte, una vez más. Las últimas regiones clasificadas son Puglia y Sicilia (en el sur de Italia), con resultados peores sobre todo en la dimensión económica. En algunas regiones, como por ej. Molise y Basilicata, un buen resultado en la dimensión social permite compensar las bajas puntuaciones en los perfiles ambientales y económicos, evitando así los últimos puestos en la clasificación.

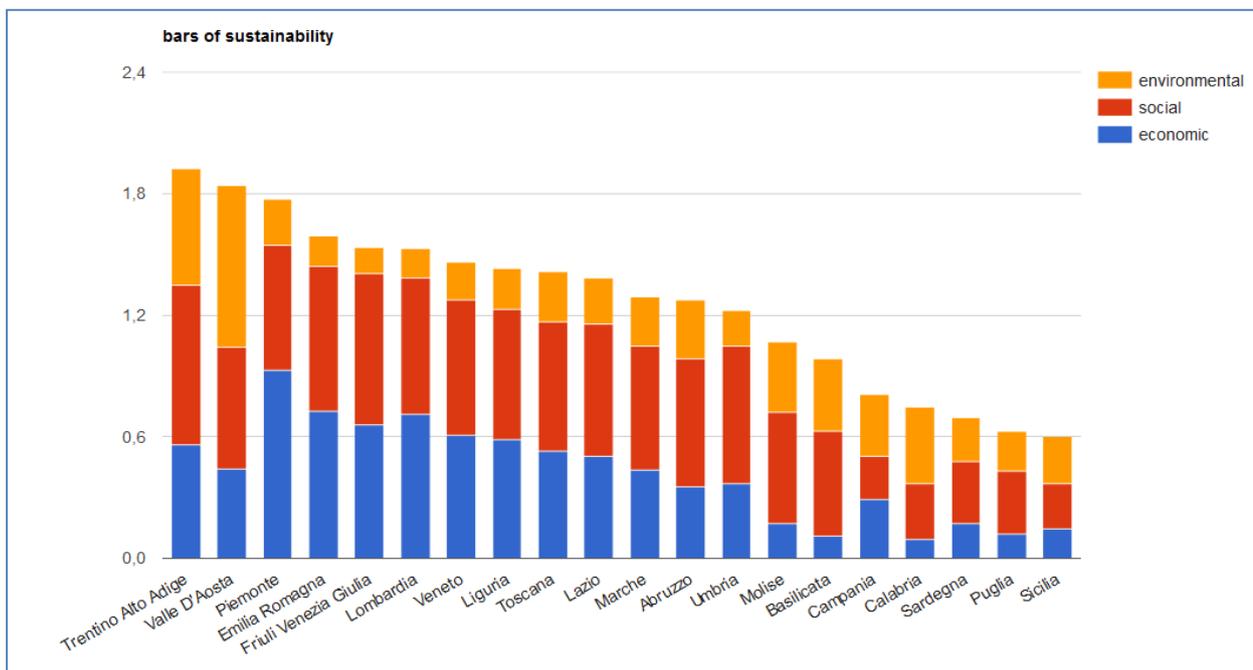


Figura 4.13. Barras Acumuladas de Sostenibilidad para Italia
Fuente: *output* de GeoUmbriaSuit

En el caso de estudio español (Figura 4.14.), la primera región en términos de sostenibilidad global es el País Vasco, seguida de la Comunidad Foral de Navarra y la Comunidad de Madrid. Estas tres comunidades tienen puntuaciones excelentes en la dimensión económica y también en la social, pero peores en la ambiental. Andalucía y las Canarias son las últimas regiones en la clasificación, porque aunque no tienen malas prestaciones ambientales, estas no se ven compensadas por las bajas dimensiones económicas y sociales.

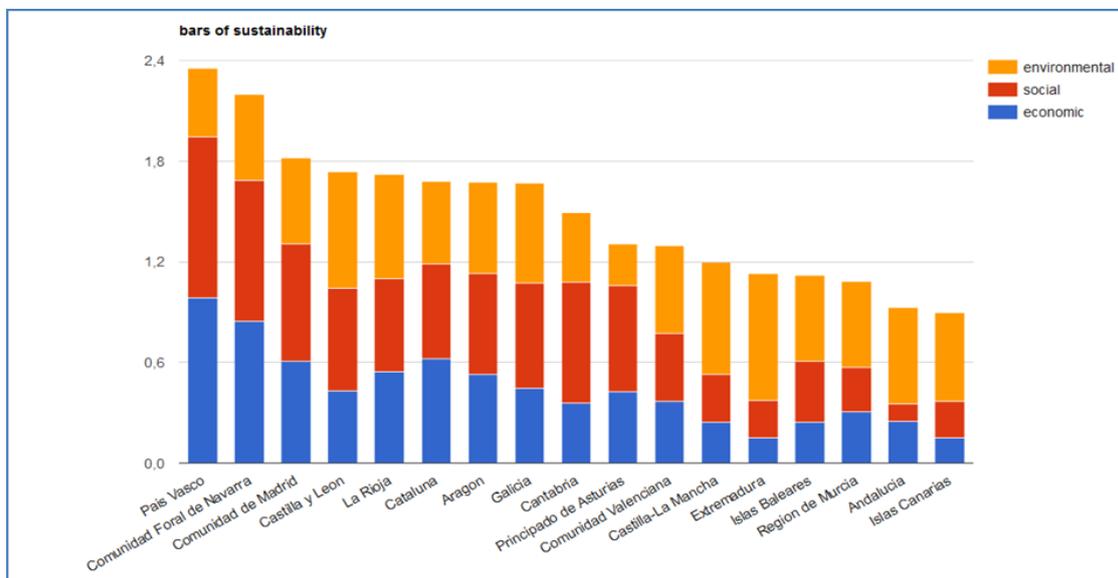


Figura 4.14. Barras Acumuladas de Sostenibilidad para España
Fuente: *output de GeoUmbriaSuit*

En general, de estas dos tipologías de gráficos resulta evidente que, mientras que Italia parece tener peores índices ambientales respecto a las demás dimensiones, para España la dimensión más débil es la económica. Ambos países presentan dimensiones sociales "bastante fuertes". Además, la dimensión social es la que podría parecer marcar en España la clasificación de las regiones para la sostenibilidad, porque las dimensiones económica y ambiental se compensan una con otra.

Finalmente, las Figuras 4.15. y 4.16. muestran el Gráfico de Burbujas, que permite evaluar las tres dimensiones juntas. En los ejes de las x y de las y están representadas las dimensiones económicas y sociales respectivamente, mientras que el color de la burbuja representa la dimensión ambiental (del rojo al verde).

En el caso de Italia (Figura 4.15.), Piamonte, a la derecha del gráfico, se distingue por la fuerza de su componente económico. Las regiones del sur de Italia (Calabria, Puglia, Cerdeña, Sicilia, Campania, Basilicata y Molise) constituyen un gran grupo en la parte izquierda del gráfico, con bajas puntuaciones económicas y bajas o medias puntuaciones ambientales y sociales. Todas las regiones restantes forman un grupo en la parte central del gráfico, con puntuaciones sociales y económicas más elevadas respecto al otro grupo, pero con puntuaciones ambientales más bien bajas.

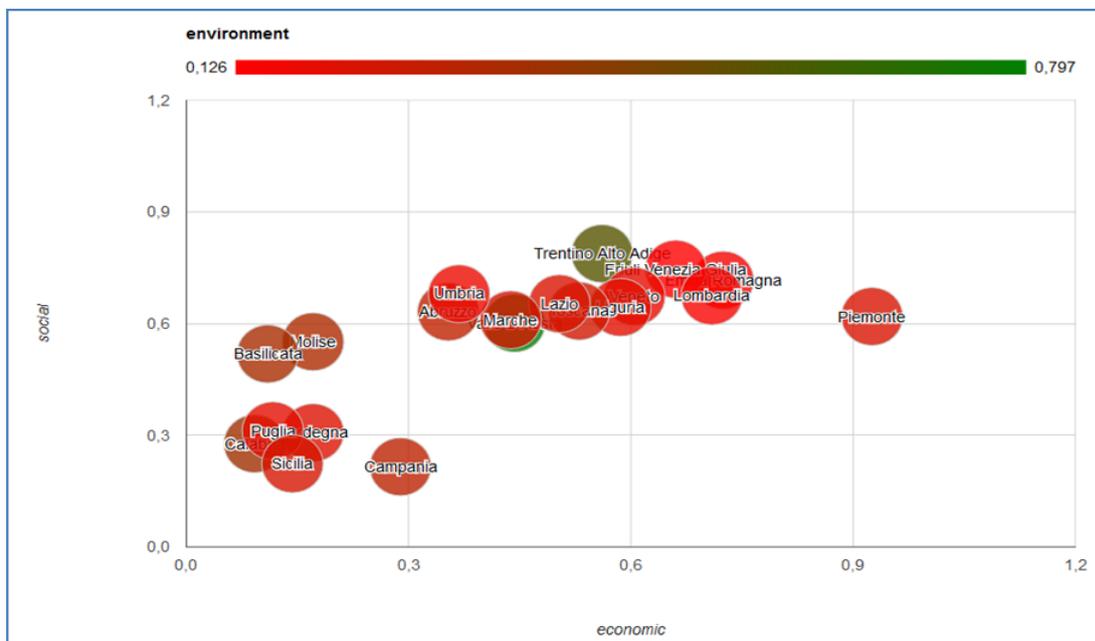


Figura 4.15. Burbujas de Sostenibilidad para Italia
Fuente: *output* de *GeoUmbriaSuit*

Para España (Figura 4.16.), el gráfico de burbujas indica claramente que es posible identificar tres grandes grupos de regiones: Extremadura, Canarias, Andalucía, Murcia, Castilla La Mancha, Islas Baleares y Comunidad Valenciana se encuentran en la parte inferior izquierda del gráfico, con bajos perfiles sociales y económicos, pero con unas prestaciones ambientales buenas u óptimas. País Vasco, Comunidad Foral de Navarra, Comunidad de Madrid y Cataluña ocupan la parte superior derecha del gráfico, con una situación exactamente opuesta respecto al primer grupo, mientras que las demás regiones están en la parte central del gráfico, con puntuaciones intermedias.

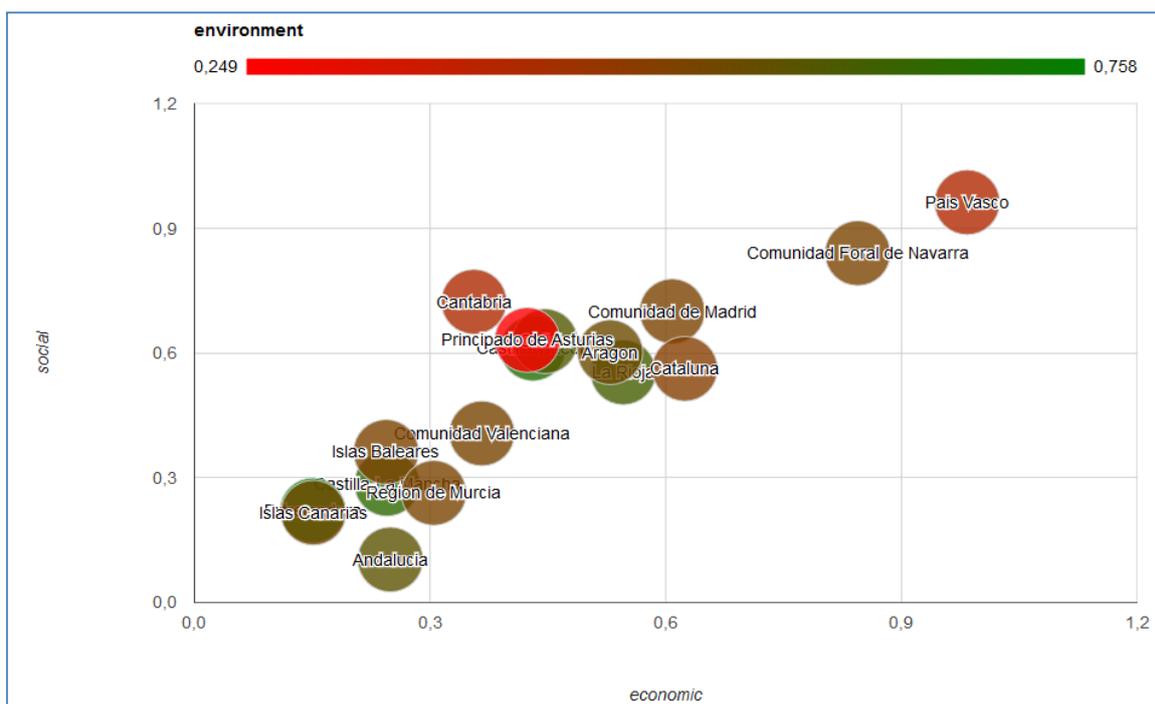


Figura 4.16. Burbujas de Sostenibilidad para España
Fuente: *output de GeoUmbriaSuit*

4.4. Discusión

Sin duda alguna, a partir del análisis de todos los *outputs* gráficos es posible confirmar la existencia de una tendencia decreciente de desarrollo sostenible que va de norte a sur en ambos países, ya que tanto Italia como España han alcanzado puntuaciones mejores en la parte norte del país en la evaluación de la sostenibilidad global. Esto resulta evidente al mirar los mapas de las Figuras 4.6. a 4.10., que muestran el índice global SustIdeal. En Italia la transición es aún más evidente, con puntuaciones medias en la parte central del país, intermedia entre las del norte y el sur. Por el contrario, en España los territorios con puntuaciones intermedias son los de la parte oriental del país. En cualquier caso, podría decirse que la posición geográfica influye en la evaluación de la sostenibilidad global.

Además, Italia y España parecen tener modelos similares en cuanto a dimensiones sociales y económicas, mientras que tienen un modelo de rendimiento diferente para la ambiental. De hecho, en relación a la dimensión social, ambos países tienen muy buenas prestaciones (Italia) y bastante buenas (España), pero más concentradas en el norte y el centro de los países. En cuanto a la dimensión económica, por lo general las prestaciones son intermedias (siempre en el norte y el centro) y bajas (en el sur), con algunas excepciones concentradas en el norte de Italia y en la parte oriental de España. Por último, en general España parece sensiblemente mejor que Italia respecto a los índices ambientales.

En ambos países parece claro que las regiones más ricas (es decir, las más sostenibles económicamente) son también las más sostenibles desde el punto de vista social, pero no las más sostenibles desde el punto de vista

ambiental (con algunas excepciones tanto para Italia, como por ejemplo Trentino Alto Adige y Valle de Aosta, y España, como por ej. Castilla y León). Las regiones más pobres, que son en ambos países las del sur, tienen bajas puntuaciones también desde el punto de vista social, pero no índices ambientales negativos. Esto significa que, mientras que las dimensiones económicas y sociales parecen ir en la misma dirección, la dimensión ambiental es absolutamente independiente de la situación económica de una región en particular.

Los resultados producidos por *GeoUmbriaSuit* son muy instructivos y fáciles de comprender para un tomador de decisiones (Boggia et al., 2018). Este tipo de información es de gran utilidad para construir modelos de políticas y abordar medidas específicas dirigidas a la situación local de cada región, su ubicación territorial, sus puntos fuertes o débiles en relación a las distintas dimensiones de la sostenibilidad. Está claro que podrían identificarse medidas especiales o incentivos, identificando distintas necesidades regionales, favoreciendo por ejemplo el entorno en que la sostenibilidad ambiental es débil o el sistema económico o social en la parte meridional de los países.

La posibilidad de mantener las tres dimensiones separadas evita el aplanamiento de las actuaciones de los tomadores de decisiones, porque no hay ninguna compensación entre ellas. Sin embargo, es posible obtener un índice de sostenibilidad global (SustIdeal), pero al tomador de decisiones se le pide directamente que equilibre los tres componentes. Por tanto, es consciente de los posibles efectos de compensación (Boggia et al., 2018).

Está claro que las clasificaciones de sostenibilidad están directamente influenciadas por la tipología de indicadores elegidos para la gestión del modelo. La elección de los indicadores influye estrictamente en los resultados y podría haber diferencias en las puntuaciones finales si se modifica el conjunto de indicadores empleados. Por tanto, es muy importante ser conscientes de los indicadores elegidos y seleccionar grupos de indicadores correctos y representativos.

Además, la función de análisis retrospectivo, disponible en *GeoUmbriaSuit*, es muy útil y constituye un punto fuerte del modelo, ya que, gracias a la aplicación del enfoque basado en la *Dominance-based Rough Set Approach (DRSA)* (Greco et al., 2001a), el usuario puede analizar cada una de las fases que conducen al resultado final, revelando qué indicadores y qué dimensiones tienen mayor impacto en los resultados. Esta función hace del modelo una herramienta legible y transparente para la trazabilidad de los resultados. La aplicación del *DRSA* permite generar reglas para la toma de decisiones que describen los resultados de los casos de estudio. Las reglas de la toma de decisiones pueden definirse como afirmaciones lógicas, fáciles de entender ya que se presentan en forma de frases "If ... then ..." (Słowiński et al., 2009). Cada regla contiene las condiciones que la caracterizan, la asignación de la clase de decisión resultante y los casos que la respaldan (Cinelli et al., 2015). Las condiciones potenciales son "al menos: muy bajas, bajas, medias, altas, muy altas"; y "como máximo: muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto".

Las Tablas 4.7. y 4.8. muestran las principales reglas generadas por el modelo aplicando la función de análisis retrospectivo, tanto para Italia

como para España. Tras estudiar estas reglas, parece claro que para ambos países las dimensiones social y económica tienen gran importancia a la hora de determinar la clasificación global. Esto parece estar en la línea de los resultados anteriormente mencionados. En estos casos de estudio, SocIdeal y Ecoldeal son, pues, discriminantes, y esta es una información muy útil para un tomador de decisiones, con el fin de entender mejor el efecto de compensación entre las dimensiones y el significado real del índice global SustIdeal.

Tabla 4.7.

Reglas obtenidas con la función de análisis retrospectivo para Italia

1: IF [Drop out of school >= 21.9] THEN AT MOST CLASS "very low"
2: IF [Per capita expenditure for welfare and social services <= 204.93] THEN AT MOST CLASS "low"
3: IF [Degree of broadband diffusion in business <= 98.86] THEN AT MOST CLASS "low"
4: IF [Available income per inhabitant <= 12205.0] THEN AT MOST CLASS "medium"
5: IF [Unemployment rate >= 13.97] THEN AT MOST CLASS "high"
6: IF [Drop out of school <= 21.5] THEN AT LEAST CLASS "low"
7: IF [Labor productivity >= 54037.09] THEN AT LEAST CLASS "medium"
8: IF [Drop out of school <= 16.7] THEN AT LEAST CLASS "medium"
9: IF [Poverty index <= 13.4] THEN AT LEAST CLASS "medium"
10: IF [Available income per inhabitant >= 12597.0] THEN AT LEAST CLASS "high"
11: IF [Unemployment rate <= 13.53] THEN AT LEAST CLASS "very high"

Los indicadores con mayor impacto en la evaluación global para Italia son de naturaleza económica y social. Las reglas 3 y 4 del grupo "AT MOST" y las reglas 6 y 7 en el grupo "AT LEAST" tienen un número particularmente

elevado de casos que las respaldan, correspondientes a 11 regiones (regla 3), 14 regiones (regla 4), 15 regiones (regla 6) y 14 regiones (regla 7) respectivamente. Los indicadores con mayor impacto en la evaluación global para España son de naturaleza económica y social. Entre ellos, algunos parecen tener un efecto mayor que otros, ya que están presentes tanto en las evaluaciones "AT LEAST" como "AT MOST". De entre todas las reglas extraídas, las identificadas con los números 4, 5 y 6 cuentan con un número especialmente elevado de casos que las respaldan, concretamente 14 (regla 4), 15 (regla 5) y 12 (regla 6). Esto significa que las reglas identificadas con los números 4, 5 y 6 se confirman en 14, 15 y 12 regiones respectivamente.

Tabla 4.8.

Reglas obtenidas con la función de análisis retrospectivo para España

1: IF [Drop out of school >= 21.9] THEN AT MOST CLASS "very low"
2: IF [Per capita expenditure for welfare and social services <= 204.93] THEN AT MOST CLASS "low"
3: IF [Degree of broadband diffusion in business <= 98.86] THEN AT MOST CLASS "low"
4: IF [Available income per inhabitant <= 12205.0] THEN AT MOST CLASS "medium"
5: IF [Unemployment rate >= 13.97] THEN AT MOST CLASS "high"
7: IF [Labor productivity >= 54037.09] THEN AT LEAST CLASS "medium"
8: IF [Drop out of school <= 16.7] THEN AT LEAST CLASS "medium"
9: IF [Poverty index <= 13.4] THEN AT LEAST CLASS "medium"
10: IF [Available income per inhabitant >= 12597.0] THEN AT LEAST CLASS "high"
11: IF [Unemployment rate <= 13.53] THEN AT LEAST CLASS "very high"

Otros métodos clásicos para evaluar la sostenibilidad consideran únicamente un índice agregado (véase por ejemplo Kropp y Lein, 2012,

Lombardi y Ferretti, 2015, Consultative Group on Sustainable Development Indicators, 2006) en lugar de tres índices separados como en este modelo. Además, estos métodos agregan la información sin dar ninguna explicación sobre el "mecanismo interno" de la evaluación, haciendo que resulte muy difícil interpretar y entender los resultados. En consecuencia, el modelo *MCDSS GeoUmbriaSut* podría considerarse como una "caja de cristal" (Greco et al., 2008), gracias a su función de análisis retrospectivo, distinto de los métodos tradicionales definidos en la literatura, por el contrario, como "cajas negras".

4.5. Conclusión

Con la evaluación territorial de la sostenibilidad realizada con el *MCDSS GeoUmbriaSut* para el caso de las regiones de Italia y España se puede concluir que la posición geográfica y territorial influye en el nivel de sostenibilidad de ambos países, evidenciando que, a nivel global, disminuye la sostenibilidad de norte a sur. Además, mientras que Italia y España tienen unos modelos de desarrollo parecidos en lo que respecta a los aspectos sociales y económicos, son bastante diferentes desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental. Por último, las regiones más ricas de ambos países suelen ser también socialmente más sostenibles, pero no siempre respetuosas con el medio ambiente.

CAPÍTULO 5

Conclusiones

Capítulo 5. Conclusiones

5.1. Aportación de la tesis

Como reza la Agenda 2030, "nunca antes los líderes mundiales habían prometido una acción común y un programa político tan amplio y universal". La adopción de la Agenda 2030, que concreta los 17 Objetivos, requiere la movilización de todos los componentes de la sociedad: empresas, instituciones y sociedad civil. Los Objetivos brindan una oportunidad histórica para luchar contra la pobreza y el hambre en el mundo, las desigualdades sociales y económicas, apoyar la creación de sociedades pacíficas e inclusivas respetando los derechos humanos universales y garantizar la salvaguardia del planeta y de sus recursos naturales. Es evidente la necesidad de aumentar la atención, los conocimientos y el empeño para transformar los Objetivos de la Agenda 2030 en estrategias, políticas, actuaciones y acciones con el fin de dar pasos concretos hacia el bienestar de todas las personas y las sociedades. Como es obvio, este compromiso se aplica a nivel mundial, europeo, nacional y local. Todos - gobiernos, empresas y ciudadanos - están llamados a contribuir. En este sentido, los gobiernos que firmaron la Agenda han elaborado las estrategias nacionales para que sus países puedan desarrollarse de manera sostenible. Una de las características más importantes de la Agenda es la interconexión de los 17 Objetivos, y es evidente que requiere una fuerte integración de las políticas sectoriales que tome en consideración todas las dimensiones al mismo tiempo. No obstante, la adopción de la nueva Agenda 2030 y de los Objetivos de

Desarrollo Sostenible no es sencilla, y coloca a los distintos Estados del mundo ante múltiples desafíos de gran complejidad, como incluir los Objetivos de Desarrollo Sostenible en los programas a corto y medio plazo, integrando competencias y puntos de vista diferentes para diseñar políticas adecuadas, definir un nuevo modelo de desarrollo que evite basarse únicamente en el aspecto cuantitativo del crecimiento, o intentar comprender cómo integrar entre sí los Objetivos sin tener que afrontar opciones o compensaciones. Todos los países se comprometen, pues, tanto a adoptar una estrategia de desarrollo sostenible formalmente definida y aprobada, como una coordinación central de las políticas orientadas a poner en práctica la Agenda gracias, entre otros, a mecanismos de evaluación, seguimiento y control.

El modelo *MCDSS GeoUmbriaSuit* presentado en esta tesis podría resultar de utilidad para los tomadores de decisiones en la gestión de las políticas públicas a nivel europeo, nacional y local, para evaluar territorialmente la sostenibilidad a nivel global y local, actuando cuando sea necesario al nivel institucional más próximo a las personas (según el principio de subsidiariedad - Comunidades Europeas, 1973) y tomando las decisiones apropiadas en todas las fases de la planificación, es decir, evaluación *ex ante*, seguimiento en curso y evaluación *ex post*. Una aportación importante, pues, para apoyar el difícil camino que conduce a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

5.2. Recomendaciones

En esta tesis se ha realizado también una aplicación práctica del modelo *MCSDSS GeoUmbriaSuit* para evaluar el nivel de sostenibilidad de dos países europeos, Italia y España, ambos pertenecientes al área mediterránea y de los que a menudo se considera que tienen modelos de desarrollo y cultura similares. La política de sostenibilidad de la Unión Europea debe seguir las pautas comunes, pero al mismo tiempo debe tener en cuenta la especificidad de cada país e incluso de cada territorio dentro de un país. La aplicación de este modelo ha permitido considerar por separado las tres dimensiones de la sostenibilidad (económica, social y ambiental) y analizar los modelos de sostenibilidad y desarrollo en las regiones de los dos países estudiados (Italia y España), subrayando las diferencias y semejanzas, tal como se ha mostrado en el apartado 4.5.

Con la aplicación práctica expuesta anteriormente se ha demostrado que la evaluación de la sostenibilidad mediante el modelo *MCSDSS GeoUmbriaSUIT* puede ofrecer un apoyo a los encargados de formular políticas para evaluar el nivel de sostenibilidad de las distintas áreas territoriales, integrando *MCDA* y *GIS*. El *MCDA* es una metodología consolidada que se emplea para evaluar la sostenibilidad y al integrarla con *GIS* permite tener más *outputs* gráficos, que resultan legibles y fáciles de entender para un tomador de decisiones y facilitan gran cantidad de información mediante una visualización directa del territorio en los mapas. La función de análisis hacia atrás hace posible la trazabilidad de todo el proceso. Además, las metodologías integradas que utilizan una serie de indicadores que emplean un abordaje geográfico mejoran los resultados de

los estudios de sostenibilidad, ya que la atención espacial permite mejorar la representación de las acciones en base a los niveles territoriales específicos considerados (locales, nacionales o europeos) y a las necesidades correspondientes. Las diferencias observadas a nivel regional identifican la necesidad de estrategias de sostenibilidad que no sean homogéneas en todo el territorio nacional.

En consecuencia, este modelo de evaluación territorial de la sostenibilidad puede ayudar a los responsables de la toma de decisiones a decidir de manera responsable. En primer lugar, facilitando el poder entender los esquemas de los distintos factores (económicos, sociales y ambientales) y cuáles de ellos influyen en mayor medida en el nivel global de sostenibilidad; lo que resulta útil para dedicar una atención adecuada para elegir medidas y acciones específicas según el tipo de dimensión (económica, social o ambiental) a reforzar. En segundo lugar, favoreciendo la elaboración de medidas a nivel europeo, nacional y local que sean lo más eficaces posible, basadas en objetivos globales y a la vez en necesidades específicas, puntos fuertes y debilidades de los territorios analizados, identificando qué medidas pueden ser comunes a ambos países (o quizá comunes a toda Europa) y qué medidas, por el contrario, deben diferenciarse a nivel de cada región.

5.3. Limitaciones

Además de las buenas respuestas y las características positivas destacadas en la discusión, este enfoque metodológico presenta una serie de limitaciones, ligadas principalmente a los datos y a la elección de los indicadores. Es este un problema bien conocido y común cuando se utilizan modelos que representan la realidad mediante indicadores. Es evidente que los cambios en el tipo de indicadores pueden tener un impacto significativo en los resultados. Sin embargo, en algunos casos esto también podría verse como un aspecto positivo. De hecho, el modelo no ha sido diseñado para ser un instrumento automático que responde a determinados *inputs* con *outputs* definidos de antemano. En realidad, como ya hemos destacado en repetidas ocasiones, se trata de un modelo desarrollado para apoyar a los responsables políticos en sus decisiones, que dependen forzosamente de programas específicos y orientaciones políticas. Significa que los tomadores de decisiones pueden y deben elegir los aspectos ambientales, sociales y económicos a tomar en consideración en sus análisis, y por tanto los indicadores. Por consiguiente, los indicadores programados pueden cambiar según el problema que haya que resolver. En todo caso, se recomienda elegir siempre los indicadores cuidadosamente, el uso de indicadores similares en caso de análisis comparados de casos de estudio y el posible desarrollo de una lista estándar de indicadores, al menos para un número de casos típicos de análisis de las políticas, que a su vez permiten que estos modelos se apliquen con éxito, con el fin de hacer de la evaluación de la sostenibilidad un proceso organizado.

En caso de que para el fenómeno que se quiere representar no haya indicadores localizables o disponibles en la literatura, el analista debe “construir” un nuevo indicador. La construcción de un indicador debe tener en cuenta, por una parte, su racionalidad y su capacidad de transmitir información, pero también tiene un peso importante la factibilidad real, referida a la disponibilidad de información. Un problema frecuente es precisamente que los indicadores para los que existen datos no poseen un buen nivel de representatividad o, por el contrario, que para indicadores bien representativos de la realidad no se dispone de los datos necesarios.

Sin embargo, el caso más frecuente es aquel en que el analista puede encontrar en la literatura o en otros trabajos técnicos anteriores los indicadores útiles para su evaluación, y por tanto elegir cuáles utilizar. Sin embargo, el problema de la falta de datos disponibles de las estadísticas oficiales sigue siendo una limitación de este tipo de evaluaciones.

5.4. Futuras líneas de investigación

Algunas ideas para el posterior desarrollo del modelo *GeoUmbriaSuit* están relacionadas con la introducción de más métodos *MCDA* en el modelo y con la posibilidad de manejar más preferencias de las partes interesadas, directamente dentro del sistema, para reducir las posibilidades de error en la fase de ponderación. La elección de los indicadores representativos es crucial, porque el conjunto de indicadores influye de manera significativa en los resultados finales de la evaluación de

sostenibilidad. Sin embargo, esto no debe considerarse como un punto débil, sino más propiamente como un aspecto que los tomadores de decisiones deben manejar con cuidado cuando se hallan ante un estudio específico de evaluación de sostenibilidad que depende en gran medida de los objetivos iniciales.

Una aplicación que sin duda habrá que hacer en el futuro será la de introducir en el modelo el grupo de indicadores definitivamente identificado a nivel europeo para evaluar los progresos en el camino hacia los objetivos de la Agenda 2030. De esta forma, el modelo podrá convertirse en una herramienta de referencia para los análisis a nivel europeo.

Un desarrollo posterior, que aún está en vías de realización, consiste en la posibilidad de usar el modelo no solo para evaluaciones comparativas, ya que, fijando unos umbrales absolutos definidos a nivel político, y modificando el algoritmo multicriterio, también se podrán llevar a cabo análisis absolutos de una sola entidad territorial.

Referencias

Referencias

- Agency for Environmental Protection, Umbria – Italy, 2013. Datawarehouse.
- Banai, R., 2005. Land resource sustainability for urban development: spatial decision support system prototype. *Environmental Management*, 36(2), 282-296.
- Beratan, K.K., Kabala, S.J., Loveless, S.M., Martin, P.J.S., Spyke, N.P., 2004. Sustainability indicators as a communicative tool: building bridges in Pennsylvania. *Environmental Monitoring and Assessment* 94, 179e191.
- Boggia, A., Cortina, C., 2010. Measuring sustainable development using a multi-criteria model: a case study. *Journal of Environmental Management*, 91, 2301-2306.
- Boggia A., Rocchi L., Paolotti L., Musotti F., Greco S., 2014. Assessing Rural Sustainable Development potentialities using a Dominance-based Rough Set Approach. *Journal of Environmental Management*, 144, pp. 160-167.
- Boggia A., Massei G., Pace E., Rocchi L., Paolotti L., Attard M., 2018. Spatial multicriteria analysis for sustainability assessment: A new model for decision making. *Land Use Policy* 71 (2018) 281–292.
- Bohringer, C., Jochem, P.E.P., 2007. Measuring the immeasurable – a survey of sustainability indices. *Ecological Economics*, 63, 1-8.
- Bond, A., Morrison-Saunders, A., Pope, J., 2012. Sustainability assessment: the state of the art. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30,

53-62.

Bottero M., Comino E., Duriavig M., Ferretti V., Pomarico S., 2013. The application of a Multicriteria Spatial Decision Support System (MCSDSS) for the assessment of biodiversity conservation in the Province of Varese (Italy). *Land Use Policy*, 30, pp. 730- 738.

Canavese, D., Diquera Ortega, N.R., Queiros, M., 2014. The assessment of local sustainability using the fuzzy logic: an expert opinion system to evaluate environmental sanitation in the Algarve Region, Portugal. *Ecological Indicators*, 36, 711-718.

Chakhar, S., Martel, J.M., 2003. Enhancing geographical information systems capabilities with multi-criteria evaluation functions. *Journal of Geographic information and decision analysis* 7, 47–71.

Chakhar, S., Mousseau, V., 2007. An algebra for multicriteria spatial modelling. *Computer, Environment and Urban Systems* 31, 572–596.

Cinelli, M., Coles, S.R., Kirwan, K., 2014. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological Indicators*, 46,138-148.

Cinelli, M., Coles, S.R., Nadagouda, M.N., Błaszczński, J., Słowiński, R., Varma, R.S., Kirwan, K., 2015. A green chemistry-based classification model for the synthesis of silver nanoparticles. *Green Chem.* 17, 2825–2839.

Comisión Europea, 2012. La innovación al servicio del crecimiento

sostenible: una bioeconomía para Europa, Bruselas, 13.2.2012, COM(2012) 60 final.

Consultative Group on Sustainable Development Indicators, 2006. Dashboard of Sustainability.

Cortina, C., Boggia, A., 2014. Development of policies for Natura 2000 sites: a multi-criteria approach to support decision makers. *Journal of Environmental Management*, 141, 138-145.

Cowen, D.J., 1988. "GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?" *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54:1551-5.

Dahl, A.L., 2012. Achievements and gaps in indicators for sustainability. *Ecological Indicators*, 17, 14-19.

Demesouka O.E., Vavatsikos A.P., Anagnostopoulos K.P., 2013. Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: Method, implementation and case study. *Waste Management*, 33, pp. 1190-1206.

European Environment Agency, 2006. Corine Land Cover 2006 –Italy.

EU Commission, 2010. Europe2020. A European strategy for smart, sustainable and inclusive growth.

EU Commission, "The Future of Food and Farming" (COM(2017) 713 final).

Ferretti, V., Pomarico, S., 2012. Integrated sustainability assessments: A spatial multicriteria evaluation for siting a waste incinerator plant in the Province of Torino (Italy). *Environment, Development and*

Sustainability, 14(5), 843-867.

Ferretti, V., Pomarico, S., 2013. An integrated approach for studying the land suitability for ecological corridors through spatial multicriteria evaluations. *Environment, Development and Sustainability*, 15(3), 859-885.

Fusco L. (a cura di), 1993. *Estimo ed economia ambientale: le nuove frontiere nel campo della valutazione*. Milano, Franco Angeli.

GIS Development Team, 2017. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://www.qgis.org/>.

Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R., 2001a. Rough set theory for multi-criteria decision analysis, *European Journal of Operational Research*, 129, 1-47.

Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, B., Stefanowski, J., 2001b. An Algorithm for Induction of Decision Rules Consistent with the Dominance Principle in Tsumoto et al. (eds) *Rough Sets and Current Trends in Computing* pp 304-313. Springer.

Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, B., Stefanowski, J., 2008. Dominance-Based rough set approach to interactive multi-objective optimization. In: Branke, J., Deb, K., Miettinen, K., Slowinski, R. (Eds.), *Multi-objective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches*. Springer-Verlag, Berlin.

Greene R., Luther J.E., Devillers R., Eddy B., 2010. An approach to GIS-based multiple criteria decision analysis that integrates exploration and

- evaluation phases: Case study in a forest-dominated landscape. *Forest Ecology and Management*, 260 (12), pp. 2102-2114.
- Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J.C., Öhman, M., Shyamsundar, P., Steffen, W., Glaser, G., Kanie, N., Noble, I., 2013. Policy: Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495, 305–307.
- Haertsch S., Smith A., 2012. Land use conflict mapping. Paper presented at the Planning Institute of Australia, 2012, National Congress, Adelaide, South Australia.
- Hwang, C.L., Yoon, K., 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications* Springer-Verlag, New York.
- Jelokhani-Niaraki M., Malczewski J., 2015a. A group multicriteria spatial decision support system for parking site selection problem: A case study. *Land Use Policy*, 42, pp. 492-508.
- Jelokhani-Niaraki M., Malczewski J., 2015b. Decision complexity and consensus in Web-based spatial decision making: A case study of site selection problem using GIS and multicriteria analysis. *Cities*, 45, pp. 60-70.
- Kang, M.G., Lee, G.M., 2011. Multicriteria evaluation of water resources sustainability in the context of watershed management. *Journal of the American Water Resources Association*, 47(4), 813-827.
- Kropp, W.W., Lein, J.K., 2012. Assessing the geographic expression of urban sustainability: A scenario based approach incorporating spatial

- multicriteria decision analysis. *Sustainability*, 4(9), 2348-2365.
- Liu, K., 2007. Evaluating Environmental Sustainability: An Integration of Multiple-Criteria Decision-Making and Fuzzy Logic, *Environmental Management*, 39(5), 721-736.
- Lombardi, P., Ferretti, V., 2015 New spatial decision support systems for sustainable urban and regional development. *Smart and Sustainable Built Environment*, 4(1), 45- 66
- Lopez, E., Monzon, A., 2010. Integration of sustainability issues in strategic transportation planning: A multi-criteria model for the assessment of transport infrastructure plans. *Computer-aided Civil and Infrastructures Engineering*, 25(6), 440-451.
- Macleod, C.J.A., Scholefield, D., Haygarth, P.M., 2007. Integration for sustainable catchment management. *Science of Total Environment*, 373(1-2), 591-602.
- Malczewski J., 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Malczewski J., 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 7(20), pp. 703-726.
- Malczewski J., 2010. Multiple criteria decision analysis and geographic information systems. In: Ehrgott, M., Figueira, J., Greco, S. (Eds.), *International Series in Operations Research & Management Science*, vol. 142. Springer, New York, pp. 369-395.

- Malczewski J., Rinner C., 2015. *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer.
- Manos, B.D., Papathanasiou, J., Bournaris, T., Voudouris, K., 2010. A DSS for sustainable development and environmental protection of agricultural regions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 164(1), 43-52.
- Massei, G., Rocchi, L., Paolotti, L., Greco, S., Boggia, A., 2014. Decision Support Systems for environmental management: A case study on wastewater from agriculture, *Journal of Environmental Management*, 146, 491-504.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. Behrens III W.W., 1972. *The limits to Growth*, Potomac Associates, Washington , D.C.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., 1993. *Oltre i limiti dello sviluppo*, Il Saggiatore, Milano.
- Ministry of Education – Spain, 2015. Statistics on training, labor market and education abandonment.
<http://www.mecd.gob.es/servicios-al-ciudadano/mecd/estadisticas/educacion/mercado-laboral.html>.
- Ministry of Environment – Spain, 2013. Statistics yearbook.
<http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-deestadistica/2013/default.aspx>.
- Ministry of Employment and Social Security – Spain, 2016. Statistics on expenditure for social services.

<http://www.empleo.gob.es/es/estadisticas/index.htm>.

Ministry of Transports and Communication, 2006. Urban Information System.

<http://visorsiu.fomento.es/siu/PortalSiu.html#app=54b0&db9-selectedIndex=0&388e-selectedIndex=0&4676-selectedIndex=0&f780-selectedIndex=0&4f42-selectedIndex=0&1f63-selectedIndex=2>.

Moffat, I., Hanley, N., Wilson, M.D., 2001. Measuring and Modelling Sustainable Development. The Parthenon Publishing Group, Bristol.

Munda, G., 2005. Multi-criteria decision analysis and sustainable development, in Figueira J., Greco S., Ehrgott M., editors, Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, 953-986, Springer, New York.

National Statistics Office – Italy, 2013. Datawarehouse. <http://dati.istat.it/>.

National Statistics Office – Spain, 2012. Enquiry on waste collection.

National Statistics Office – Spain, 2013. Enquiry on energy consumption. <http://www.ine.es/prensa/np899.pdf>.

National Statistics Office – Spain, 2014. Enquiry on firms innovation. <http://www.ine.es/prensa/np950.pdf>.

National Statistics Office – Spain, 2016. Statistics yearbook for 2016. <http://www.ine.gub.uy/anuario-estadistico>.

National Statistics Office – Spain, 2016. Enquiry on Information and

Communications Technology.

Ness, B., Urbel Piirsalu, E., Anderberg, S., Olsson, L., 2007. Categorising tools FOS sustainability assessment. *Ecological Economics*, 60, 498-508.

Nijkamp P. & Voogd H. (ed.it. a cura di Fusco Girard L.), 1989. *Conservazione e sviluppo: la valutazione nella pianificazione fisica*. Milano, Franco Angeli.

Official Journal of the European Communities (OJ) C112, 20 December 1973, page 7.

Ottomano, G., Govindan, K., Boggia, A., Loisi, R.V., De Boni, A., Roma, R., 2016a. Local Action Groups and Rural Sustainable Development. A spatial multiple criteria approach for efficient territorial planning. *Land Use Policy*, 59, 12-26

Ottomano, G., Loisi, R.V., Ruggiero, G., Rocchi, L., Boggia, A., Dal Sasso, P., 2016b. Using Analytic Network Process and Dominance-based Rough Set Approach for sustainable requalification of traditional farm buildings in Southern Italy. *Land Use Policy*, 59, 95-110

Ozawa C., 1999. Making the best use of technology. In Susskind L., McKearnan S., Larmer J.T. (Eds.). *The consensus building handbook: A comprehensive guide to reaching agreement*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications Inc., pp. 401-435.

Pollesch, N.L., Dale, V.H., 2016. Normalization in sustainability assessment: Methods and implications, *Ecological Economics*, 130, 195-208.

- Pope, J., Annandale, D., Morrison-Saunders, A., 2004. Conceptualising sustainability assessment. *Environ. Impact Assess. Rev.* 24, 595–616.
- Pöyhönen, M., Hämäläinen, R.P., 2001. On the convergence of multiattribute weighting methods. *European Journal of Operational Research* 129, 569e585.
- Prato, T., Herath, G., 2007. Multiple-criteria decision analysis for integrated catchment management. *Ecological Economics*, 63(1-2), 627-632.
- Raiffa H, 1969. Preferences for multi-attributed alternatives. RM5868-DOT/RC, The RAND Corporation, Santa Monica, CA.
- Ravetz, J., 2000. Integrated assessment for sustainability appraisal in cities and regions. *Environmental Impact Assessment Review*, 20(1), 31-64.
- Roy B., 1985. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Paris, Economica.
- Roy B., 1996. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*, Kluwer Academic Publishers.
- Sala, S., Farioli, F., Zamagni, A., 2013. Progress in sustainability science: lessons learnt from current methodologies for sustainability assessment: Part 1. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18,1653–1672.
- Sala, S., Ciuffo, B., Nijkamp, P., 2015. A systemic framework for sustainability assessment. *Ecological Economics*, 119, 314-325.
- Salo A., Hämäläinen R.P., 1995. Preference programming through

approximate ratio comparisons, *European Journal of Operational Research*, Vol. 82, Issue 3, pp. 458-475.

Sheppard, S.R.J., 2005. Participatory decision support for sustainable forest management: A framework for planning with local communities at the landscape level in Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(7), 1515-1526.

Shmelev, S.E., Labajos-Rodrigues, B., 2009. Dynamic Multicriteria Assessment of Macro Sustainability: Case Study of Austria. *Ecological Economics*, 68(10), 2560-2573.

Singh, R.K.S., Murty, H.R., Gupta, S.K., Dikshit, A.K., 2012. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, 15(1), 281-299.

Słowiński, R., Greco, S., Matarazzo, B., 2009. Rough sets in decision making. In: Meyers, A.R. (Ed.), *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. Springer, New York, New York, NY.

Store, R., 2009. Sustainable locating of different forest uses. *Land Use Policy*, 26(3), 610-618.

Sugumaran M., DeGroot J., 2011. *Spatial Decision Support Systems. Principle and Practices*. CRC Press, Boca Raton, London, New York.

UN, 2012. *The future We Want, Outcome document of the United Nations Conference on Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brazil*.

UN, 2015. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, Resolution A/RES/70/1 adopted by the General*

Assembly on 25 September 2015.

United Nations Conference on Trade and Development, 2015. Investment Policy Framework for Sustainable Development, UNCTAD/WEB/DIAE/PCB/2015/3, United Nations.

Van de Wall E., 1975. Foundations of the Model of Doom, "Science", 26/09/1975.

Von Winterfeldt, D., Edwards, W., 1986. Decision Analysis and Behavioral Research. Cambridge University Press, Cambridge.

Waas T., Hugé J., Block T., Wright T., Benitez-Capistros F., Verbruggen A., 2014. Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development, *Sustainability*, 6, 5512-5534.

WCED, 1987. Our Common Future (The Bruntland Report). Oxford University Press.

White, D., Fennessy, S., 2005. Modeling the suitability of wetland restoration potential at the watershed scale. *Ecological Engineering*, 24(4), 359-377.

Zamagni S., 1994. Economia e Etica, AVE, Roma.

Zeleny M., 1993. Alla ricerca di un equilibrio cognitivo: bellezza, qualità, armonia. In: Fusco Girard L. (a cura di) *Estimo ed economia ambientale: le nuove frontiere nel campo della valutazione*. Milano, Franco Angeli.

Zhang L., 2013) Lin's blog <https://blogs.warwick.ac.uk/zhanglin/daily/220413/>

Anexos

Anexo 1. Indicio de calidad

TERRITORIAL SUSTAINABILITY EVALUATION FOR POLICY MANAGEMENT: THE CASE STUDY OF ITALY AND SPAIN. Paolotti L., Del Campo Gomis F.J., Agulló Torres A.M., Massei G., **Boggia A.** *Environmental Science and Policy* (2019), 92, pp. 207-219

Abstract

Sustainable development is nowadays the guiding principle to address policies and development strategies at global level. European Union is the main reference point as concerning the sustainability policies in Europe, which have to combine economic, social and environmental considerations in an integrated way. UE should set common objectives of sustainable development at Union level, to be calibrated on the basis of the different countries situation and territorial and local characteristics. The main aim of this paper is to use the tested model GeoUmbriaSUIT, found very suitable for territorial sustainability assessment, for evaluating sustainability at territorial level of two different European countries, i.e. Italy and Spain. Two of the Mediterranean countries “par excellence” were analysed, to individuate the development patterns of both the countries, according to the three dimensions of sustainability. The results of the analysis showed the presence of a decreasing trend of sustainable development going from the north to the south, for both the countries. Moreover, Italy and Spain seemed to have similar patterns for the social and economic dimensions, while they had different performances for the environmental one. This kind of information and other results found with

this analysis are very useful for constructing policy models, and addressing specific measures looking at the local situation of the single regions, their territorial position, their strengths or weakness in relation to the different dimensions of sustainability.

Keywords: Sustainable development, Sustainability assessment, Policies support, MCDA-GIS integration.

1. Introduction

Over the last 15 years the concepts of “sustainability” and “sustainable development” have obtained a pervasive growth of interest (Pope et al., 2004). Many of the actual definitions of sustainability proposed are based upon the ‘three-pillar’ or ‘triple bottom line’ (TBL) concept (Pope et al., 2004) which includes and integrates environmental, economic and social dimensions (Ottomano et al., 2016).

Sustainable development is actually the regulatory concept for defining policies and strategies at worldwide level (Boggia et al., 2018). Every policy addressed to a particular production sector, or even aimed to general planning and regulation, should be implemented in the context of sustainability.

European Union is the main reference point as concerning the sustainability policies in Europe. European Commission states that there should be a shift towards new, sustainable growth that combine economic,

social and environmental considerations in a holistic and integrated way (COM(2017) 713 final).

The main aim of European Union is to set common objectives of sustainable development at Union level, to be calibrated and adjusted on the basis of the different countries situation and, within each country, on the basis of the composite territorial areas and local characteristics. It is clear, therefore, as there could exist measures that are common to the totality of Member Countries, as well specific territorial measures, tailored on the basis of sustainable development needs, strengths and weaknesses of the different subareas within a country.

In particular, in the distribution of funds for the growth of territories decision makers should sustain those areas having difficulties in reaching an equilibrium between economic wealth, social equality and environmental preservation, and therefore needing more immediate incentives towards sustainability (UNCTAD, 2015).

In order to do this, local systems must be analyzed for having actual and accurate evaluations of specific territorial situations, and to determine thorough planning strategies to adopt (Ravetz, 2000).

The main aim of this paper is to use an already tested model, found very suitable for territorial sustainability assessment, i.e. GeoUmbriaSUIT (Boggia et al., 2018) for evaluating sustainability at territorial level of two different European countries.. Specifically, we examined two typical Mediterranean countries, i.e. Italy and Spain, in order to investigate the development patterns of both the countries, by means of a well-recognized

territorial sustainability assessment model.

Italy and Spain are European countries in which development has focused on some important “urban poles”, generating different levels of sustainability within the country. Geographically thinking, for both of them, it has always been spoken of the “developed North” versus the “less developed South”. This should be confirmed by a complete and integrated analysis of sustainability at the most proper territorial level, considering all the three dimensions, economic, social and environmental, in order to individuate certain development patterns according to each dimension. A crucial characteristic of sustainability assessment is its ability to provide decision makers with an evaluation of different territorial systems, along several time reference periods, in order to define measures to be applied in a specific area (Ness et al., 2007).

As sustainability is a multidimensional concept, the appropriate instrument for analyzing it according to a multidimensional representation is a suitable set of indicators that must be an integral part of an assessment methodology (Ness et al., 2007; Moffat et al., 2001).

Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) is one of these methodologies (Cinelli et al., 2014), and has been designated as one of the most proper instruments for sustainability evaluation (Munda, 2005; Bond et al., 2012), as its intrinsic nature consists of dealing with multidimensional evaluation processes. Multi-criteria analyses are used to solve complex problems, evaluating multiple alternatives, by assessing several variables and assigning specific importance to each of them (Boggia

and Cortina, 2010).

GeoUmbriaSUIT can be used at local, regional and national level, for comparing sustainability of different territorial areas. The three dimensions of sustainability are represented by means of a specific set of indicators. The model has been proposed as the first Multi-Criteria Spatial Decision Support System (MCSDSS), based on a complete integration of MCDA and GIS, especially developed for evaluating sustainability, and it has been already tested applying it to an Italian case study (Ottomano et al., 2016) and to the case study of Malta (Boggia et al. 2018). In literature, applications related to MCDA- GIS strategic sustainable planning are still few. Some examples can be found in Banai, 2005; Ferretti and Pomarico, 2012; Lopez and Monzon, 2010; Manos et al., 2010).

This is a very first application of GeoUmbriaSUIT which considers two different EU countries, trying to detecting similar development patterns, at the same time the differences existing according to the sustainability dimensions. It is known that the practice of ranking countries can stimulate decision makers to improve their position (Dahl, 2012). In this work, different territorial areas are compared within each country, in particular the comparison has been made among the 20 regions officially established in Italy, and among the 17 autonomous communities established in Spain. In fact, even if the national level of sustainability reached is crucial to be investigated, sustainable development is considered achievable if it originates on the local level; a bottom-up approach from local to supra-national (Ravetz, 2000). This kind of application and the results of our case studies could be helpful for decision makers at European, national, and

local level, for evaluating sustainability both globally and locally, acting when necessary at the institutional level closest to the people (according to the subsidiarity principle - European Communities, 1973), and taking proper decisions within all the steps of planning, i.e. ex ante evaluation, in progress monitoring and ex post evaluation.

2. Method

GeoUmbriaSUIT (Boggia et al., 2018) is a model for sustainability assessment at territorial level. It integrates the Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) framework with Geographic Information Systems (GIS) (Massei et al., 2014). Thus, it is implemented within the field of spatial MCDA. For general information about spatial MCDA, i.e. Multi-Criteria Spatial Decision Support Systems (MCSDDS), see Malczewski, 2010. MCSDDS are constituted of three main parts: a geographical component (database and management system), a MCDA model-based system and an interface. How much the MCDA and GIS parts are integrated and the presence of a unique interface determines the level of integration of the system (Boggia et al., 2018). Details about the theoretical ground of integration are enclosed in Chakhar and Martel (2003), Chakhar and Mousseau (2007) and Malckewski (2010).

GeoUmbriaSUIT allows for a complete integration¹ of MCDA and GIS. It can be used at local, regional and national level, for comparing

¹ It means that MCDA and GIS use the same interface and the same database.

sustainability of different territorial areas. The three dimensions of sustainability are represented by means of a specific set of indicators.

A complete description of the model GeoUmbriaSUIT is presented in Boggia et al., 2018 and in Ottomano et al., 2016; a manual with a guide to installation are available on line², as the model is a free and open source plugin, working within QuantumGIS (QGIS Development Team, 2013).

Besides the advantage of allowing a complete MCDA-GIS integration, following the main characteristics of the model are listed (Boggia et al, 2018):

- The model is specifically projected for performing strategic sustainable planning and policy.
- It can be used at any territorial level (from local to supra-national).
- It deals both with the concepts of strong and weak sustainability. The user chooses which approach to apply.
- The interface is very simple, intuitive and guides the user in performing the analysis. This allows the model to run easily, even for not experts in GIS or MCDA.
- A back analysis through DRSA (Greco et al., 2001a) is integrated in the model, allowing for traceability, transparency and avoiding the concept of a model as a black box.
- The open source characteristics of the model (*GNU GPL ver. 3* license) allow for open access to anyone interested in the model; everyone can download, use, and improve the model itself.

² <http://maplab.alwaysdata.net/geoUmbriaSUIT.html>.

The plugin uses a geographic vector file (e.g. a shapefile), where the graphic data represent the study area and the single evaluation units within it to be compared, i.e. the alternatives (e.g. the regions of a country, or the municipalities of a region, exc.), while the alphanumeric data (attribute table), describe the environmental, economic and social aspects related to the evaluation units by means of a set of indicators (criteria) (Boggia et al, 2018). The multi-criteria algorithm used within GeoUmbriaSUIT is TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Design) (Hwang and Yoon, 1981). In this method the ranking of the alternatives is built on the basis of the concept that the alternative to choose is the one with the minimum distance from an ideal best alternative and the maximum distance from an ideal worst alternative. Therefore, the alternatives are ranked according to their distance from the worst point and their closeness to the ideal point for every indicator. This method has been chosen because it allows complete personalization. Unless otherwise indicated by the user, the highest value for each indicator becomes the ideal point, and the smallest the worst point, or vice versa, depending on whether the single indicator is considered a cost or gain. In the case of the use of indicators coming from laws or regulations, in which standard or thresholds for the values are reported, that standards or threshold values can be set in the model as the ideal and/or the worst point, and this is an added value of the TOPSIS method.

Three different indexes, representing the three dimensions of sustainability, can be calculated: *Environmental Index* (called *EnvIdeal*), *Economic Index* (*Ecoldeal*) and *Social Index* (*SocIdeal*). Also an optional

global index of sustainability, can be obtained (*SustIdeal*), by weighting the values of the three indices that compose it. Obviously, this last index is constructed according to the concept of weak sustainability, differing from the previous three that follow the concept of strong sustainability. Therefore, both the approaches are allowed in the model, depending on the choice of the user. The alphanumeric output of the model is the values of the indices. The graphic output consists of maps, cartograms and graphs, showing the multi-criteria results, including a “bubble graph”, in which the three dimensions of sustainability are represented.

The plugin has the possibility to implement the DOMLEM algorithm (Greco et al., 2001b), based on the Dominance Based Rough Sets Approach (DRSA) (Greco et al., 2001a). Through the use of this algorithm, some “decision rules” can be extracted, in order to ensure transparency and track the results, going back from the final score to input data.

3. Indicators and case study

The analysis related to the present case study was conducted between 2013 and 2017, and it was funded by the Agency for Environmental Protection of Umbrian Region (Italy), and by the University Miguel Hernandez of Elche (Spain).

The territories analyzed were the European countries Italy and Spain. The model GeoUmbriaSUIT was applied, separately, for both the countries. The territorial units being evaluated were the 20 Regions belonging to Italy, and the 17 Autonomous Communities belonging to Spain (Fig. 1a and 1b).

For simplicity, in the following also the Autonomous Communities will be called “regions”.



Fig. 1a – Regions belonging to Italy

Both Italy and Spain are Mediterranean countries and in some cases seem to have similar development and culture patterns. The primary objective of the analysis was to analyze the level of sustainability of the two countries, in relation to the objectives established from the European

Strategy 2020 (European Commission, 2010), and after that making a comparison between the countries to individuate similar patterns of sustainability and as a consequence of potential policies.

The Europe 2020 strategy has been the EU's agenda for growth and jobs for the decade 2010-2020. It emphasized smart, sustainable and inclusive growth as a way to overcome the structural weaknesses in Europe's economy, improve its competitiveness and productivity and underpin a sustainable social market economy (<https://ec.europa.eu>).

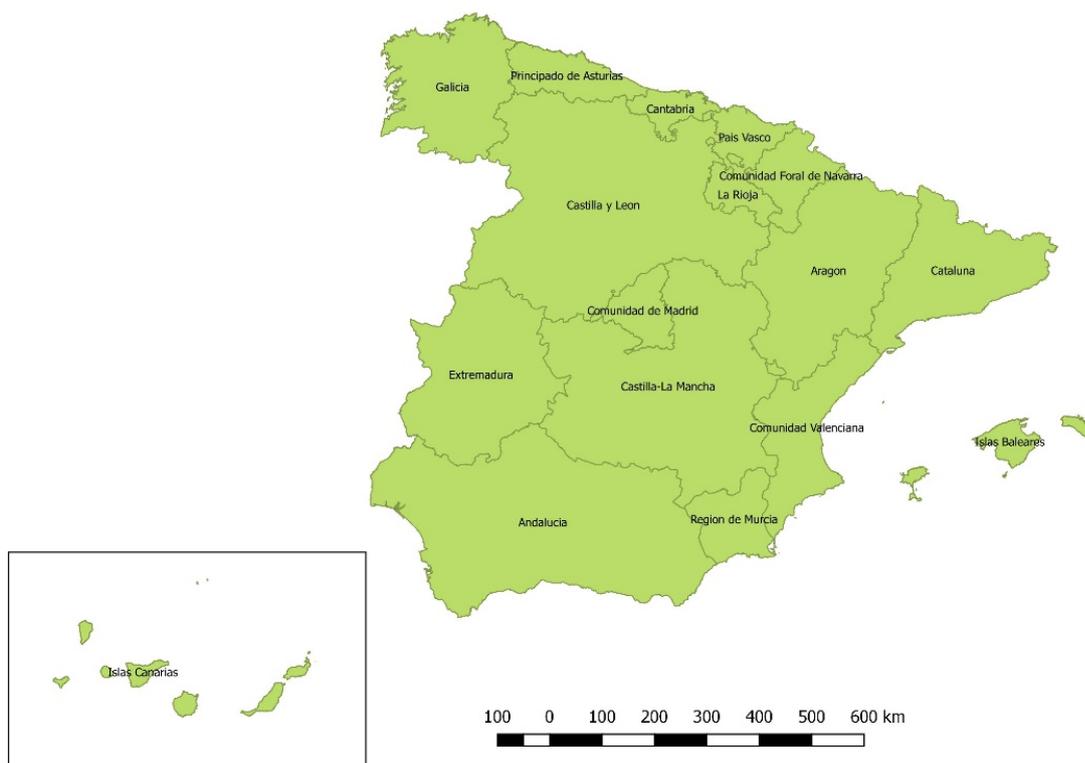


Fig. 1b – Autonomous Communities belonging to Spain

Considering this context, a set of indicators, the most possibly related to the 2020 Strategy objectives³, was chosen. The chosen indicators were divided into three main categories: economic, social and environmental indicators, according to the dimensions of sustainability analyzed by the model GeoUmbriaSUIT.

The set of indicators was tested during the preliminary phase of construction of the whole model, contemporary to the first implementation of GeoUmbriaSUIT. In this preliminary phase, conducted by University of Perugia together with Environmental Protection Agency of Umbrian Region (Italy), the consistency, representativeness and reproducibility of indicators was evaluated, by means of several focus groups involving different stakeholders (mainly scholars and public policy makers), and arriving to a final set of indicators that is the one proposed in this study.

Most of the data were collected thanks to the rich database of Italian and Spanish National Statistics Offices. Other data were collected from various Ministries database (for Spain) and from the Agency for Environmental Protection (for Italy). Data refers mainly to the years going from 2013 to 2016. The strength of the analysis resided in the fact that, thanks to the huge work of the relative National Statistics Offices, it was possible to collect almost exactly the same typology of data and indicators, for the two countries. In this way, the comparison in terms of sustainability

³https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy-coordination/eu-economic-governance-monitoring-prevention-correction/european-semester/framework/europe-2020-strategy_en

(reported in the discussion) became logical and fluent.

Table 1 presents the meaning of each indicator used in the analysis, and the relative reference unit and source. In few cases the reference units of the indicators differ between Italy and Spain (in particular, only for indicators E5, En3 and En4), but this is not a relevant element, as the analyses for the two countries were carried out separately. Anyway, those indicators having different reference units for Italy and Spain represented exactly the same topic.

Indicator	Description and reference unit	Source
Economic indicators		
E1. Spending on R&D of public and private enterprises	Represents the internal expenses in Research & Development (% on Gross Domestic Product - GDP).	Italy: National Statistics Office, 2013 Spain: National Statistics Office 2016 (reference to 2014)
E2. Poverty index	Represents the poverty risk rate, in relation to families living under the "International Standard of Poverty Line - Ispl" (%).	Italy: National Statistics Office, 2013 Spain: National Statistics Office 2016 (reference data 2014)
E3. Sales volume of economic units	Represents the production value of firms on the total firms number (Euros/ number of firms).	Italy: National Statistics Office, 2013 Spain: National Statistics Office 2016 (reference data 2014)
E4. Innovative firms (product and/or process)	Represents the firms that have introduced innovation, in products or in processes, as percentage on the total firms number (%).	Italy: National Statistics Office, 2013 Spain: National Statistics Office 2016 (Enquiry on firms innovation 2014)
E5. Labor productivity	Represents the added value with basic current prices, on the total employed people (Italy: Thousands of euros; Spain: Euros/inhabitant).	Italy: National Statistics Office, 2013 Spain: National Statistics Office 2016 (reference data 2015)
E6. Available income per inhabitant	It is the average annual net income per person (Euros/inhabitant).	Italy: National Statistics Office, 2013 Spain: National Statistics Office 2016 (reference data 2013)
Social indicators		
S1. Drop out of school	Represents the rate of young people who leave their studies prematurely (%).	Italy: National Statistics Office, 2013 Spain: Ministry of Education, 2015
S2. Population aged 30-34 years with university degree	Population between 30 and 34 who have obtained a university degree (%).	Italy: National Statistics Office, 2013 Spain: Ministry of Education, 2015
S3. Final expenditure for education and training	Represents the total public expenditure for education and	Italy: National Statistics Office, 2013

	training activities (Euros/inhabitant).	Spain: National Statistics Office, 2016 (Reference data 2013)
S4.Unemployment rate	Represents the most recent updated rate of unemployment (%).	Italy: National Statistics Office, 2013 Spain: National Statistics Office, 2016 (Reference data 2015)
S5.Per capita expenditure for welfare and social services	Represents the total public expenditure for social services, like for example for family and minors, disabled, dependencies, elderly, immigrants and nomads, poverty, adult discomfort and homelessness (Euros/inhabitant).	Italy: National Statistics Office, 2013 Spain: Ministry of Employment and Social Security, 2016
S6.Degree of broadband diffusion in business	Represents the percentage of firms having broadband on the total of firms (fixed or mobile) (%).	Italy: National Statistics Office, 2013 Spain: National Statistics Office, Enquiry on Information and Communications Technology, 2016
Environmental indicators		
En1.Electricity consumption covered by renewable sources	Represents the renewable energy consumption with respect to the total demand for electricity (%).	Italy: Agencies for Environmental Protection, 2013 Spain: National Statistics Office – Enquiry on energy consumption, 2013
En2.Electricity consumption	Represent the total electricity consumption (Italy: KWh/inhabitant; Spain: Euros/inhabitant).	Italy: Agencies for Environmental Protection, 2013 Spain: National Statistics Office – Enquiry on energy consumption, 2013
En3.Greenhouse gas emissions	Represents the amount of greenhouse gas emissions, in terms of CO2 equivalent (ton CO2 equiv/inhabitant).	Italy: Agencies for Environmental Protection, 2013 Spain: Ministry of Environment, 2013
En4.Municipal waste: Separated collection	Represents the percentage of waste separately collected, on the total waste produced (Italy: %; Spain: Ton/inhabitant).	Italy: Agencies for Environmental Protection, 2013 Spain: National Statistics Office – Enquiry on waste collection, 2012
En5.Expenditure for environmental protection	Represents the amount of public expenditure for environmental protection, for avoiding, reducing and eliminating pollution and other environmental problems (Euros/inhabitant).	Italy: National Statistics Office, 2013 Spain: National Statistics Office, 2016
En6.Artificial areas/regional surface	Represents the urbanized area of a region in relation to the total land area (%).	Italy: CORINE Land Cover Map (EEA, 2006) Spain: Ministry of Transports and Communication – Urban Information System, 2006.

Table 1 – Indicators used in the case studies and relative meaning

The application of the TOPSIS method required the establishment of a set of weights for each indicator. In order to assign weights, the SWING method was applied (von Winterfeldt and Edwards, 1986). This method consists in asking a group of decision makers at regional level to consider

an alternative (not real) having all the indicators at the worst level. The second step is to choose the first indicator that the decision maker would like to move to the best level, according to his view. To this, 100 points are assigned. The procedure continues, considering the second most desirable indicator improvement, assigning points less than 100, and so on for all the indicators. At the end of the procedure the given points are normalized to sum up to one (Pöyhönen and Hämäläinen, 2001).

The guiding criterion for the decision makers in the SWING process has been that of giving priority to those issues, environmental, social and economic, that in that moment are most debated at local but also global level, and that, therefore, represent critical issues to be addressed. A collaborative process of decision makers, based on communication and participation would improve the efficiency results. (Beratan et al., 2004). Four decision makers per each of the two considered countries have been interviewed, therefore eight in total. Their field of expertise was land planning and sustainable development. To manage the process and to get the final weight values we used the WINPRE software (Salo A. and Hämäläinen, 1995), which is able to estimate the level of uncertainty in the weights assignment. In this case, we got a low level of uncertainty, which means that the bias risk is minimized. Table 2 shows the final weights assigned to the indicators.

Indicator	Normalized weight
E1.Spending on R&D of public and private enterprises	0.27
E2.Poverty index	0.27
E3.Sales volume of economic units	0.09
E4.Innovative firms (product and/or process)	0.14
E5.Labor productivity	0.09

E6. Available income per inhabitant	0.14
S1.Drop out of school	0.25
S2.Population aged 30-34 years with university degree	0.21
S3.Final expenditure for education and training	0.08
S4.Unemployment rate	0.25
S5.Per capita expenditure for welfare and social services	0.08
S6.Degree of broadband diffusion in business	0.13
En1.Electricityconsumption covered by renewable sources	0.21
En2.Electricity consumption	0,21
En3. Greenhouse gas emissions	0.21
En4.Municipal waste: Separated collection	0.18
En5.Expenditure for environmental protection	0.07
En6.Artificial areas/regional surface	0.11

Table 2 - Final normalized weights assigned to the indicators.

4. Results and discussion

The indicators described in paragraph 3 were inputted within GeoUmbriaSUIT model, together with the related weights. In this paragraph a brief description of the results produced by the model, for both the case studies of Italy and Spain is reported. The outputs obtained were both alphanumeric and graphic, representing the rankings obtained by means of the application of TOPSIS method.

Table 3 and 4 report the scores of the different indexes (*Envldeal*, *Ecoldeal*, *Soclddeal*), indicating the scores for the three dimensions of sustainability according to strong sustainability principle.

	Economic <i>Ecoldeal</i>	Social <i>Soclddeal</i>	Environmental <i>Envldeal</i>
Trentino Alto Adige	0,5611	0,7877	0,5723
Valle DAosta	0,4428	0,6011	0,7973
Piemonte	0,9254	0,6189	0,2295
Emilia Romagna	0,7244	0,7164	0,1513
Friuli Venezia Giulia	0,6606	0,746	0,1255
Lombardia	0,7092	0,6744	0,1474
Veneto	0,6047	0,6727	0,1845
Liguria	0,5859	0,6435	0,1989
Toscana	0,5303	0,6336	0,25
Lazio	0,5036	0,6532	0,2295

Marche	0,4377	0,6099	0,2408
Abruzzo	0,3535	0,6319	0,2919
Umbria	0,3681	0,6803	0,176
Molise	0,171	0,5511	0,3437
Basilicata	0,1098	0,5184	0,3545
Campania	0,2889	0,2152	0,302
Calabria	0,0921	0,2772	0,3792
Sardegna	0,1711	0,3068	0,2187
Puglia	0,1168	0,3118	0,197
Sicilia	0,1432	0,2233	0,2367

Table 3 – Indexes scores of GeoUmbriaSUIT – Italy

	Economic <i>Ecoldeal</i>	Social <i>Socideal</i>	Environmental <i>Envldeal</i>
Pais Vasco	0,9836	0,9623	0,4078
Comunidad Foral de Navarra	0,8443	0,8399	0,5153
Comunidad de Madrid	0,6082	0,7002	0,5127
Castilla y Leon	0,4308	0,6107	0,6966
La Rioja	0,5458	0,5534	0,6221
Cataluna	0,6243	0,562	0,495
Aragon	0,5293	0,6017	0,5432
Galicia	0,4462	0,6281	0,5955
Cantabria	0,3558	0,7231	0,4121
Principado de Asturias	0,4238	0,6311	0,2494
Comunidad Valenciana	0,3659	0,4065	0,5213
Castilla-La Mancha	0,2451	0,2855	0,6661
Extremadura	0,1506	0,2214	0,7584
Islas Baleares	0,244	0,3619	0,5138
Region de Murcia	0,3046	0,2635	0,5145
Andalucia	0,2494	0,1034	0,5751
Islas Canarias	0,1515	0,216	0,5287

Table 4 – Indexes scores of GeoUmbriaSUIT – Spain

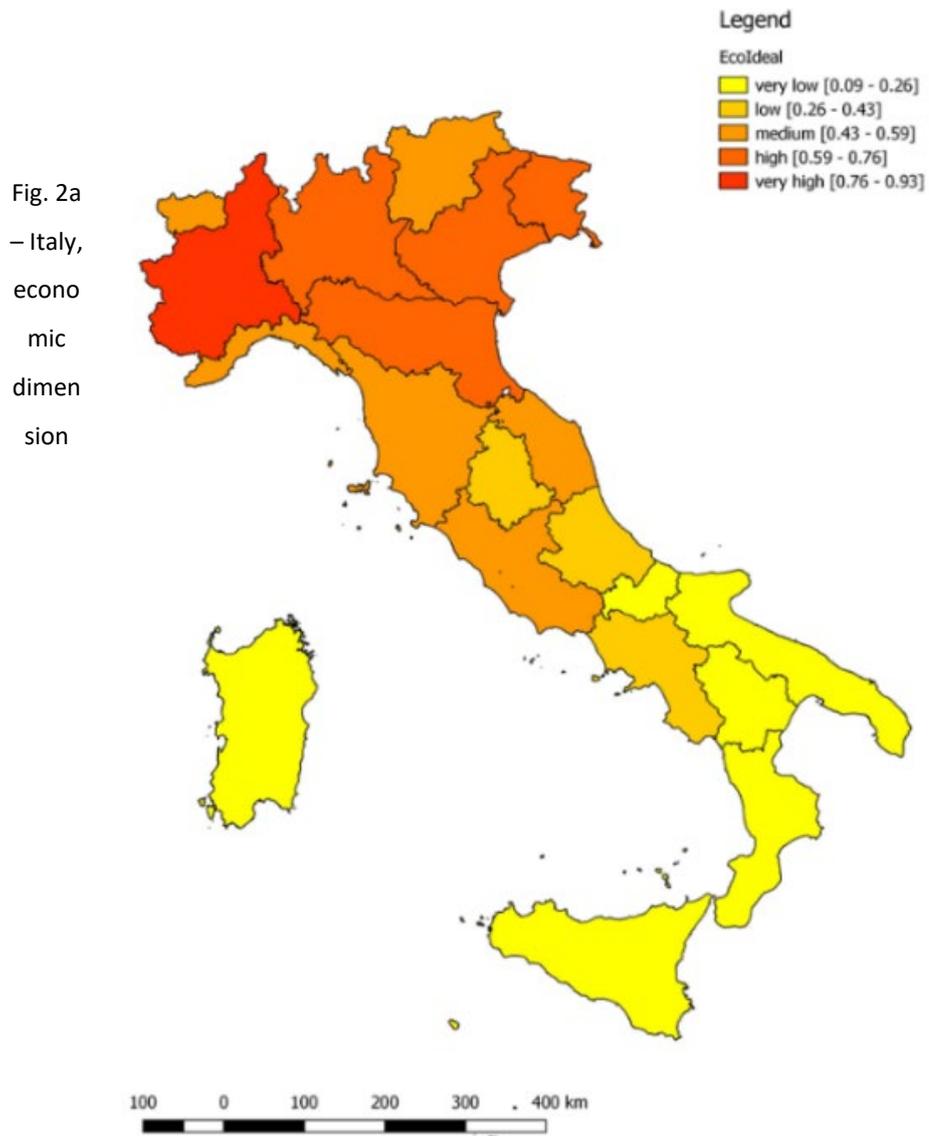
Figures 2 and 3 show the geographical outputs for the two countries, representing the multi-criteria analysis results related to each index and to the overall sustainability evaluation, for the territorial areas investigated. The classification of alternatives is on a 5-classes scale, from very low to

very high (range based on QGIS function, according to equal interval algorithm). Maps give a quick and easy understanding of the geographic distribution of the indices, according to the chosen territorial level (Boggia et al., 2018).

Concerning the economic situation for Italy (Fig. 2a), according to the results some regions in the northern part of the country belong to high (four regions) and very high classes (one region), three regions in the north and three in the center belong to the medium class, while the rest of the regions (in center, southern Italy and islands) belong to the low or very low classes. Therefore, it is clear as the economic index becomes worse from north to south. In relation to the environmental dimension (Fig. 2b), the context is quite different, because the majority of the Italian regions (independently from the territorial localization) belong to the very low class, excepting for two regions in the north staying in the high and very high classes, and five regions in the south belonging to the low class. None of the regions belongs to the medium class. Looking at the results from a social point of view (Fig 2c) some improvements seem to be present, as the majority of regions belongs to the high or very high classes (in the north of Italy, center, and some regions of the south), while five regions in the south belong to the very low class and only two regions belong to the medium class.

Global sustainability is shown in fig. 2d. For building the global index, the three indexes *Ecoldeal*, *Envideal* and *Socioldeal* were considered equally important. In general, the northern and central part of Italy appears having better results (three regions in very high, six regions in high

and four regions in medium classes), while the south and the islands have a lower level of global sustainability (two regions in low, five regions in very low class).



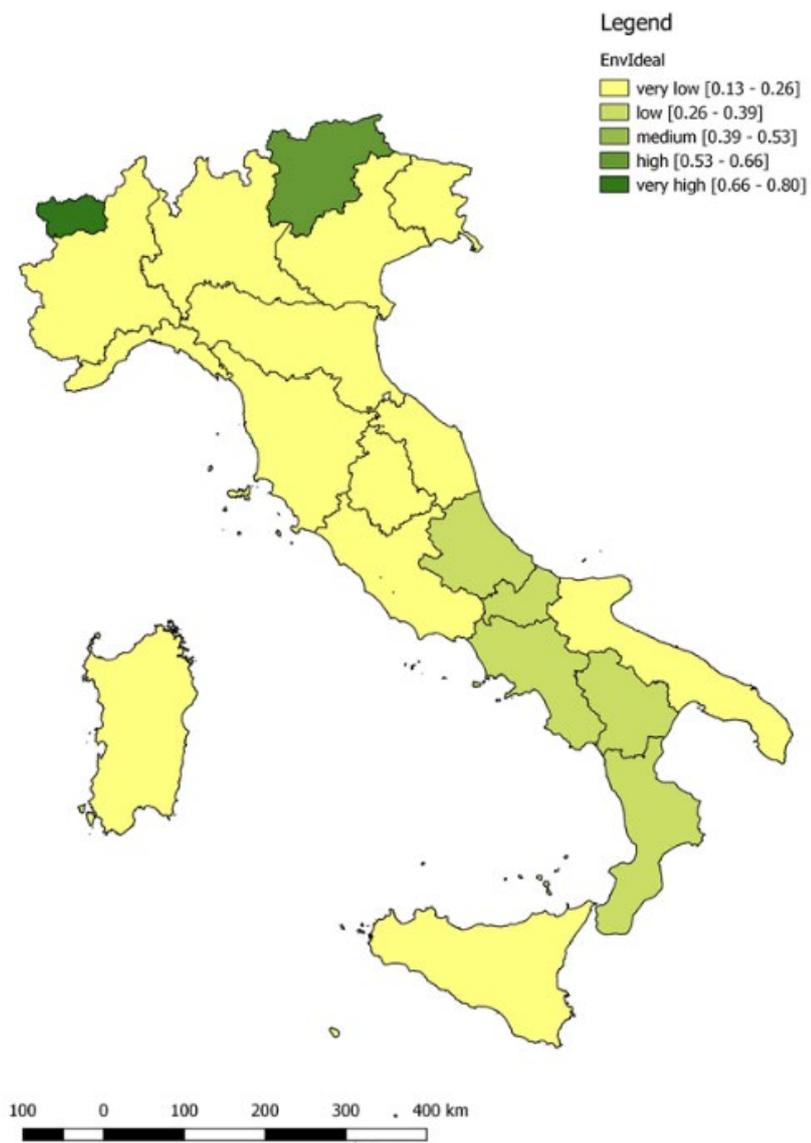


Fig. 2b – Italy, environmental dimension

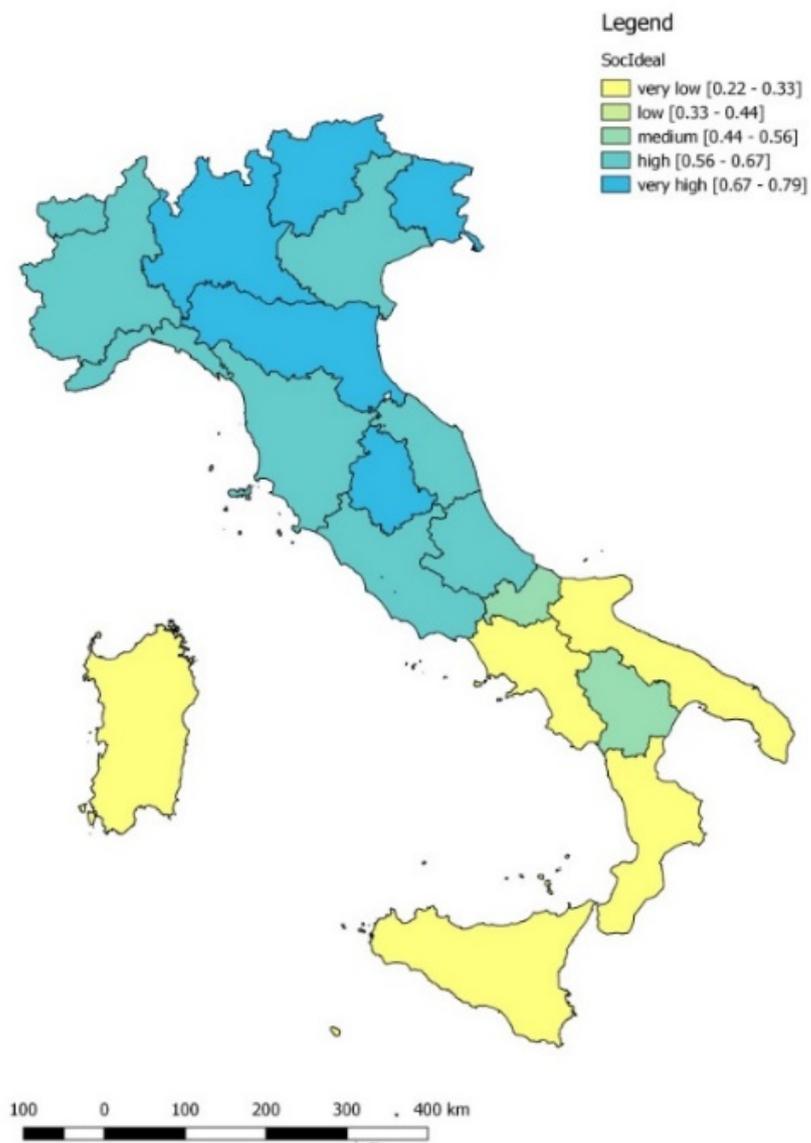


Fig. 2c – Italy, social dimension

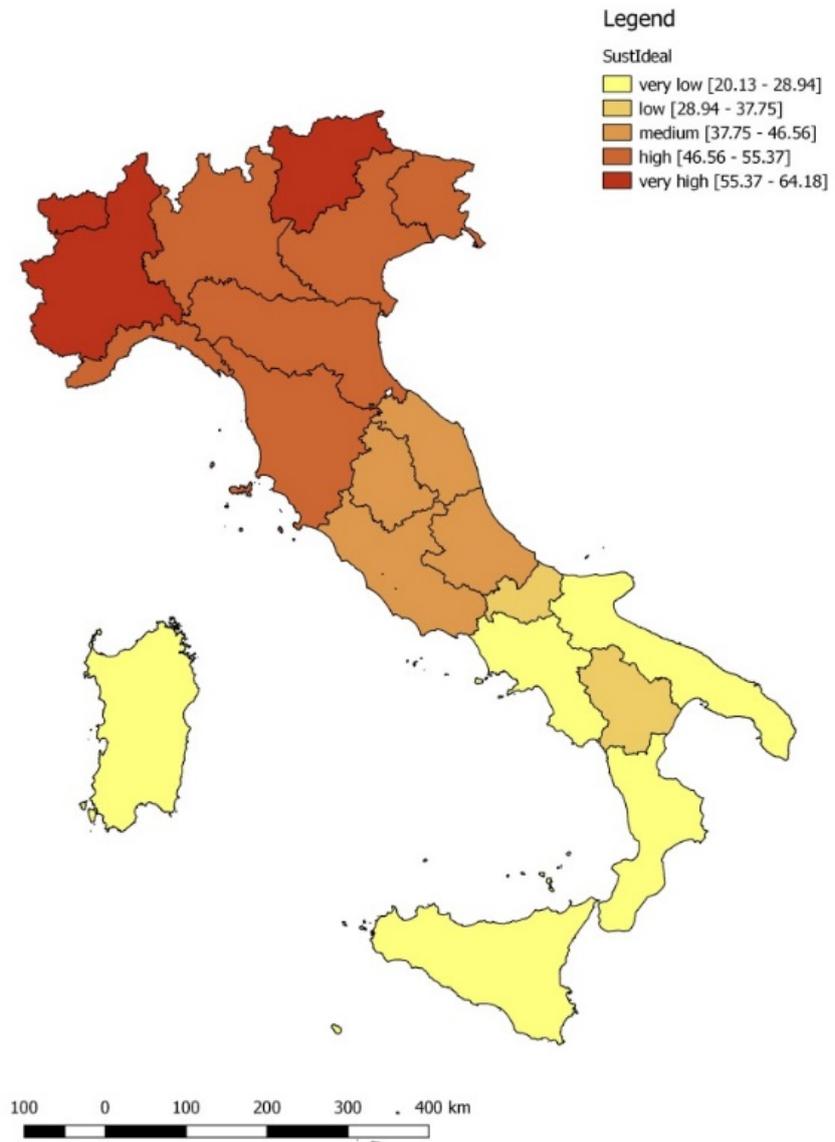


Fig. 2d – Italy, global sustainability

In relation to the case study of Spain, the economic index results (Fig. 3a) show that the majority of the regions belong to the low (four regions) and very low classes (six regions), while only three regions have medium results and two regions belong to the high class and very high class, each one located in the most economic developed areas of Spain. Concerning the environmental dimension analysis (Fig. 3b), the regions with the very high scores are the three big ones situated in the central part of Spain, other three regions belong to the high class, while eight regions belong to the medium class (all of the six eastern regions, the central region and the two islands regions). Three remaining regions (located all in the north) belong to the low (two regions) and very low classes (one region). The social index map (Fig. 3c) shows is a sort of division in two parts of the country: the regions located in the north/center of the country belong to medium (four regions), high (three regions) or very high (three regions) classes; the regions located in the south, at the contrary, belong to the low (three regions) or very low classes (four regions).

Finally, the global evaluation of sustainability (Fig. 3d), considering the three dimensions equally important, shows a decrease of sustainability from north to south: the very high (two regions), the high (two regions) and the medium classes (five regions) are in the north half of the country, while the low class (two regions, except one of them that it is in the north) and the very low one (six regions) are in the south part of the country.

Legend

EcoIdeal

- very low [0.14 - 0.31]
- low [0.31 - 0.48]
- medium [0.48 - 0.65]
- high [0.65 - 0.81]
- very high [0.81 - 0.98]

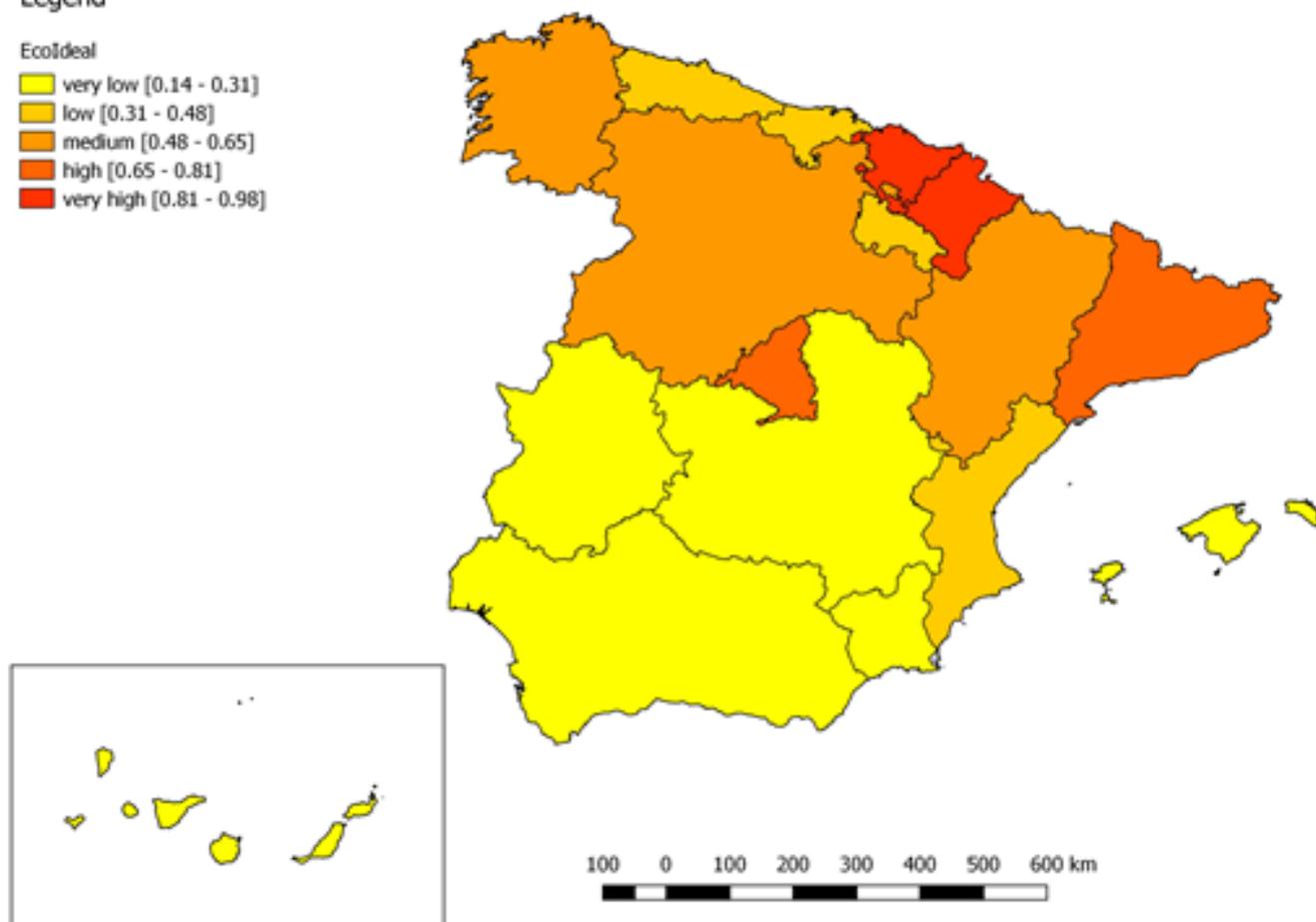


Fig. 3a - Spain, economic dimension

Legend

EnvIdeal

- very low [0.25 - 0.35]
- low [0.35 - 0.45]
- medium [0.45 - 0.55]
- high [0.55 - 0.66]
- very high [0.66 - 0.76]

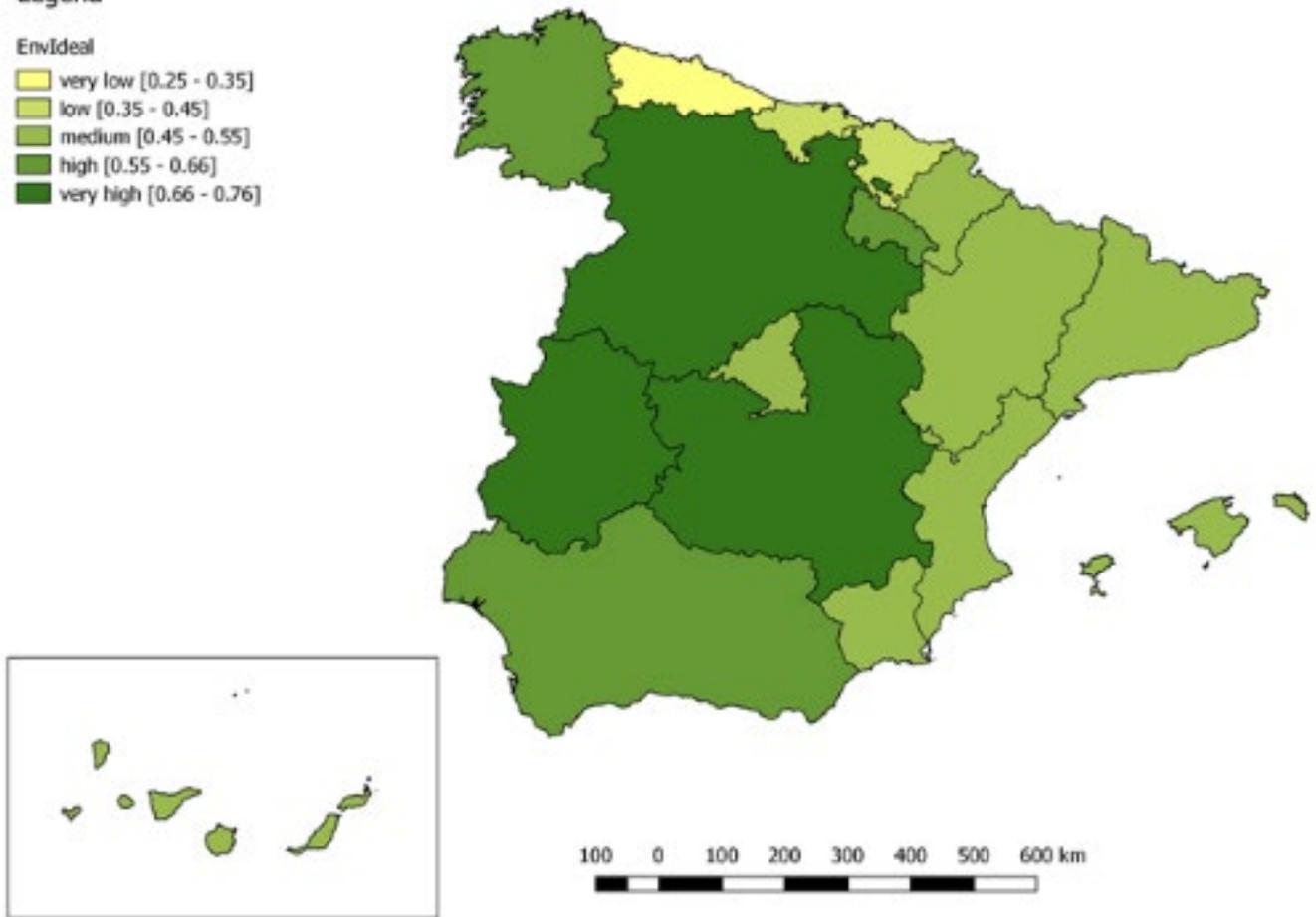


Fig. 3b - Spain, environmental dimension

Legend

SocIdeal

- very low [0.10 - 0.28]
- low [0.28 - 0.45]
- medium [0.45 - 0.62]
- high [0.62 - 0.79]
- very high [0.79 - 0.96]

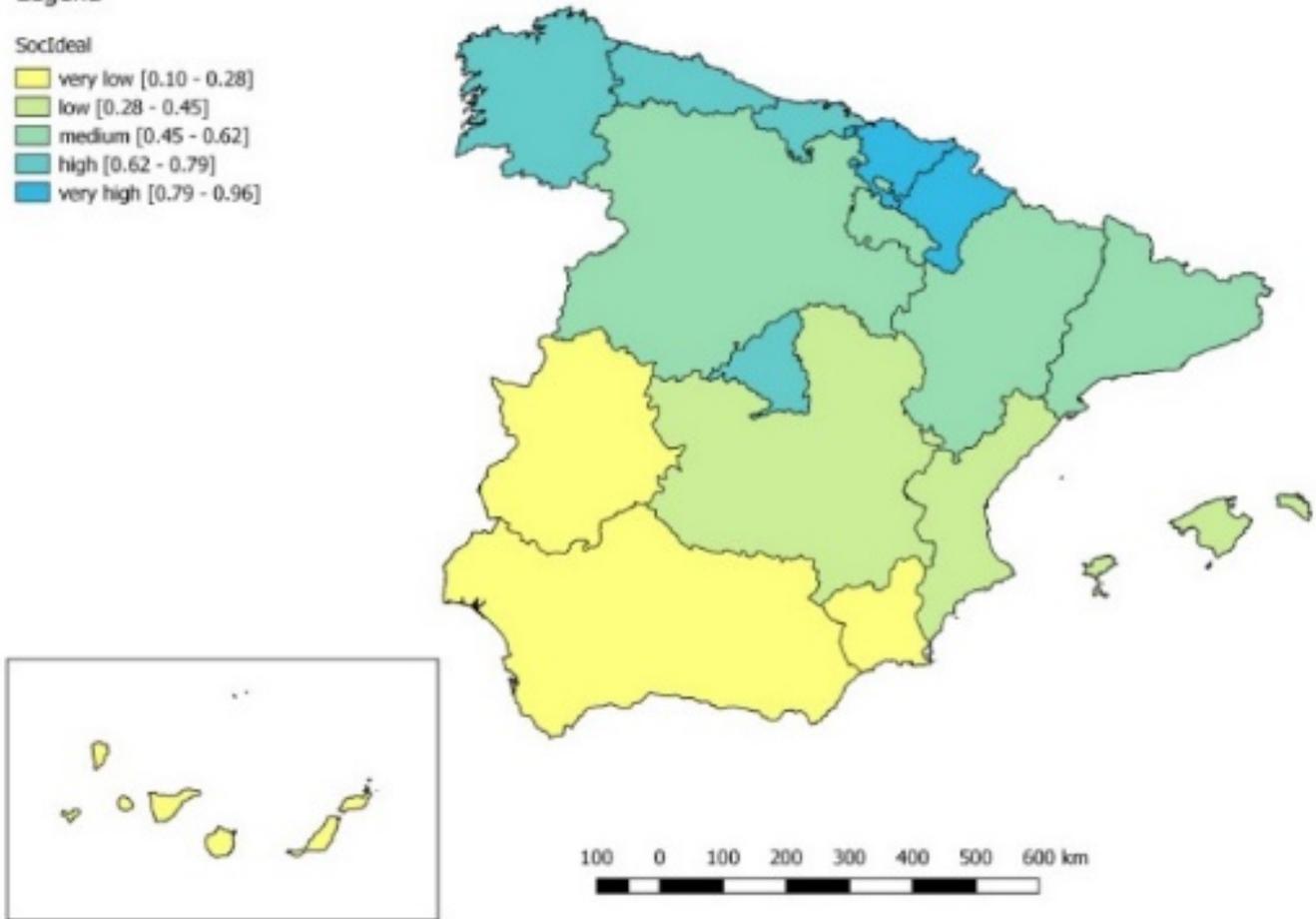


Fig. 3c - Spain, social dimension

Legend

SustIdeal

- very low [30.73 - 40.29]
- low [40.29 - 49.85]
- medium [49.85 - 59.41]
- high [59.41 - 68.97]
- very high [68.97 - 78.54]

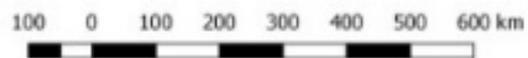
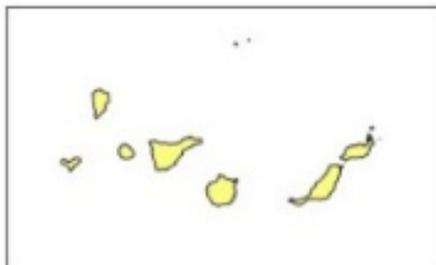
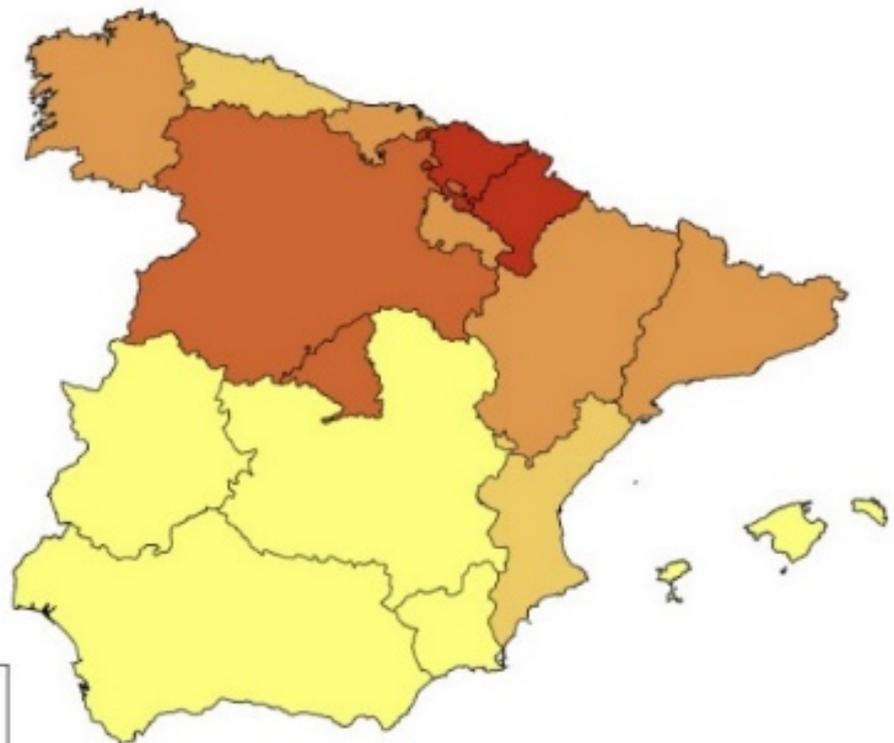


Fig. 3d - Spain, global sustainability

In addition to the graphical maps, the model GeoUmbriaSUIT produced also some other interesting graphic outputs, shown in Figures from 4 to 9.

Figures 4 and 5 show the chart of sustainability, respectively for Italy and Spain. In this type of chart, the three indices - economic, environmental and social - are flanked; therefore, there is no compensation at all among the three dimensions. Each bar is dimensionless, scaled between 0 and 1. The higher the bar, the better the performance of the relative dimension. Therefore, it is clear from this chart how much performant each dimension is, in each region.

For Italy (Fig. 4), the best dimension is the social one, having the highest scores for 13 regions on the total (20); the environmental dimension is the best for 4 regions, while the economic dimension is the best for 3 regions. Moreover, this figure clearly shows as in general the social component has a positive trend for the majority of the regions, while for two regions (Piemonte and Valle D'Aosta) respectively the economic and environmental dimension have an important role in their score.

For Spain (Fig. 5), the best dimension is the environmental one for 9 regions on the total (17); the social dimension is the best for 4 regions, while the economic dimension is the best for the remaining four regions. In particular, these are the regions (Pais Vasco, Comunidad Foral de Navarra, Comunidad de Madrid and Cataluna) resulting among the more sustainable in the global ranking (as is shown hereafter), it means that for these regions

the economic component plays a crucial role in the ranking.

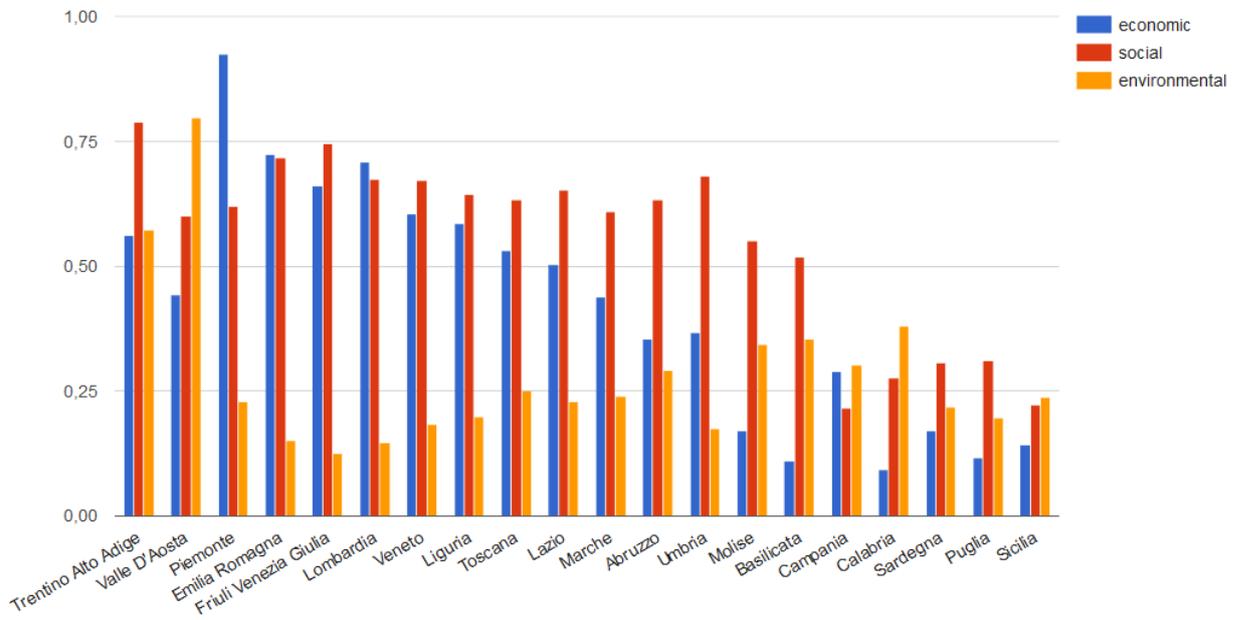


Fig. 4 – Chart of sustainability, Italy

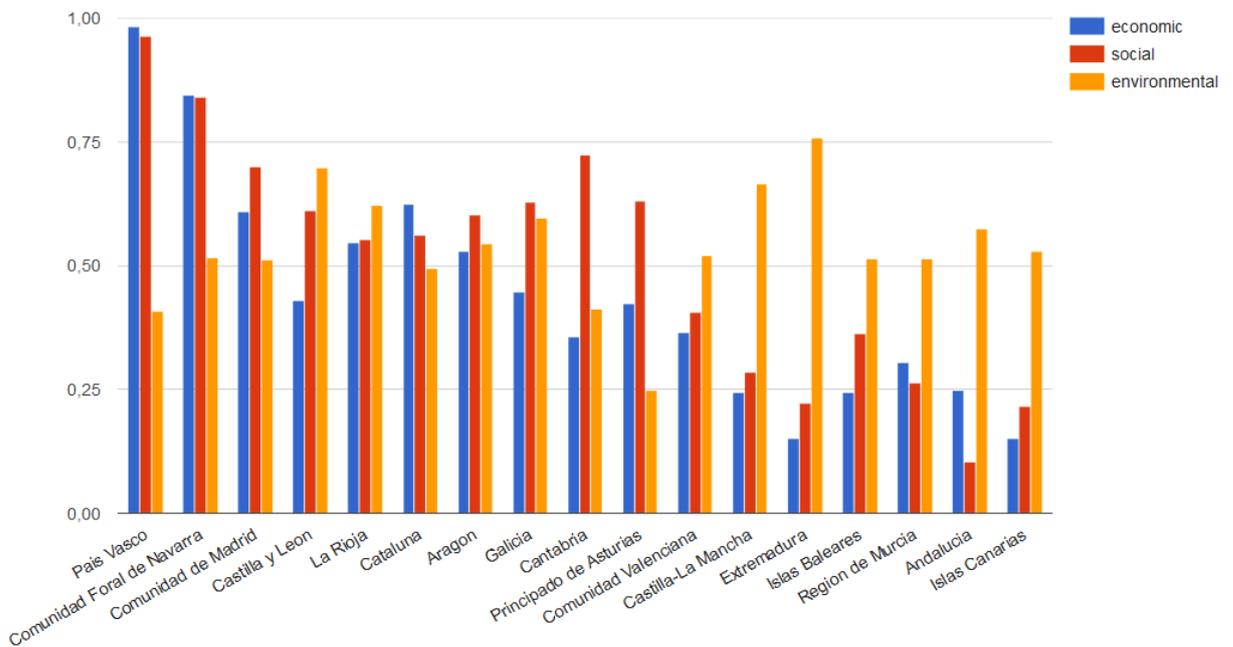


Fig. 5 – Chart of sustainability, Spain

Figures 6 and 7 show, instead, the bars of sustainability, respectively for Italy and Spain. Differently from the sustainability chart, here the three dimensions are summed up together, allowing establishing a final ranking of global sustainability among the territorial units considered. The summation of the singular indices varies between 0 and 3.

In the Italian case study (Fig. 6) the first region in terms of global sustainability is Trentino Alto Adige (in the north), for its good performance of the three dimensions but in particular of the social one. The second and third position are taken from Valle d'Aosta (excelling for the environmental dimension) and Piemonte (excelling for the economic dimension), both again in the north. Thanks to this graph it is easy to visualize the relative importance of each index on the final ranking, and how much one dimension can compensate the others in reaching a certain position in the ranking. The last regions in the ranking are Puglia and Sicilia (South of Italy), having worse performance especially in the economic dimension. For some regions, e.g. Molise and Basilicata, a good performance of the social dimension allows to compensate bad scores in the environmental and economic profiles, avoiding in this way the very last positions in the ranking.

In the Spanish case study (Fig. 7) the first region in terms of global sustainability is País Vasco, followed by Comunidad Foral de Navarra and Comunidad de Madrid. These three communities have excellent scores for the economic and also social dimensions, but worse scores for the

environmental one. Andalusia and Canarias are the last regions in the ranking, because even if they have not bad environmental performances, these are not compensated by the very low economic and social dimensions.

In general, from these two typologies of graphs is evident that, while Italy seems to have worse environmental indices in comparison to the other dimensions, for Spain the weaker dimension appears to be the economic one. Both the countries seem to have “quite strong” social dimensions.

In addition, social dimension is the one that could seem to mark in Spain the ordination of communities for sustainability, because economic and environmental dimensions compensate one each other.

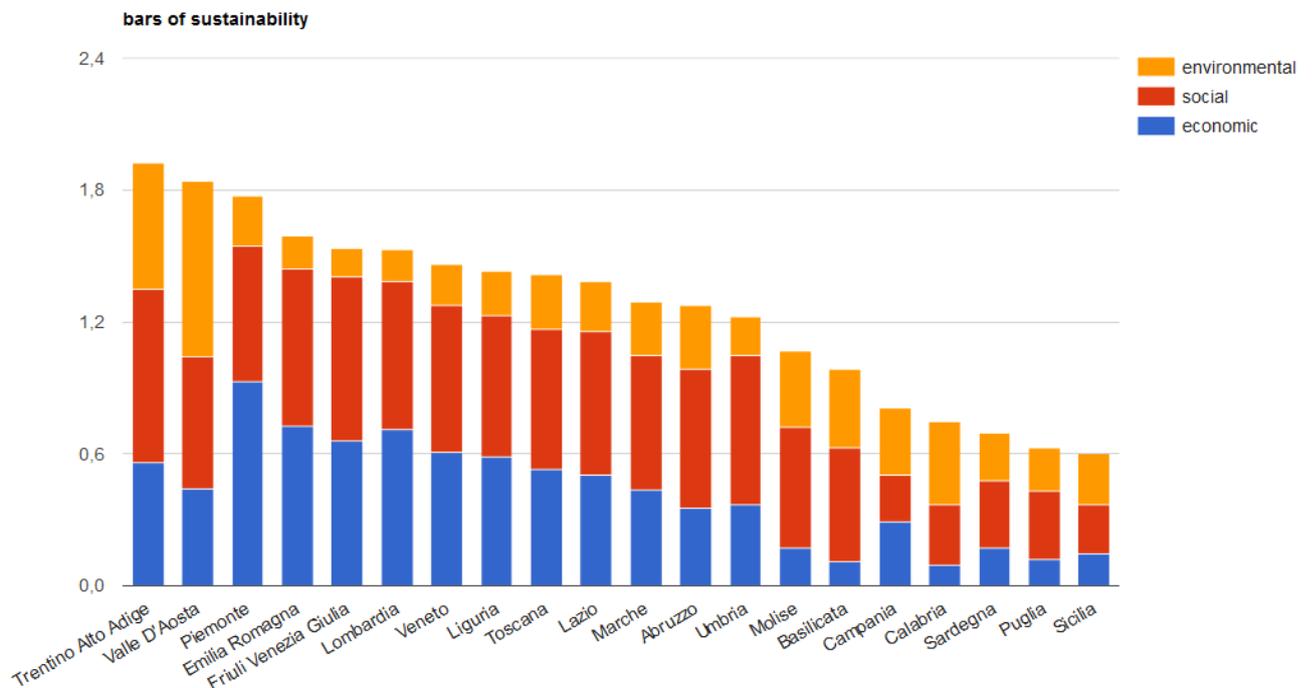


Fig. 6 – Bar of sustainability, Italy

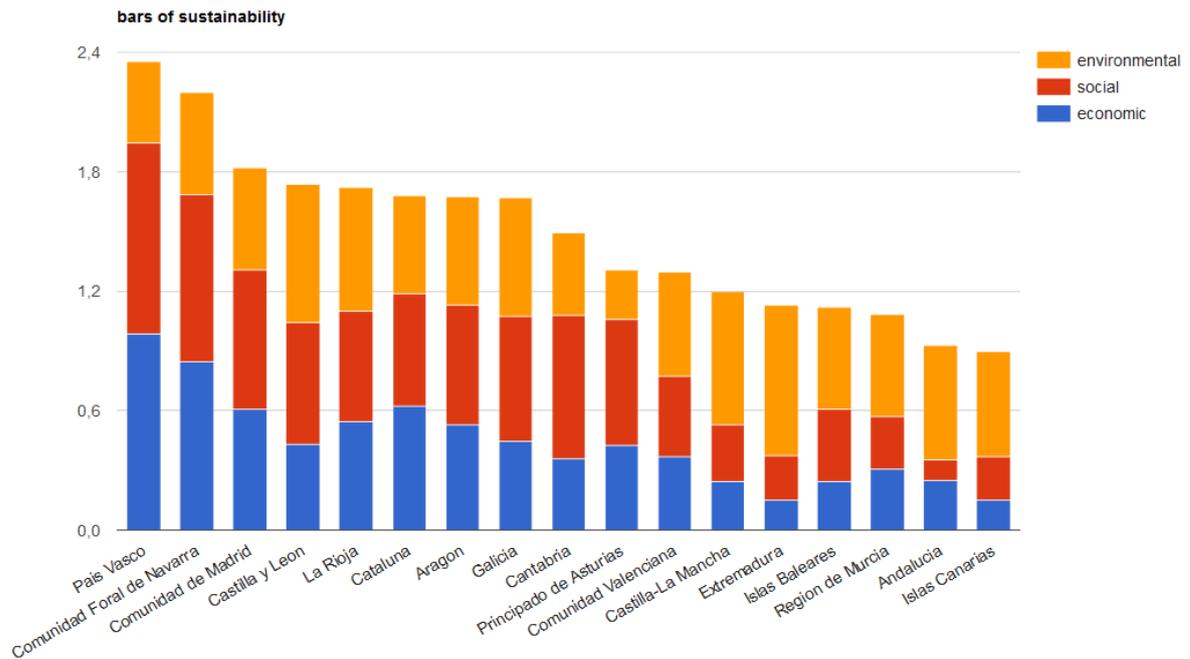


Fig. 7 – Bar of sustainability, Spain

Finally, Figures 8 and 9 show the bubble graph, which allows evaluating the three dimensions together.

On the x and y-axis respectively the economic and social dimensions are represented, while the color of the bubble represents the environmental dimension (from red to green).

In the case of Italy (Fig, 8), Piemonte stands out on the right of the graph, for the strength of its economic component. The regions belonging to the South of Italy (Calabria, Puglia, Sardegna, Sicilia, Campania, Basilicata

and Molise) constitute a big group on the left part of the graph, having low economic scores, and low or medium environmental and social scores. All the remaining regions constitute a group on the central part of the graph, having higher social and economic scores, in comparison to the other group, but quite low environmental scores.

For Spain (Fig. 9), the bubble graph clearly indicates that three big groups of regions can be individuated: Extremadura, Canarias, Andalucía, Murcia, Castilla-La Mancha, Islas Baleares and Comunidad Valenciana are in the lower part of the graph and on the left, having low social and economic profiles, but good or very good environmental performances. País Vasco, Comunidad Foral de Navarra, Comunidad de Madrid and Cataluña stay in the upper part of the graph, on the right, having an exactly opposite situation in comparison to the first group, while the other regions stay in the middle part of the graph, with intermediate scores.

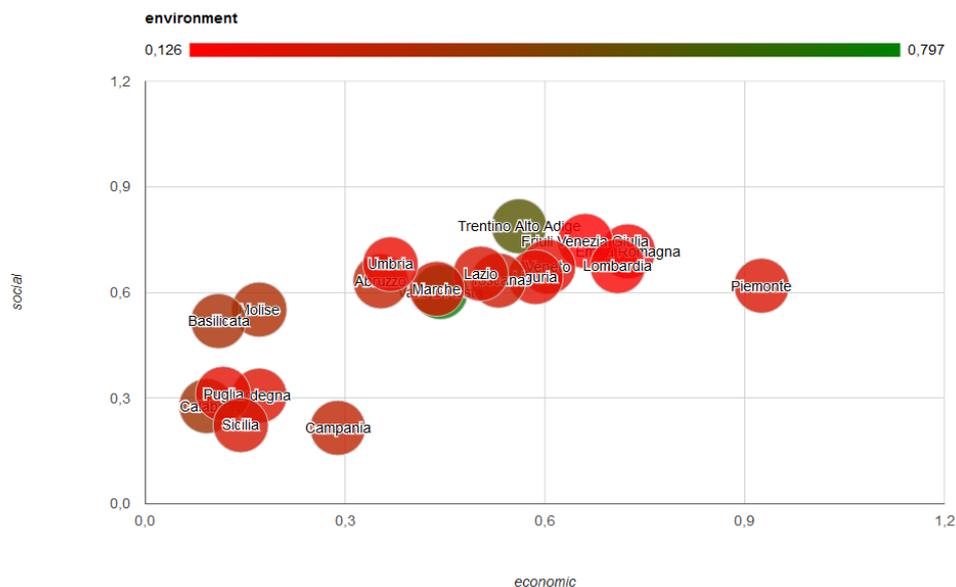


Fig. 8 – Bubble graph – Italy case study

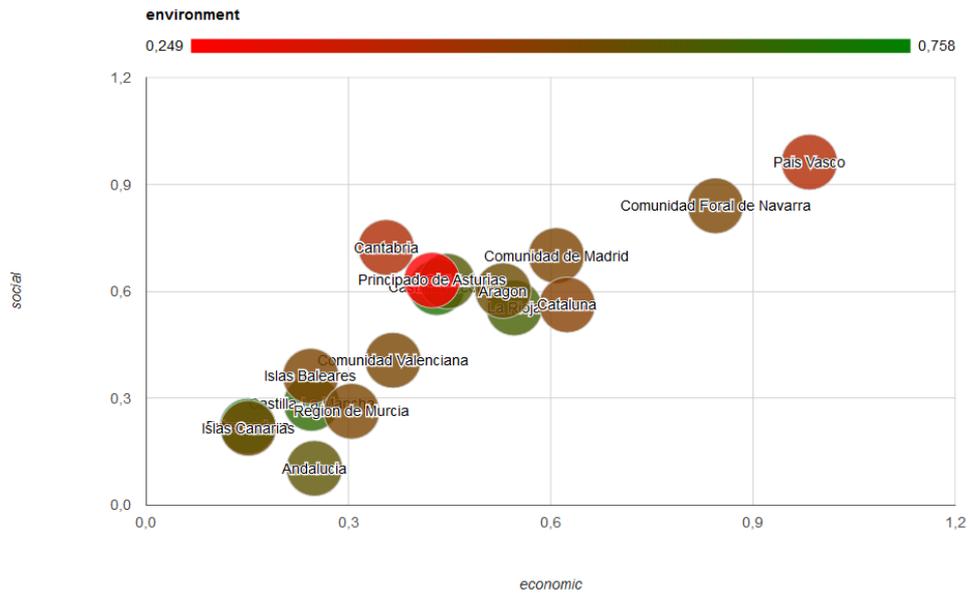


Fig. 9 – Bubble graph – Spain case study

The analysis of all these graphical outputs demonstrate the presence of a decreasing trend of development, going from the north to the south, for both the countries. In fact, both Italy and Spain reached better scores, in relation to the global sustainability evaluation, in the northern part of the country. This is evident looking at the maps – figures 2d and 3d, showing the global *SustIdeal* Index. In Italy the transition is even more evident, with the central part of the country having medium scores, intermediate between those of the north and of the south. Differently, in Spain the territories with intermediate scores were those in the eastern part of the country. In any case, we could affirm that the geographical position influences the global sustainability evaluation.

In addition, Italy and Spain seem to have similar patterns for the social and economic dimensions, while they have a different pattern of performances for the environmental one. In fact, in relation to the social

dimension, both the countries have very good (Italy) and quite good (Spain) performances, but more concentrated in the north and in the center of the countries. In relation to the economic dimension, the performances are generally intermediate (again in the north and center) and low (in the south), with some exceptions concentrated in the north for Italy, and in and eastern part for Spain. Finally, in general Spain seems to be sensibly better than Italy in relation to the environmental indices.

For both the countries, the richest regions (i.e. the most economically sustainable) are also the most socially sustainable, but not at all the most environmentally sustainable (with some exceptions both for Italy, e.g. Trentino Alto Adige and Valle D'Aosta, and Spain e.g. Castilla y Leon). The poorest regions, which are those in the south for the both the countries, have weak scores also from the social point of view, but not bad environmental indices. This kind of results shows that the economic and social dimensions seem to be in some way correlated, because the richest regions are also more socially sustainable, while the poorest regions are also the ones less socially sustainable; at the contrary, the environmental dimension is quite independent from the economic and social situations.

The outputs produced by GeoUmbriaSuit are very informative and easy to understand by a decision maker (Boggia et al., 2018). This kind of information is very useful for constructing policy models, and addressing specific measures looking at the local situation of the single regions, their territorial position, their strengths or weakness in relation to the different dimensions of sustainability. It is clear as particular measures or incentive could be individuated, identifying different regional needs, favoring for

example the environment where the environmental sustainability is weak, or the economic or social systems in the southern part of the countries.

The possibility to maintain the three dimensions separate avoids the flattening of decision makers' interventions, because there is no compensation among them. Although it is possible to have a global sustainability index (SustIdeal) the decision maker is directly asked to balance the three components. Therefore (s)he is conscious about any compensation effects (Boggia et al., 2018).

It is clear as the sustainability rankings are directly influenced by the typology of indicators that are chosen for running the model. The choice of the indicators strictly influences the results, and there could be differences in the final scores if changing the set of indicators used. Therefore, it is very important to be conscious of the indicators chosen, and to select proper and representative indicators sets.

Thus, the function of back analysis, available within GeoUmbriaSUIT, is very helpful and constitutes a strength point of the model. In fact, thanks to the application of the Dominance Based Rough Sets Approach (DRSA) (Greco et al., 2001a), the user is able to analyze each single step that leads to the final result, revealing which indicators and which dimensions have the greatest impact on the results. This function makes the model a readable and transparent tool for results traceability. The application of DRSA allows generating decision rules describing the case studies results. Decision rules can be defined as logical statements, easily understandable since they are in the form of 'if... then...' sentences (Słowiński et al., 2009).

Each rule contains the conditions that characterize it, the resulting decision class assignment, and the cases that support it (Cinelli et al., 2015).

The potential conditions are “at least: very low, low, medium, high, very high”; and “at most: very low, low, medium, high, very high”. Tables 5a and 5b reports the main rules generated by the model applying the back analysis function, both for Italy and Spain. From the examination of these rules, it seems clear as for both the countries the social and economic dimensions have a great importance in determining the global ranking. This appears to be in line with the previous results above reported. In these case studies Socldeal and Ecoldeal are therefore both discriminating, and this is very useful information for a decision maker, in order to better understand the compensation effect among dimensions and the real meaning of the global index Sustldeal.

Other classical methods for evaluating sustainability consider only one aggregated index (see for example Kropp and Lein, 2012; Lombardi and Ferretti, 2015; Consultative Group on Sustainable Development Indicators, 2006) instead of three separated indices as in this model. Moreover, these methods aggregate the information without giving any explanation of the “internal mechanism” of evaluation, making the interpretation and the understanding of the results very difficult. The model GeoUmbriaSUIT could be considered as a “glass box” (Greco et al., 2008), thanks to its back analysis function, differing from the mentioned methods that have been defined in literature, at the contrary, as “black boxes”.

<p>1: IF [Drop out of school >= 21.9] THEN AT MOST CLASS "very low"</p> <p>2: IF [Per capita expenditure for welfare and social services <= 204.93] THEN AT MOST CLASS "low"</p> <p>3: IF [Degree of broadband diffusion in business <= 98.86] THEN AT MOST CLASS "low"</p> <p>4: IF [Available income per inhabitant <= 12205.0] THEN AT MOST CLASS "medium"</p> <p>5: IF [Unemployment rate >= 13.97] THEN AT MOST CLASS "high"</p>
<p>6: IF [Drop out of school <= 21.5] THEN AT LEAST CLASS "low"</p> <p>7: IF [Labor productivity >= 54037.09] THEN AT LEAST CLASS "medium"</p> <p>8: IF [Drop out of school <= 16.7] THEN AT LEAST CLASS "medium"</p> <p>9: IF [Poverty index <= 13.4] THEN AT LEAST CLASS "medium"</p> <p>10: IF [Available income per inhabitant >= 12597.0] THEN AT LEAST CLASS "high"</p> <p>11: IF [Unemployment rate <= 13.53] THEN AT LEAST CLASS "very high"</p>

Table 5a – Decision rules obtained with the Back Analysis function and DRSA approach - Italy

<p>1: IF [Drop out of school >= 21.9] THEN AT MOST CLASS "very low"</p> <p>2: IF [Per capita expenditure for welfare and social services <= 204.93] THEN AT MOST CLASS "low"</p> <p>3: IF [Degree of broadband diffusion in business <= 98.86] THEN AT MOST CLASS "low"</p> <p>4: IF [Available income per inhabitant <= 12205.0] THEN AT MOST CLASS "medium"</p> <p>5: IF [Unemployment rate >= 13.97] THEN AT MOST CLASS "high"</p>
<p>7: IF [Labor productivity >= 54037.09] THEN AT LEAST CLASS "medium"</p> <p>8: IF [Drop out of school <= 16.7] THEN AT LEAST CLASS "medium"</p> <p>9: IF [Poverty index <= 13.4] THEN AT LEAST CLASS "medium"</p> <p>10: IF [Available income per inhabitant >= 12597.0] THEN AT LEAST CLASS "high"</p> <p>11: IF [Unemployment rate <= 13.53] THEN AT LEAST CLASS "very high"</p>

Table 5b - Decision rules obtained with the Back Analysis function and DRSA approach - Spain

The indicators with a greater effect on the overall assessment are of an economic and social nature. Rules 3 and 4 between the "AT MOST" group and rules 6 and 7 in the "AT LEAST" group have a particularly high number of cases supporting them, corresponding respectively to 11 regions (rule 3), 14 regions (rule 4), 15 regions (rule 6) and 14 regions (rule 7).

The indicators with a greater effect on the overall assessment are of an economic and social nature. Among these, some appear to have a greater effect than others, because they are present in both the "AT LEAST" and the "AT MOST" assessments. Between all the rules extracted, those identified by numbers 4, 5 and 6 have a particularly high number of cases supporting them, namely 14 (rule 4), 15 (rule 5), and 12 (rule 6). This means that rules identified by numbers 4, 5 and 6 are confirmed respectively in 14, 15 and 12 regions.

5. Conclusions

In this study we have evaluated the level of sustainability of two European countries, Italy and Spain, belonging both to the Mediterranean area, and often considered by the common sense to have similar patterns of development and culture. The European Union policy for sustainability has to follow common guidelines, but at the same time must consider the specificity of the single country, and even of the single territories within a country.

The evaluation of sustainability was made through the model GeoUmbriaSUIT, which can help Decision Makers to assess the level of sustainability of different territorial areas, integrating MCDA with GIS. In fact, MCDA is an established methodology used for sustainability assessment, and the integration with GIS allows having multiple graphical outputs, that are readable and easily understandable by a Decision Maker, and give very informative responses through a direct territorial visualization on the maps. The back analysis function allows for the traceability of the whole process.

The application of this model allowed to separately considering the three dimensions of sustainability, economic, social and environmental, and to analyze the patterns of sustainability and development in the two countries studied, underlining differences and similarities. In particular, the results showed that the geography and territorial position influences the level of sustainability of both the countries, highlighting as the global level sustainability decreases from north to south. Moreover, while Italy and Spain have similar patterns of development for what concerns the social and economic aspects, they are very different from the point of view of environmental sustainability. Finally, the results showed that the richest regions, in both the countries, are generally also socially sustainable but not always environmentally sustainable. This last result could reflect the fact that until the recent years, economic and social policies have been conducted together, while environment has been treated as a “separate” topic, independent from the other policies. Recently, environment is being integrated with all the other economic and social policies, in order to

interconnect all the three dimensions of sustainability; however, results of this integration on sustainability performances have yet to be seen.

This kind of evaluation can be very useful for constructing measures at European, national, and local level that were as much effective as possible, based on global objectives and at the same time on specific needs, strengths and weaknesses of the territories analyzed, individuating which measures can be common to both the countries (or maybe common within all Europe), and which measures at the contrary must be differentiated at level of the single region or autonomous community.

Sustainability studies can help decision makers to take aware decisions. Models like this, which help to understand the patterns of the different factors, economic, social and environmental, and which of them affect more the global level of sustainability, are helpful for applying the proper focus and choose specific measures and actions, depending on the type of dimension (economic, social, or environmental) to be reinforced. Moreover, integrated methodologies which use a number of indicators using a geographic approach improve the results of sustainability studies, since the spatial focus allows for a better representation of actions according to the specific territorial levels considered (local, national, European) and the relative needs individuated. Differences that are found at regional levels identify the need for sustainability strategies that are not homogenous across all a national territory.

Some ideas for further developments of the model GeoUmbriaSUIT can be found in Boggia et al., 2018, and they are related to the introduction

of multiple MCDA methods within the model, and to the possibility to handle multiple stakeholder preferences, directly inside the system, for reducing the splitting bias in the weighting phase. The choice of representative indicators is crucial, because the set of indicators significantly influences the final results of sustainability evaluation. However, this has not to be considered a weakness point, but more properly an aspect to be carefully handled by the Decision Makers, when facing a specific sustainability assessment study, and highly depending from the initial objectives.

Acknowledgments

This research was funded by ARPA Umbria, the Regional Agency for Environmental Protection, Region of Umbria (Italy), and by University Miguel Hernández of Elche (Spain).

References

- Agency for Environmental Protection, Umbria – Italy, 2013. Datawarehouse.
- Banai, R., 2005. Land resource sustainability for urban development: spatial decision support system prototype. *Environ. Manage.* 36 (2), 282–296.
- Beratan, K.K., Kabala, S.J., Loveless, S.M., Martin, P.J.S., Spyke, N.P., 2004. Sustainability indicators as a communicative tool: building bridges in Pennsylvania. *Environmental Monitoring and Assessment* 94, 179e191.
- Boggia, A., Cortina, C., 2010. Measuring sustainable development using a multi-criteria model: a case study. *J. Environ. Manage.* 91, 2301–

2306.

Boggia A., Massei G., Pace E., Rocchi L., Paolotti L., Attard M., 2018. Spatial multicriteria analysis for sustainability assessment: A new model for decision making. *Land Use Policy* 71 (2018) 281–292.

Bond, A., Morrison-Saunders, A., Pope, J., 2012. Sustainability assessment: the state of the art. *Impact Assess. Project Appraisal* 30, 53–62.

Chakhar, S., Martel, J.M., 2003. Enhancing geographical information systems capabilities with multi-criteria evaluation functions. *Journal of Geographic information and decision analysis* 7, 47–71.

Chakhar, S., Mousseau, V., 2007. An algebra for multicriteria spatial modelling. *Computer, Environment and Urban Systems* 31, 572–596.

Cinelli, M., Coles, S.R., Kirwan, K., 2014. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecol. Indic.* 46, 138–148.

Cinelli, M., Coles, S.R., Nadagouda, M.N., Błaszczński, J., Słowiński, R., Varma, R.S., Kirwan, K., 2015. A green chemistry-based classification model for the synthesis of silver nanoparticles. *Green Chem.* 17, 2825–2839.

Consultative Group on Sustainable Development Indicators, 2006. *Dashboard of Sustainability*.

Dahl, A.L., 2012. Achievements and gaps in indicators for sustainability. *Ecol. Indic.* 17, 14–19.

European Environment Agency, 2006. *Corine Land Cover 2006 –Italy*.

EU Commission, 2010. *Europe2020. A European strategy for smart, sustainable and inclusive grow*.

EU Commission, *The Future of Food and Farming” (COM(2017) 713 final*.

Ferretti, V., Pomarico, S., 2013. An integrated approach for studying the land suitability for ecological corridors through spatial multicriteria evaluations. *Environment. Dev. Sustain.* 15 (3), 859–885.

GIS Development Team, 2017. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://www.qgis.org/>.

Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R, 2001a. Rough set theory for multi-criteria decision analysis, *European Journal of Operational Research*, 129, 1-47.

Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, B., Stefanowski, J., 2001b. An Algorithm for Induction of Decision Rules Consistent with the Dominance Principle in Tsumoto et al. (eds) *Rough Sets and Current Trends in Computing* pp 304-313. Springer.

Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, B., Stefanowski, J., 2008. Dominance-Based rough set approach to interactive multi-objective optimization. In: Branke, J., Deb, K., Miettinen, K., Slowinski, R. (Eds.), *Multi-objective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches*. Springer-Verlag, Berlin.

Hwang, C.L., Yoon, K., 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications* Springer-Verlag, New York.

Kropp, W.W., Lein, J.K., 2012. Assessing the geographic expression of urban sustainability: a scenario based approach incorporating spatial multicriteria decision analysis. *Sustainability* 4 (9), 2348–2365.

Lombardi, P., Ferretti, V., 2015. New spatial decision support systems for sustainable urban and regional development. *Smart Sustain. Built Environ.* 4 (1), 45–66.

Lopez, E., Monzon, A., 2010. Integration of sustainability issues in strategic transportation planning: a multi-criteria model for the assessment of transport infrastructure plans. *Comp. Aided Civ. Infrastruct. Eng.* 25 (6), 440–451.

Malczewski, J., 2010. Multiple criteria decision analysis and geographic information systems, in: M. Ehrgott, J. Figueira, S. Greco (Eds.), *International Series in Operations Research & Management Science* vol. 142, , Springer, New York (2010), 369–395.

Manos, B.D., Papathanasiou, J., Bournaris, T., Voudouris, K., 2010. A DSS for sustainable development and environmental protection of agricultural regions. *Environ. Monit. Assess.* 164 (1), 43–52.

Massei, G., Rocchi, L., Paolotti, L., Greco, S., Boggia, A., 2014. Decision Support Systems for environmental management: A case study on wastewater from agriculture, *Journal of Environmental Management*, 146, 491-504.

Ministry of Education – Spain, 2015. Statistics on training, labor market and education abandonment.

<http://www.mecd.gob.es/servicios-al-ciudadano-mecd/estadisticas/educacion/mercado-laboral.html>.

Ministry of Environment – Spain, 2013. Statistics yearbook.

<http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-deestadistica/2013/default.aspx>.

Ministry of Employment and Social Security – Spain, 2016. Statistics on expenditure for social services. <http://www.empleo.gob.es/es/estadisticas/index.htm>.

Ministry of Transports and Communication, 2006. Urban Information System. <http://visorsiu.fomento.es/siu/PortalSiu.html#app=54b0&db9-selectedIndex=0&388e-selectedIndex=0&4676-selectedIndex=0&f780-selectedIndex=0&4f42-selectedIndex=0&1f63-selectedIndex=2>.

Moffat, I., Hanley, N., Wilson, M.D., 2001. *Measuring and Modelling Sustainable Development*. The Parthenon Publishing Group, Bristol, UK.

Munda, G., 2005. Multi-criteria decision analysis and sustainable development, in Figueira. In: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (Eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer, New York, pp. 953–986.

National Statistics Office – Italy, 2013. Datawarehouse. <http://dati.istat.it/>.

National Statistics Office – Spain, 2012. Enquiry on waste collection.

National Statistics Office – Spain, 2013. Enquiry on energy consumption. <http://www.ine.es/prensa/np899.pdf>.

National Statistics Office – Spain, 2014. Enquiry on firms innovation. <http://www.ine.es/prensa/np950.pdf>.

National Statistics Office – Spain, 2016. Statistics yearbook for 2016. <http://www.ine.gub.uy/anuario-estadistico>.

National Statistics Office – Spain, 2016. Enquiry on Information and Communications Technology.

Ness, B., Urbel Piirsalu, E., Anderberg, S., Olsson, L., 2007. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecol. Econ.* 60, 498–508.

Official Journal of the European Communities (OJ) C112, 20 December 1973, page 7.

Ottomano, G., Govindan, K., Boggia, A., Loisi, R.V., De Boni, A., Roma, R., 2016. Local Action Groups and Rural Sustainable Development. A spatial multiple criteria approach for efficient territorial planning. *Land Use Policy* 59: 12–26.

Pope, J., Annandale, D., Morrison-Saunders, A., 2004. Conceptualising sustainability assessment. *Environ. Impact Assess. Rev.* 24, 595–616.

Pöyhönen, M., Hämmäläinen, R.P., 2001. On the convergence of multiattribute weighting methods. *European Journal of Operational Research* 129, 569e585.

Ravetz, J., 2000. Integrated assessment for sustainability appraisal in cities and regions. *Environ. Impact Assess. Rev.* 20 (1), 31–64.

Słowiński, R., Greco, S., Matarazzo, B., 2009. Rough sets in decision making. In: Meyers, A.R. (Ed.), *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. Springer, New York, New York, NY.

Salo A., Hämmäläinen R.P., 1995. Preference programming through approximate ratio comparisons, *European Journal of Operational Research*, Vol. 82, Issue 3, pp. 458-475.

United Nations Conference on Trade And Development, 2015. Investment Policy Framework For Sustainable Developmen. United Nations UNCTAD/WEB/DIAE/PCB/2015/3.

Von Winterfeldt, D., Edwards, W., 1986. *Decision Analysis and Behavioral Research*. Cambridge University Press, Cambridge.

Anexo 2. Método TOPSIS

Las fases principales del Método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Design - Hwang and Yoon, 1981) son:

Fase 0 - Dado un problema relacionado con la toma de decisiones, en el que existen n alternativas y k atributos, puede construirse una "matriz de toma de decisiones" relacionada:

Alternativas	Atributos			
	y_1	y_2	...	y_k
a_1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1k}
a_2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2k}
...
a_n	y_{n1}	y_{n2}	...	y_{nk}

donde y_{ij} es el valor del atributo y_j para la alternativa a_i ($i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, k$).

Fase 1 - hay que definir la matriz de toma de decisiones normalizada, cuyos elementos son los siguientes:

$$Z_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n y_{ij}^2}}, \quad i=1, \dots, n; \quad j=1, \dots, k. \quad (1)$$

Fase 2 – posteriormente se define la matriz de toma de decisiones normalizada ponderada, cuyos elementos son:

$$X_{ij} = W_j Z_{ij}, \quad i=1, \dots, n; \quad j=1, \dots, k. \quad (2)$$

donde w_j es el peso del j -ésimo atributo.

Fase 3 – un punto ideal a^* y un punto peor a^- (nadir) se definen de la

siguiente forma:

$$a^* = \{(\max_i x_{ij} \mid j \in J), (\min_i x_{ij} \mid j \in J^{\wedge}) \mid i = 1, \dots, n\} = \{x_1^*, x_2^*, \dots, x_k^*\} \quad (3)$$

$$a^- = \{(\min_i x_{ij} \mid j \in J), (\max_i x_{ij} \mid j \in J^{\wedge}) \mid i = 1, \dots, n\} = \{x_1^-, x_2^-, \dots, x_k^-\} \quad (4)$$

donde J es el conjunto de los índices a maximizar (por ejemplo, beneficios), mientras que J^{\wedge} es el conjunto de los índices a minimizar (por ejemplo, costes).

Fase 4 – la distancia de la alternativa al punto ideal a^* (por ejemplo, una alternativa perfecta o ideal) se calcula como sigue:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^*)^2}, \quad i = 1, \dots, n; \quad (5)$$

y también la distancia al punto ideal negativo a^- se calcula como sigue:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^-)^2}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (6)$$

Fase 5 – Se calcula la "proximidad relativa" al punto ideal:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad i = 1, \dots, n. \quad (7)$$

Fase 6 – Para terminar, ordenando las alternativas según C_i^* , se obtiene su clasificación de mejor a peor; en efecto, si $C_i^* > C_j^*$ entonces a_i "supera en grado" a a_j .