Universidad
Politécnica
de Cartagena

Universidad
Politécnica
de Cartagena

Campus
de Excelencia
Internacional

*Diseño de una Infraestructura de
Datos Espaciales sobre Agricultura
y Agua en la Región de Murcia-
IDEarM: Aplicación al Campo de
Cartagena y el Mar Menor*

*Programa de Doctorado en Técnicas Avanzadas en
Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario*

Autor: Manuel Erena Arrabal

Directores: Sandra G. García Galiano

José Antonio Domínguez Gómez

Universidad Politécnica de Cartagena
Unidad Predepartamental de Ingeniería Civil

Tesis Doctoral

Diseño de una Infraestructura de Datos Espaciales
sobre Agricultura y Agua en la Región de Murcia-IDEarM:
Aplicación al Campo de Cartagena y el Mar Menor

Autor: Manuel Erena Arrabal

Directores:

Sandra G. García Galiano

José Antonio Domínguez Gómez

2018

CONFORMIDAD DE DEPÓSITO DE TESIS DOCTORAL
POR LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA

D. Francisco Artés Hernández, Presidente de la Comisión Académica del Programa de Doctorado en Técnicas Avanzadas en Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (3470).

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada, "Diseño de una Infraestructura de Datos Espaciales sobre Agricultura y Agua en la Región de Murcia-IDEarM: Aplicación al Campo de Cartagena y el Mar Menor", ha sido realizada, dentro del mencionado Programa de Doctorado, por D/Manuel Erena Arrabal, bajo la dirección y supervisión del Dra. Sandra García Galiana y del Co-Director José Antonio Domínguez Gómez.

En reunión de la Comisión Académica, visto que en la misma se acreditan los indicios de calidad correspondientes y la autorización del Director/a de la misma, se acordó dar la conformidad, con la finalidad de que sea autorizado su depósito por el Comité de Dirección de la Escuela Internacional de Doctorado.

La Rama de conocimiento por la que esta tesis ha sido desarrollada es:

- ☐ Ciencias
- ☐ Ciencias Sociales y Jurídicas
- ☒ Ingeniería y Arquitectura

En Cartagena, a 17 de Julio de 2018

EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA

Fdo: FRANCISCO DE ASIS|
ARTES|HERNANDEZ
2018.07.17 14:32:29
+02'00'

COMITÉ DE DIRECCIÓN ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

**CONFORMIDAD DE SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE DEPÓSITO DE
TESIS DOCTORAL POR EL/LA DIRECTOR/A DE LA TESIS**

D^{ña}. Sandra García Galiano

Directora de la Tesis doctoral

D. José Antonio Domínguez Gómez

Co-Director de la Tesis doctoral

INFORMA:

Que la referida Tesis Doctoral, ha sido realizada por D/D^{ña}. Manuel Erena Arrabal, dentro del Programa de Doctorado en Técnicas Avanzadas en Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (3470), dando mi conformidad para que sea presentada ante el Comité de Dirección de la Escuela Internacional de Doctorado para ser autorizado su depósito.

La rama de conocimiento en la que esta tesis ha sido desarrollada es:

- ☐ Ciencias
- ☐ Ciencias Sociales y Jurídicas
- ☒ Ingeniería y Arquitectura

En Cartagena, a 17 de Julio de 2018

LA DIRECTORA DE LA TESIS

Fdo.: Sandra García Galiano

EL CO-DIRECTOR DE LA TESIS

Fdo.: José Antonio Domínguez Gómez

COMITÉ DE DIRECCIÓN ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Cuida tus pensamientos, porque se convertirán en tus palabras

Cuida tus palabras, porque se convertirán en tus actos

Cuida tus actos, porque se convertirán en tus hábitos

Cuida tus hábitos, porque se convertirán en tu destino

Mahatma Gandhi

1869-1948

Agradecimientos

Durante la realización de esta Tesis han sido muchas las personas que me han ayudado, sirva esta nota de agradecimiento a todas ellas.

En primer lugar deseo agradecer el apoyo durante todo este tiempo a mi esposa Juani y mi hijo Álvaro, a pesar de los inconvenientes que para ellos se derivan del tiempo dedicado al trabajo realizado durante tanto años.

A continuación, debo agradecer a mis directores de Tesis, la Dra. Sandra G. García Galiano y al Dr. D. José Antonio Domínguez Gómez por sus comentarios, sugerencias, apoyo y ánimo, sin las cuales no habría sido posible llegar a realizar este trabajo.

No puedo dejar de agradecer a todas y cada una de las personas que han pertenecido o pertenecen al Grupo de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección del IMIDA y al SIAM, ya que gracias a ellos ha sido posible desarrollar los trabajos y proyectos que han conducido a esta tesis.

De manera especial quiero dejar constancia de mi agradecimiento a Juan Antonio López, Pedro García, Joaquín Francisco Atenza, Diana Sánchez, Zaida Hernández, Ignacio Porras, Leonor Ruiz, Agustín Conesa, José Manuel Brotons, F. Javier Manera, Ramón Castañer, Ignacio Ballesta, Tomás Fez. De Sevilla, Alfredo Romo, Juan E. Palenzuela y Salomón Montesinos, por su ayuda y aportaciones para la elaboración de la tesis.

Al proyecto de investigación FEDER 14-20-15 (Diseño y puesta en marcha de una infraestructura de datos espaciales sobre agricultura y agua en la Región de Murcia- IDEaRM), financiado al 80% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y al 20 % por la CARM, que han hecho posible que las ideas de esta tesis se transformen en un sistema operacional.

FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL “UNA MANERA DE HACER EUROPA”

RESUMEN

La integración de múltiples fuentes de datos espaciales es esencial para el desarrollo de los servicios públicos en todos los dominios temáticos. Estos servicios son suministrados y a la vez consumidos por todos los niveles de la administración. Actualmente, la demanda de estos servicios está creciendo enormemente entre los gestores del agua para buscar soluciones más eficaces a la gestión de este recurso tan escaso. Para alcanzar este objetivo, se necesita integrar una gran cantidad de datos de carácter geográfico de diferentes procedencias y resoluciones espacio-temporales. En la actualidad la información espacial juega un papel clave en la toma de decisiones en todos los niveles de la administración, como queda plasmado en la Ley 14/2010, de 5 de julio sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España, la directiva INSPIRE de la Unión Europea (UE) o en la Orden ejecutiva del presidente de EEUU de 2002, pionera en este ámbito.

Sin embargo, a menudo es muy difícil para las administraciones, poder integrar conjuntamente la información geográfica disponible para un mismo territorio y temática. Esto es debido a la gran diversidad de modelos de datos, las diferentes especificaciones y los diversos tipos de conectores que utilizan las organizaciones que tienen competencias en un mismo territorio. Para superar estas limitaciones, los organismos deben adoptar unas normas comunes para la interoperabilidad de los datos espaciales, unas especificaciones estándares y un acuerdo de intercambio de datos basado en sus necesidades, pero que permita compartir estos datos con otras organizaciones. Por esta necesidad están surgiendo las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE o su acrónimo en inglés SDI, Spatial Data Infrastructure) en los diferentes dominios temáticos. Para su armonización la UE ha desarrollado la directiva INSPIRE, que proporciona un marco con una serie de recomendaciones tecnológicas que permiten superar los problemas de la integración de datos desde múltiples fuentes. Las IDE/SDI incluyen datos espaciales, los requisitos de los usuarios, el sistema de acceso mediante internet, las políticas y las normas que tienen como objetivo facilitar la integración de múltiples fuentes de datos espaciales. Para lograr la integración efectiva de datos espaciales, estos deben ser inventariados y caracterizados para poder desarrollar servicios de consultas interoperables y eficientes.

La presente estrategia de investigación se ha diseñado para alcanzar los siguientes objetivos específicos: (i) identificar las barreras, tanto técnicas como de otra índole, que obstaculizan una efectiva integración de múltiples fuentes de datos dentro de una IDE temática regional sobre agricultura y agua en la Región de Murcia (IDEarM); (ii) inventariar y caracterizar los datos disponibles en ambas temáticas (agricultura y agua); (iii) diseñar un modelo de datos sobre estas temáticas; (iv) analizar los componentes clave de las herramientas de interoperabilidad que ayuden al cumplimiento de la directiva Europea INSPIRE; y finalmente (v) desarrollar su implementación como herramienta ayuda a la toma de decisión para el inventario de los cultivos cítricos en el Campo de Cartagena y el seguimiento de la calidad del agua y la batimetría en el Mar Menor, la gestión de los recursos de información geográfica y la puesta en marcha de servicios asociados con la integración de datos en sus diferentes aspectos técnicos, institucionales, políticos, jurídicos y sociales.

Palabras clave: Interoperabilidad; metadatos; cítricos; calidad de las aguas

ABSTRACT

The integration of several sources of spatial datasets is relevant to develop of public services in all thematic domains. These services are provided and also used by all levels of the administration. Actually, the demand of these services is increasing among the managers of water to find more efficient solutions in the planning of water resources uses. To reach this aim, the integration of several huge geographical datasets from different sources and spatio-temporal resolutions is needed. At the present, the spatial information presents a relevant role in the decision-taking process in all levels of the administration, considering the 14/2010 Law, of 5th of July, about the infrastructures and geographical information services of Spain, the European INSPIRE Directive, or the executive law of USA President of 2002 that was one of the pioneer in this topic.

However, the administrations usually have difficulties to integrate all the available geographical information for a same thematic and territory. The huge diversity of data models, the several specifications, and the different types of connectors used in the organizations with competences in the same territory, constitute barriers in the integration. To avoid these limitations, the organisms should be defined common norms, standard specifications and agreements for sharing and facilitating the interoperability of the spatial datasets among the several involved institutions. In base of these requirements, the Spatial Data Infrastructures (SDI) in different thematic domains, are increasing. The INSPIRE European Directive is providing a framework with several technological recommendations to avoid the problems of datasets integration from several sources. The SDIs include spatial datasets, user requirements, and access system by internet, norms and politics with the aim to facilitate the integration of several sources of spatial datasets. To reach the effective integration of spatial datasets, these should be characterized to allow the development of interoperable and efficient query services.

The research strategy was designed to reach the following specific objectives: (i) to identify the barriers, both technological and others, that are avoiding an effective integration of several dataset within a regional thematic SDI about agriculture and water in the Murcia Region (IDEarM); (ii) to characterize the available datasets for both thematic (agriculture and water); to design a model dataset about these topics; (iv) to analyze the relevant components of interoperability tools for facilitating the implementation of INSPIRE European Directive; and finally (v) to develop the implementation of IDEarM as a tool to support the decision-taking process to characterize the citrus crops in the Campo of Cartagena area and the monitoring of water quality and bathymetry in the Mar Menor, the management of geographical information resources and the implementation of associated services with the integration of datasets considering the technological, institutional, political, legal and societal aspects.

Keywords: Interoperability; metadata; citrus fruits; quality of the waters

INDICE

1. OBJETIVOS.....	7
2. INTRODUCCIÓN.	13
2.1. <i>La información geográfica en el sector agrario y el medio ambiente.....</i>	<i>13</i>
2.1.1. Los sistemas de información geográfica-SIG.	17
2.1.2. Las geodatabases.....	19
2.1.3. La teledetección.....	21
2.1.4. El marco legal	29
2.1.5. Los estándares.....	33
2.1.6. Open Geospatial Consortium (OGC)	33
2.1.7. World Wide Web Consortium (W3C).....	34
2.1.8. International Organization for Standardization (ISO)	34
2.1.9. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)	34
2.1.10. OpenData	37
2.2. <i>Las Infraestructuras de Datos Espaciales-IDEs.....</i>	<i>40</i>
2.2.1. Objetivos	40
2.2.2. El Marco Institucional	42
2.2.3. Estructura jerárquica.....	43
2.2.4. El Marco Legal	45
2.2.5. Las tecnologías disponibles	46
2.2.6. Los metadatos	50
2.2.7. Los catálogos de datos geoespaciales.....	53
2.2.8. La visualización de los datos geoespaciales.....	54
2.2.9. El acceso y la distribución de datos geoespaciales	57
2.2.10. Los SIG en la nube / GIS Cloud / Digital Earth.....	57
2.3. <i>Estado del arte</i>	<i>60</i>
2.3.1. Aplicaciones de las IDE temáticas en agricultura y agua	60
2.3.2. Las implicaciones del cambio climático en la agricultura	61
2.3.3. Área de estudio del Campo de Cartagena.....	64
2.3.4. Área de estudio del Mar Menor	71
2.3.5. Nuevas plataformas para la obtención y difusión de productos de teledetección	
	77
3. MATERIAL Y MÉTODOS	84
3.1. <i>Análisis de la solución para una IDE temática de agricultura y Agua</i>	<i>84</i>

3.2.	<i>El modelo y la integración de la información en la geodatabase.</i>	85
3.3.	<i>La geodatabase corporativa</i>	88
3.3.1.	La información catastral	92
3.3.2.	La información del SIGPAC	93
3.3.3.	Los datos agronómicos	94
3.3.4.	Los datos meteorológicos	95
3.3.5.	Las comunidades de regantes del Campo de Cartagena	98
3.4.	<i>La incorporación de los datos de observación de la tierra-EO</i>	100
3.5.	<i>Tratamiento y procesado de los datos de observación de la tierra</i>	103
3.5.1.	Corrección atmosférica	104
3.5.2.	Correcciones geométricas	104
3.5.3.	Los índices biofísicos	104
3.6.	<i>La importancia de los metadatos</i>	106
3.7.	<i>Los requisitos de interoperabilidad</i>	107
3.8.	<i>Los casos de estudio y las tecnologías para su implementación</i>	110
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	117
4.1.	<i>Publicación del balance hídrico y el cálculo del Kc en cítricos</i>	121
4.1.1.	Introducción	121
4.1.2.	Material y métodos	125
4.1.3.	Resultados	134
4.2.	<i>El cambio climático en los cítricos</i>	139
4.2.1.	Introducción	139
4.2.2.	Materiales y Métodos	144
4.2.3.	Resultados	147
4.3.	<i>Seguimiento de la calidad de aguas del Mar Menor</i>	156
4.3.1.	Introducción	156
4.3.2.	Material y Métodos	157
4.3.3.	Resultados	161
4.4.	<i>Actualización batimétrica de golos en el Mar Menor</i>	174
4.4.1.	Introducción	174
4.4.2.	Material y métodos	181
4.4.3.	Resultados	190
5.	CONCLUSIONES	197

5.1.	<i>Publicación del balance hídrico y el cálculo del Kc en cítricos</i>	199
5.2.	<i>Cambio climático en cítricos.....</i>	199
5.3.	<i>Seguimiento de la calidad de aguas del Mar Menor</i>	200
5.4.	<i>Seguimiento batimétrico en las golas del Mar Menor.</i>	201
5.5.	<i>Futuras líneas de investigación</i>	202
6.	BIBLIOGRAFÍA.	206
7.	Índices gráficas y tablas.	230
7.1.	<i>Índice de figuras e imágenes.....</i>	230
7.2.	<i>Índice de tablas</i>	236
8.	ANEXOS.	240
8.1.	<i>Anexo I. Catálogo de servicios internacionales de visualización INSPIRE.....</i>	240
8.2.	<i>Anexo II. Catálogo de servicios nacionales de visualización INSPIRE en el tema de agricultura, agua y medio ambiente.....</i>	241
	• Capas generales	241
	• Concesiones y autorizaciones	241
	• Delimitación y restauración del Dominio Público Hidráulico	241
	• Estado y calidad de las aguas	241
	• Evaluación de los recursos hídricos	242
	• Gestión de los riesgos de inundación	242
	• Planificación hidrológica	242
	• Saneamiento y depuración	243
	• Seguridad de Presas y Embalses.....	243
	• Zonas protegidas	243
8.3.	<i>Anexo III. Catálogo de servicios regionales de visualización OGC.....</i>	244
8.4.	<i>Anexo IV. Imágenes y datos de la zona piloto (Zonas Ley 1/2018)</i>	245
8.5.	<i>Anexo V. Imágenes y resultados del seguimiento del Mar Menor.....</i>	286
8.6.	<i>Anexo VI. Imágenes y resultados del seguimiento de la gola del Mar Menor.....</i>	336
8.7.	<i>Anexo VII Equipamiento de drones del IMIDA.....</i>	341
8.8.	<i>Anexo VIII. Abreviaturas</i>	348

OBJETIVOS

1. OBJETIVOS.

El objetivo principal de la presente tesis doctoral consiste en diseñar una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) temática que se denominará IDEarM (Infraestructura de Datos Espaciales de la Región de Murcia), basada en el estudio de su funcionalidad, arquitectura, componentes y aplicaciones así como el análisis de su importancia para la definición de los requisitos de las aplicaciones temáticas que permitan la integración de múltiples fuentes de datos espaciales en la Región de Murcia y dar apoyo a la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos en el ámbito agrario y su relación con el uso del agua. Con el fin de lograr una mejor comprensión de los problemas y los obstáculos de la integración de datos espaciales, en esta tesis doctoral se utiliza la información inventariada y la generada a distintas escalas espaciales: a nivel internacional se usará WISE (Sistema de información de Aguas la Agencia Europea de Medio Ambiente); a nivel nacional principalmente la facilitada por la Oficina Virtual de Catastro del Ministerio de Hacienda, los datos y servicios de la IDEE de España del IGN (Instituto Geográfico Nacional), el SIA (Sistema de Información Agraria), el SIGA (Sistema de Información Geográfico Agrario) del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y del Ministerio para la Transición Ecológica; a nivel interregional la información provista por la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS); y finalmente a escala regional la IDE de la Región de Murcia.

Por tanto, los objetivos específicos de la tesis doctoral son los siguientes:

- (i) analizar las barreras, tanto técnicas como de otra índole, que obstaculizan una efectiva integración de múltiples fuentes de datos dentro de una IDE temática regional sobre Agricultura y Agua en la Región de Murcia – IDEarM;
- (ii) inventariar y caracterizar los datos disponibles en esta temática;
- (iii) adecuar un modelo de datos para facilitar la adaptación a INSPIRE;
- (iv) analizar los componentes clave de las herramientas de interoperabilidad que ayuden al cumplimiento de la directiva Europea INSPIRE y de Opendata; y finalmente
- (v) desarrollar su implementación como herramienta ayuda a la toma de decisión para los cultivos cítricos en el Campo de Cartagena y el seguimiento de la calidad del

agua y la batimetría en el Mar Menor, la gestión de los recursos de información geográfica y la puesta en marcha de servicios asociados con la integración de datos en sus diferentes aspectos técnicos, institucionales, políticos, jurídicos y sociales.

Por lo tanto, resumidamente el ámbito geográfico general de la presente tesis doctoral se centra en la integración de información de cuatro (4) niveles espaciales:

(1) Nivel Europeo: Los datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente (usos del suelo, figuras de protección ambiental, entre otros);

(2) Nivel nacional: Los datos nacionales del Ministerio de agricultura, catastro, de la Cuenca Hidrográfica del Segura, IGME (parcelas catastrales, masas de agua, calidad de aguas, entre otros);

(3) Nivel regional: La Región de Murcia, que incluye (inventario de cultivos, infraestructuras de regadío y necesidades de agua para el regadío, climatología agraria, tipos de suelos, entre otros)

(4a) Zonas piloto: del Campo de Cartagena, sobre los requerimientos de la IDE que permita mejorar el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos cítricos de agua y el impacto del cambio climático en el desverdizado natural del limón.

(4b) Zonas piloto: del mar Menor, sobre los requerimientos de la IDE que permita el seguimiento de la calidad agua mediante teledetección y la actualización batimetría en las zonas más sensibles del Mar Menor.

Mediante un análisis de estudio de casos se pretenden identificar diferentes utilidades de la IDE propuesta en el ámbito de ayuda al proceso de toma de decisión para la planificación estratégica del uso del agua, la gestión del recurso hídrico y la implementación de servicios asociados con la integración de datos en sus diferentes aspectos técnicos, institucionales, políticos, jurídicos y sociales.

El análisis propuesto de los desafíos y problemas de integración de datos también permite identificar una serie de herramientas clave para superar dichas limitaciones. En base a los resultados de los estudios de casos, se diseñarán un conjunto de herramientas de integración de datos, esquemas de validación, directrices de integración de datos espaciales, modelo integrado de datos para la IDEarM, catálogo de metadatos, y recomendaciones de especificaciones técnicas para su implementación. Las herramientas de integración y validación constituyen un

conjunto de aplicaciones informáticas para evaluar y validar la disposición de diferentes bases de datos siguiendo una serie de medidas y reglas. Estas medidas y reglas, definidas por los administradores de las IDEs temáticas o por los proveedores de datos, incluyen restricciones a los contenidos espaciales - como valores de atributos, la extensión geográfica, la calidad de los datos y las políticas o las restricciones de las base de datos-. Las herramientas serán evaluadas a través de la selección de casos piloto donde se incluyan conjuntos de datos reales en el ámbito geográfico de la Región de Murcia. No obstante, una vez definidas las herramientas y protocolos, los mismos podrían extrapolarse a otras regiones. Experiencias previas realizadas en el marco de proyectos de investigación como: “Evaluación del impacto de la sequía y cambios de usos del suelo en el ciclo hidrológico”-**EVISA** (<http://iderm.imida.es/evisa/>), Uso de la teledetección para la recomendación y seguimiento de las prácticas de riego en el espacio –**TELERIEG** (<http://www.telerieg.net/>), “REmote-Sensing based DSS for Sustainable Drought-Adapted Irrigation Management”- **REDSIM** (<http://iderm.imida.es/redsim/>), “Evaluación de Variabilidad Hidroclimática desde Combinaciones Multimodelo Climáticas”- **HYDROCLIM**,” Evaluar la incidencia de la actividad agrícola en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas que vierten al Mar Menor **SÉNECA-02018/PAGR01**, “Caracterización del acuífero del cuaternario del Campo de Cartagena y la modelización matemática en el contacto con el Mar Menor- **SÉNECA-08825/PI/08** - y especialmente proyecto FEDER “Diseño y puesta en marcha de una infraestructura de datos espaciales sobre agricultura y agua en la Región de Murcia”-**IDEarM** (<http://idearm.imida.es/>), que han demostrado que las IDE constituyen una buena herramienta para la integración efectiva y eficaz de múltiples bases de datos disponibles sobre la gestión del agua en el ámbito agrario, permitiendo ahorrar tiempo y costes.

INTRODUCCIÓN

2. INTRODUCCIÓN.

2.1. La información geográfica en el sector agrario y el medio ambiente.

La Información Geográfica—**IG**, es fundamental para multitud de disciplinas y tiene una gran importancia para administraciones públicas ya que se estima que más del 80% de la información manejada por ellas es susceptible de ser georreferenciada. La tecnología que permite su manejo se denomina Geomática, que es un conjunto de tecnologías geoespaciales, así como programas informáticos especializados empleados en el análisis de los datos sobre el territorio y su representación espacial. Hoy en día sería casi imposible gestionar los procesos agrarios o del medio ambiente sin recurrir al empleo de la IG, ya que los profesionales de las ciencias agronómicas, necesitan usar de estas tecnologías y conocimientos: los Sistemas Geodésicos de Referencia, los Sistemas de Posicionamiento Global (**GNSS**), la Cartografía temática como el SIGPAC, las técnicas de Fotogrametría, la Teledetección espacial o mediante drones y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Las mismas, se sustentan en los sistemas de conocimientos, teorías y conceptos de las ciencias matemáticas, la geodesia física y la tecnología espacial; así como en el uso y manejo de bases de datos relacionales y no relacionales de uso en análisis de Big Data, la computación gráfica y más recientemente la inteligencia artificial y el blockchain.

En el ámbito nacional el Artículo 11 de la Ley 14/2010 de 5 de julio, sobre las infraestructuras y servicios de la información geográfica en España (LISIGE), establece que los servicios de información geográfica deberán estar accesibles en las infraestructuras de información geográfica de las Administraciones Públicas, y que estas deben asegurar el acceso a los siguientes tipos de servicios de Información Geográfica-IG para cualquier ámbito temático (LISIGE, 2010).

- Servicios de localización que posibiliten la búsqueda de conjuntos de datos geográficos y servicios de información geográfica relacionados con ellos, partiendo del contenido de los metadatos correspondientes.

- **Servicios de visualización** que permitan, como mínimo, mostrar, navegar, acercarse o alejarse mediante zoom, moverse o la superposición visual de los datos geográficos, así como visualizar los signos convencionales, acceder a estos servicios directamente desde servicios de localización y, opcionalmente, consultar los atributos de los datos geográficos.
- **Servicios de descarga** que permitan descargar copias de datos geográficos, o partes de ellos y, cuando sea posible, acceder directamente a su contenido para construir servicios de valor añadido o integrarlos en la lógica de aplicaciones de usuario.
- **Servicios de transformación**, que permitan transformar los datos geográficos con vistas a lograr su interoperabilidad.
- **Servicios de provisión de acceso** a los servicios de datos espaciales anteriores.

Estos servicios de IG, deberán tener en cuenta los requisitos de los usuarios y ser fáciles de utilizar, lo que se realizará a través de Internet o por medio de cualquier otro servicio de telecomunicaciones, y estarán condicionados al cumplimiento por los interesados de los requerimientos técnicos que permitan la interoperabilidad de sus sistemas con las Infraestructuras de Datos Espaciales-IDE de cualquier Administración Pública (Figura 2-1).

Figura 2-1. Elementos básicos para el desarrollo de una IDE

En el Artículo 12 de LISIGE, se declara que la interoperación de los servicios de información geográfica de las Administraciones Públicas ha de quedar garantizada ya que se está obligado a dotarlas de la posibilidad técnica de dicha interoperabilidad a través de la red, estos servicios han de ponerse también a disposición de terceros para favorecer la creación de servicios de valor añadido. Por tanto las IDE, como estructuras con capacidad de encadenar servicios, pueden convertirse en algo mucho más complejo y útil, y que su desarrollo permite ayudar en la toma de decisiones en diferentes ámbitos.

Para conseguir la interoperabilidad, se están desarrollando servicios estandarizados definidos por el Open Gis Consortium-**OGC** y **API** como **REST** (Representational State Transfer- Transferencia de Estado Representacional), que están cambiando por completo la ingeniería en los últimos años. Este nuevo enfoque en el desarrollo de proyectos y servicios web fue definido por Roy Fielding, padre de la especificación HTTP, y son referencia internacional en todo lo relacionado con la arquitectura de redes (Fielding, 2000). En el campo de las APIs, REST es, a día de hoy, la base de desarrollo de la mayoría de servicios de aplicaciones geográficas en todos los campos.

Para poder abordar el desarrollo de una IDE operacional, es necesario incluir los acuerdos entre las organizaciones implicadas con el objeto de posibilitar su coordinación y administración a escalas locales, regionales, nacionales y

transnacionales. Aunque el núcleo del concepto de una IDE no lo recoge, la infraestructura suministra el entorno ideal para abordar los problemas de la conexión de los datos con sus aplicaciones sobre la base del trabajo con un mínimo conjunto de estándares y políticas.

Las IDE tienen entre otros objetivos, optimar el acceso a la información geográfica, ya que los datos espaciales suelen estar muy dispersos por la red y los datos de distintos organismos, algunas veces no es interoperable.

En base a los requisitos anteriores, los objetivos de una IDE se pueden resumir en (Valencia, 2017):

- Facilitar el acceso y la integración de la información espacial que permitirá el desarrollo de sistemas encadenados para la toma de decisiones.
- Promover el uso de metadatos estandarizados como método para documentar la información espacial para reducir costos.
- Impulsar la reutilización de la Información Geográfica generada en un proyecto para otras aplicaciones.
- Impulsar la cooperación entre las administraciones para favorecer el intercambio de datos entre ellas.

La consecución de estos objetivos conllevará una serie de beneficios, tanto para los productores de información espacial como para los usuarios, ya que los productores se ven beneficiados por la creación y ampliación de la demanda de información espacial y, al mismo tiempo, se da a conocer la oferta de datos geográficos entre los usuarios. Al facilitar la cooperación entre productores, se reducen las inversiones de cada organización en la captura e integración de datos y surge también la posibilidad de evaluar la calidad de los datos que ofrece cada productor.

Por su parte los usuarios se benefician al conocer con detalle la oferta existente y la manera de acceder a los datos geográficos. Se ofrece, también, facilidad de acceso a la información mediante un portal único, conectado a diferentes servidores y la combinación de información de diversas fuentes en función del objetivo determinado.

Todo lo anterior promueve la competencia y cooperación entre productores, facilita el acceso a la información geográfica y permite el desarrollo encadenados de nuevos servicios en portales temáticos adaptados a diferentes necesidades.

2.1.1. Los sistemas de información geográfica-SIG.

Aunque los Sistemas de Información Geográfica-**SIG** (Geographical Information Systems -GIS) se empezaron a generalizar en la década de los 80, su gestación y desarrollo se operacional se remonta al año 1.962 con el desarrolló el Canadian Geographic Information System (C.G.I.S.), con el objeto de gestionar los bosques de Canadá, bajo una estructura ráster y vectorial que combinaba la cartografía con los datos necesarios para la gestión forestal. Desde los años 70, existe una creciente demanda para el almacenamiento, análisis y despliegue de datos medio ambientales, lo que ha hecho necesario el uso de ordenadores para el manejo de estos datos y la creación de sofisticados sistemas de información (Tomlinson *et al.*, 1976).

El manejo de un gran volumen de datos espaciales depende de la existencia de sistemas capaces de transformar estos datos en información útil, los Sistemas de Información Geográfica, se han convirtiendo en herramientas imprescindibles en el conocimiento y análisis del medio agrícola y el medio ambiente. (Burrough, 1986) define un SIG como *"un poderoso conjunto de herramientas capaz de capturar, almacenar, recuperar a voluntad, transformar y desplegar datos espaciales del mundo real para determinadas aplicaciones"*.

Un SIG debe ser entendido como una base de datos que permite al usuario modelizar "escenarios". Al introducir diferentes variables en el sistema, se pueden conocer las consecuencias de una acción antes de que ésta sea irreversible. Conceptualmente, se trata de una base de datos espacial que cuenta con una base de datos gráfica con un sistema de referencia espacial para definir para definir la localización y relación entre objetos, ya que los datos tratados en este tipo de bases de datos tienen un valor relativo, no es un valor absoluto. Los sistemas de referencia espacial pueden ser de dos tipos: georreferenciados (aquellos que se establecen sobre la superficie terrestre) o no georreferenciados y por otra parte base de datos alfanumérica conectadas entre sí.

En 1978, la empresa ERDAS adapta para el PC un software de análisis de imágenes denominado IMGGRID, y comienza a distribuir este junto con un hardware relativamente asequible para uso personal. El ERDAS 400 System se convierte así en el primero de su clase con esas características.

En 1981, ArcInfo, de la compañía ESRI, se convierte en el primer SIG que alcanza el ámbito de los ordenadores personales. Será también un producto de esta compañía, ArcView, el que en 1991 pase a popularizar el SIG como herramienta de escritorio. A mitad de los 80, ArcInfo y ERDAS comienzan a distribuirse de forma conjunta en un producto comercial que integra el análisis vectorial con el tratamiento de imágenes dentro del entorno de un PC (Figura 2-2).

Figura 2-1. Ejemplo de tratamiento de imágenes con SIG de escritorio

En 1993, con la extensión del uso de la World Wide Web (WWW) será cuando se empiece a utilizarse directamente para actividades relacionadas con los SIG o la distribución de cartografía. En esta fecha aparece Xerox PARC, el primer servidor de mapas. Mapserver, uno de los principales servidores de cartografía en la actualidad, aparece a mediados de 1997. El primer atlas digital en línea es el Atlas Nacional de Canadá, que se encuentra disponible desde 1994.

En 2001 aparece la compañía *Keyhole, Inc*, que fue pionera en el desarrollo de software especializado en aplicaciones de visualización de datos geoespaciales, y que posteriormente fue adquirida por Google. A esta empresa se debe el desarrollo de

KML (Keyhole Markup Language) que es un lenguaje de marcado basado en el estándar XML para representar datos geográficos en tres dimensiones.

Posteriormente, en 2004, aparecen Google Earth y Google Maps, que además de ofrecer servicios de cartografía permiten desarrollar nuevas aplicaciones sobre dichos servicios a través de una interfaz de programación abierta y documentada. Los conceptos de la Web 2.0 se adaptan así al ámbito de los SIG. El número de ideas y funcionalidades basadas en Google Maps crece exponencialmente desde prácticamente su nacimiento, extendiendo la tecnología SIG a campos muy distintos a los que originalmente constituían el ámbito habitual del uso de los SI, como pueden la agricultura y el medio ambiente y con la herramienta de Google Maps Engine se pueden realizar mapas personalizados.

2.1.2. Las geodatabases

Una geodatabase es una colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de sistema de archivos común, una base de datos de Microsoft Access o una base de datos relacional multiusuario-DBMS (por ejemplo Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, Informix o IBM DB2). Las geodatabases tienen diversos tamaños, distinto número de usuarios, pueden ir desde pequeñas bases de datos de un solo usuario generadas en archivos hasta geodatabases de grupos de trabajo más grandes, departamentos o geodatabases corporativas a las que acceden muchos usuarios (Erena & García, 2014).

La geodatabase es la estructura de datos nativa de ArcGiS y es el almacenamiento físico de la información geográfica, que principalmente utiliza un sistema de administración de bases de datos (DBMS) o un sistema de archivos. Se puede acceder y trabajar con esta instancia física del conjunto de datasets a través de ArcGIS o mediante un sistema de administración de bases de datos utilizando SQL. Las geodatabases cuentan con un modelo de información integral para representar y administrar información geográfica. Este modelo de información integral se implementa como una serie de tablas que almacenan clases de entidad, datasets ráster y atributos. Además, los objetos de datos SIG avanzados agregan comportamiento SIG, reglas para administrar la integridad espacial y herramientas

para trabajar con diversas relaciones espaciales de las entidades, los rásteres y los atributos principales.

La lógica del software de geodatabases proporciona la lógica de aplicación común que se utiliza en ArcGIS para acceder y trabajar con todos los datos geográficos en una variedad de archivos y formatos. Esto permite trabajar con la geodatabase, e incluye el trabajo con shapefiles, archivos de dibujo asistido por ordenador (CAD), redes irregulares de triángulos (TIN), cuadrículas, imágenes o archivos de lenguaje de marcado geográfico (GML). La información espacial incluye atributos y una localización, extensión o configuración. Los atributos geométricos pueden ser métricos o topológicos. Los primeros, que incluyen posición, forma y tamaño, pueden expresarse por medio de coordenadas espaciales. Los topológicos son aquellos que describen características como conectividad y adyacencia, que no varían frente a distorsiones o cambios de escala.

Las entidades geográficas se dividen convencionalmente en puntos, líneas y polígonos (áreas cerradas por líneas). Esencialmente, la representación digital de estas entidades se realiza de una de estas dos formas: i) modo ráster (celdillas) o ii) modo vector (Puntos, líneas y polígonos).

Una estructura ráster consiste en una matriz de celdillas de tamaño uniforme, cada una de las cuales se encuentra referenciada por un único índice posicional (número de línea y columna). Contiene un número o código que representa el valor del atributo que ha sido cartografiado.

Por el contrario, la estructura vectorial representa los puntos mediante un par de coordenadas; las líneas por una cadena de coordenadas, uniforme o no uniformemente espaciadas; y las áreas o polígonos por sus bordes o fronteras. La topología es el campo de las matemáticas que estudia las relaciones de los elementos en el espacio. La existencia de estas relaciones es la clave para diferenciar entre sistemas de cartografía automática y SIG. La concepción de estas relaciones varía entre los sistemas matriciales y vectoriales. En los sistemas matriciales las relaciones se producen entre celdas como análisis, generalmente, de vecindad, conformándose las entidades espaciales a partir de la proximidad física y de atributos entre los píxeles. Los sistemas vectoriales se suelen basar en una topología arco-nodo que

viene definida por la direccionalidad, la conectividad y la proximidad entre vectores; de forma tal que a partir de éstos y otros valores se definen las diferentes entidades espaciales.

Durante mucho tiempo ha habido una fuerte controversia sobre cuál de los dos modos (ráster o vector) era el mejor. Actualmente, los datos capturados y almacenados en modo vector pueden ser convertidos fácilmente en modo ráster, definiendo el tamaño de píxel que se desee. Una vez se ha realizado el análisis espacial o la simulación, los resultados pueden ser llevados en sentido inverso (ráster a vector) para su almacenamiento.

Las imágenes de satélite son una importante fuente de datos para el seguimiento y actualización de un SIG. Mientras que las técnicas de tratamiento digital, proporcionan las herramientas necesarias para transformar los datos de teledetección en información. Por otro lado, los muestreos en campo aseguran la validez y fiabilidad de los datos que van a ser incorporados al sistema.

Así pues, hemos pasado de una primera generación de sistemas, en los que se trabajaba en ráster o en vector, a los GIS integrados, que permiten manejar datos en ambos modos y superponer datos vectoriales sobre datos ráster.

La integración de técnicas de tratamiento de imagen con las de GIS vectoriales abre nuevas posibilidades para optimizar la transformación de los datos en información y mejorar su calidad.

2.1.3. La teledetección

La teledetección (remote sensing-**RS**) se define como la capacidad de obtener información de un objeto, sin mantener contacto físico con él desde una plataforma generalmente aerotransportada en aviones o satélites. El término teledetección se restringe a aquellos métodos que emplean la energía electromagnética reflejada o irradiada por los objetos, lo que excluye las investigaciones eléctricas, magnéticas y gravimétricas, que lo que miden son campos de fuerza (Chuvieco, 2008). Esta técnica, que permite adquirir información de un objeto a distancia, se basa en la posibilidad de identificar los materiales de la superficie terrestre, al tener estos una respuesta espectral propia. Para ello, son necesarios instrumentos capaces de

registrar la radiación electromagnética procedente de la Tierra y transformarla en una señal susceptible de ser manejada analógica (productos fotográficos) o digitales.

El láser, Radar, los scanner multiespectrales y las cámaras fotográficas, son los sensores más utilizados en teledetección, y drones, aviones y satélites, las plataformas de observación sobre las que se instalan dichos sensores para la obtención de los datos.

Si nos atenemos a la definición formal, teledetección abarca tanto la fotogrametría, como la teledetección aeroespacial. Sin embargo, cuando se habla de teledetección, se acostumbra a relacionar el término con las imágenes de satélite, y no con la fotografía aérea convencional.

Esta diferenciación viene dada por la forma en que se registra la radiación electromagnética. En fotogrametría, las cámaras fotográficas digitales detectan las variaciones de energía en un sensor del tipo Charge Coupled Device –**CCD** o del tipo Complementary Metal Oxide Semiconductor –**CMOS**. En teledetección aeroespacial, los sensores utilizados codifican la radiación electromagnética en un conjunto de datos digitales, que constituyen una imagen.

La información transmitida por plataformas de teledetección está ligada a las características del sensor y capacidades del satélite. La resolución espacial del sensor le da el tamaño de píxel de la imagen que puede ir de centímetros en Pleiades 1A (50 cm) a metros en el caso de Sentinel II (10, 20, 60), la resolución espectral proporciona datos a diferentes longitudes de onda espectrales (desde espectros solares a térmicos) y también información sobre ancho espectral, resolución temporal se refiere a la fecha de adquisición y la frecuencia de adquisiciones (que van de un día a meses), y eventualmente espaciales la extensión cubre el área de terreno detectada por el campo de visión del sensor en Tierra. En consecuencia, se debe seleccionar el sensor/plataforma más adecuado dependiendo de las necesidades de la aplicación (Benz, 2004).

Uno de los principales objetivos de la teledetección es estudiar el estado de la vegetación para mejorar nuestro conocimiento sobre cómo funciona la Tierra como un sistema. Esto se ha logrado en parte empleando diferentes métodos para determinar y evaluar la fenología de la vegetación utilizando series temporales de

índices de vegetación como la Diferencia Normalizada Índice de Vegetación (NDVI) y el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) derivado de una variedad de sensores operacionales de resolución media como el Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (Justice, 1998), o los del Système Pour l'Observation de la Terre (H VIR) de SPOT 5 (Pasquier, 1998), el sensor del Project for On-Board Autonomy (PROBA-V) (Sterckx, 2014), los sensores Operational Land Imager (OLI) y el sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) de Landsat 8 (USGS, 2016), o el sensor Multispectral Instrument (MSI) del Sentinel II (ESA, 2018).

Del mismo modo, la Organización Europea para la Explotación de Los satélites meteorológicos (EUMETSAT) proporciona información para el seguimiento de la vegetación mediante el Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI) a bordo del Meteosat de Segunda Generación (MSG), la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica-NOAA de EEUU, desarrollo el Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) para monitorear la vegetación (Townshend, 1994) y centros especializados como el Center of Hydrometeorology and Remote Sensing (CHRS) de la University of California-Irvine (UCI) proporcionan series de 30 años del producto PERSIANN-CDR (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks) para la estimación de precipitación (Hsu *et al.*, 1997). Los satélites artificiales son la mejor plataforma de observación sobre la que instalar estos sensores. En función de sus características orbitales, estos satélites se pueden clasificar en tres grandes grupos (Figura 2-3):

- 1) Satélites geoestacionarios.
- 2) Satélites de órbita polar.
- 3) Satélites de órbita general

Los satélites geoestacionarios, también llamados geo sincrónicos, son aquellos que aparecen como inmóviles sobre un punto fijo de la superficie terrestre. Esto es debido a que el satélite está situado a una altura orbital tal, que su período orbital (tiempo que un satélite tarda en completar una órbita alrededor de un planeta) es igual a la velocidad de rotación de la Tierra. Esta altura orbital está en torno a los 35.800 Km o lo que es lo mismo, 5,6 veces el radio terrestre

(aproximadamente 6.370 Km). Por esta razón, las órbitas geo sincrónicas son ecuatoriales o cuasi ecuatoriales. Ejemplos de satélites geoestacionarios son los satélites meteorológicos norteamericanos GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites), o el europeo METEOSAT, que se caracterizan por su baja resolución espacial y por la alta periodicidad de sus observaciones.

Los satélites de órbita polar son también llamados helio sincrónicos, debido a que la relación angular entre el Sol y el plano orbital del satélite se mantiene constante. Esto se traduce en que el satélite pasa por un mismo punto de la superficie terrestre a la misma hora solar.

Figura 2-2. Satélites de órbita polar y satélites geoestacionarios (Montesinos, 1996)

Los satélites de órbita polar se encuentran a una altura orbital inferior a 1.000 Km sobre la superficie de la Tierra y su período orbital es muy corto (inferior a 2 horas). Ejemplos de este tipo de satélites son los americanos de la serie Landsat, creados para el estudio de los recursos naturales de la Tierra, el HCMM (Heat Capacity Mapping Mission) dedicado a la investigación térmica de alta resolución y los satélites de recursos naturales como la serie SPOT. De estos tres tipos, los de mayor interés para las aplicaciones agrícolas son los satélites de órbita polar, en especial el Landsat 8 (Tabla 2-1), los SPOT 6 y 7, los Pleiades 1A/1B y el Sentinel II del programa Copernicus.

Tabla 2-1. Características espectrales de Landsat 7 y 8 (USGS, 2018)

Landsat 7			Landsat 8		
Banda	Ancho (μm)	Resolución (m)	Banda	Ancho (μm)	Resolución (m)
			Band 1 Coastal	0.43 – 0.45	30
Band 1 Blue	0.45 – 0.52	30	Band 2 Blue	0.45 – 0.51	30
Band 2 Green	0.52 – 0.60	30	Band 3 Green	0.53 – 0.59	30
Band 3 Red	0.63 – 0.69	30	Band 4 Red	0.64 – 0.67	30
Band 4 NIR	0.77 – 0.90	30	Band 5 NIR	0.85 – 0.88	30
Band 5 SWIR1	1.55 – 1.75	30	Band 6 SWIR1	1.57 – 1.65	30
Band 7 SWIR2	2.09 – 2.35	30	Band 7 SWIR2	2.11 – 2.29	30
Band 8 Pan	0.52 – 0.90	15	Band 8 Pan	0.50 – 0.68	15
			Band 9 Cirrus	1.36 – 1.38	30
Band 6 TIR	10.40 – 12.50	30/60	Band 10 TIRS1	10.6 – 11.19	100
			Band 11 TIRS2	11.5 – 12.51	100

El programa Copérnico (Figura 2.4), anteriormente llamado "Global Monitoring for Environment and Security"-GMES, es un proyecto dirigido conjuntamente por la Agencia Espacial Europea (ESA) y por la Unión Europea a través de la Agencia Europea de Medio Ambiente, que pretende lograr una completa, continua y autónoma capacidad de observación terrestre de alta calidad cuyos resultados sean accesibles libremente por la comunidad científica o cualquier otra persona interesada. El objetivo general es proveer de información exacta, fiable y continua, para, entre otras cosas, mejorar la gestión y conservación del medio ambiente, comprender y mitigar los efectos del cambio climático y asegurar la seguridad civil. Pretende agrupar diferentes fuentes de información de satélites medioambientales y bases terrestres para proporcionar una visión global de la Tierra.

<http://www.copernicus.eu/main/overview>.

Figura 2-3. Los satélites del programa Copernicus (ESA, 2018)

En el ámbito agrícola el Sentinel más utilizado es el IIA/B, que lleva un instrumento óptico que registra 13 bandas espectrales (Tabla 2-1): cuatro bandas a 10 m, seis bandas a 20 y tres bandas a 60 m de resolución espacial. El ancho de la franja orbital será de 290 km. ESA los suministra con diversos tipos de procesado:

- **Level-0** son los datos sin formato y comprimidos. El producto de nivel 0 contiene toda la información necesaria para generar los niveles de producto de nivel 1 (y superior).
- **Level 1A** son datos brutos sin comprimir con bandas espectrales coregistradas groseramente y datos auxiliares adjuntos.

Los datos de nivel 1B son datos de Radiancia corregidos radiométricamente. El modelo geométrico físico se refina utilizando los puntos de control de suelo disponibles y se anexa al producto, pero no se aplica.

- **Level-1C** son los datos en forma de reflectancia ortorectificadas Top-of-Atmosphere (TOA), con registro multispectral subpíxel.
- **Level-2A** incluye una clasificación de las escenas y una corrección atmosférica aplicada a los productos de orto imágenes Top-Of-Atmosphere (TOA) Level-1C. La salida principal de nivel 2A es un producto de reflectancia corregido de la parte inferior de la atmósfera (BOA).

- Los productos **Level-1C** y **Level-2A** están disponibles para los usuarios a través de Copernicus Open Access Hub (**SciHub**).

En el caso de Sentinel-2A, la parte superior de las reflectancias del dosel se obtiene a partir de los datos del nivel 1C después de la corrección atmosférica (AC) realizada con la caja de herramientas **Sen2Cor** (Corrección atmosférica Sentinel-2).

Sen2cor produce una ortoimagen de la parte superior de la reflectancia corregida del dosel para todas las bandas, excluyendo la banda del cirro, que no contiene información de superficie (Tabla 2-2). <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Tabla 2-1. Bandas espectrales de Sentinel II-2 MSI (ESA, 2016)

Banda	SENTINEL-2 MSI	
	Ancho + Rango(nm)	Resolución (m)
Band 1	443 +20	60
Band 2 Blue	490 +65	10
Band 3 Green	560+35	10
Band 4 Red	665 +30	10
Band 5	705 +15	20
Band 6	740 +15	20
Band 7	783+20	20
Band 8 NIR	842+115	10
Band 8a	865+20	20
Band 9	945+20	60
Band 10	1380+30	60
Band 11	1610+90	20
Band 12	2190 +180	20

La información que nos suministran estos satélites puede ser de varios tipos:

- **Información temporal:** Debido a sus características orbitales, este tipo de satélites sobrevuelan la misma zona cada corto período de tiempo (16 días en el satélite Landsat en el Campo de Cartagena y 8 días sobre el Mar Menor, 25 días para SPOT 6/7 y 5 para Sentinel II A/B). Esto significa que cada año se obtienen varios cientos de imágenes de un área cualquiera de la superficie terrestre. A esto hay que añadir que el primer satélite Landsat se lanzó en 1972, por lo que tenemos una serie histórica de observaciones disponibles de más de 40 años en la región de Murcia.
- **Información espacial:** las imágenes de satélite cubren grandes extensiones de terreno. Una escena Landsat 8 abarca unos 35.000 Km² (185 x 179 Km), una SPOT unos 3.600 Km² (60 x 60 Km) y una Pleiades unos 400 Km² (20 x 20 Km) en función de su resolución espacial (Figura2-5).

Figura 2-4. Evolución de la resolución espectral y espacial (Camps-Valls, 2011).

- **Información espectral:** Los sensores utilizados a bordo de los satélites captan la información no sólo en la región del visible (que es la accesible al ojo humano) sino también en la región del infrarrojo. Esta característica tiene especial importancia en la discriminación de cubiertas vegetales, suelos y tipos de litología.

Figura 2-5. Comparativa de bandas Sentinel II y Landsat 8 (USGS, 2016)

Los recientes avances en plataformas de teledetección-EO, sensores, modelos estadísticos y potencia computacional, así como la gran disponibilidad de datos (Camps-Valls *et al.*, 2011) han proporcionado nuevos desafíos y posibilidades en el procesamiento de imágenes de teledetección (Campos, 2017). Especialmente, en el contexto de la estimación de parámetros biofísicos han posibilitado muchos estudios de manejo de cultivos a nivel de parcela. La información precisa y oportuna a alta resolución espacial de las condiciones y el estado del cultivo es fundamental

para el manejo del cultivo. Por ejemplo, Landsat Data Continuity Mission (LDCM) (Roy, 2014) y la Misión Sentinel-2 Europea (Drusch, 2012) brindan información gratuita de media resolución para una amplia variedad de aplicaciones de la tierra (Malenovský, 2012), incluido el seguimiento agrícola y del medio ambiente. Landsat y Sentinel presentan diversas bandas (Tabla 2-3) que operan bajo rangos parecidos, lo que implica la necesidad de combinarlas de manera distinta en función del estudio mediante análisis multiespectral.

Tabla 2-2. Comparativa de bandas de Landsat 8 y Sentinel II (USGS, 2016)

Composición de bandas	Landsat 8	Sentinel 2B
Falso color (para zonas urbanas)	(7,6,4)	(12,11,4)
Infrarrojo (para vegetación)	(5,4,3)	(8,4,3)
Agricultura	(6,5,2)	(11,8A,2)
Usos del suelo/masas de agua	(5,6,4)	(8A,11,4)
Infrarrojo de onda corta	(7,5,4)	(12,8A,4)
Análisis de vegetación	(6,5,4)	(11,8A,4)
Análisis de vegetación sana	(5,6,2)	(8A,11,2)
Índice NDVI	(5-4)/(5+4)	(8-4)/(8+4)
Índice NDWI	(3-5)/(3+5)	(3-8)/(3+8)
Índice ICBP	(2-7)/(2*5)	(2-8)/(2*12)

Las equivalencias más usadas entre Landsat-TM, Landsat 8- OLI y SII-MSI son en el Infrarrojo: 4,3,2 $\rightarrow$ 5,4,3 $\rightarrow$ 8,4,3 y el color Natural: 3,2,1 $\rightarrow$ 4,3,2 $\rightarrow$ 4,3,2.

- **Información radiométrica:** La codificación de la radiación electromagnética se hace de forma digital, normalmente en 8 bits, lo que es lo mismo, en un rango de valores que va desde 0 a 255 para Landsat 7, aunque Landsat 8 y Sentinel II usan 12 bits. Esta codificación digital nos permite analizar informáticamente los datos recogidos por el sensor.

2.1.4. El marco legal

El marco legal nacional de una actividad o ámbito de actuación está constituido por las normas jurídicas, procedimientos, costumbres y acuerdos informales que contribuyen a su funcionamiento. La cartografía de agrícola nacional, según la **Ley de Ordenación de la Cartografía** (Ley 7/1986 de 24 de enero, Art. 5), es cartografía temática, es decir aquella que utilizando como soporte cartografía base o derivada, singulariza o que desarrolla uno o varios aspectos concretos de la

información topográfica contenida en aquellas, o incorpora información adicional específica. Concretamente, los factores agronómicos pueden tratarse como variables económicas, de distribución, estadísticas, etc., que tienen variabilidad geográfica, y por tanto son susceptibles de representarse en un mapa.

En el caso de los datos abiertos de carácter agrícola existen tres regímenes jurídicos relevantes: el que regula las políticas de gobierno abierto, el que regula las políticas de transparencia y acceso a la información, y el que tiene como finalidad la reutilización de datos. Por otro lado nuestro régimen normativo está insertado en el marco jurídico de la unión europea, por lo que podemos distinguir cinco ámbitos legislativos y de políticas públicas que se analizan a continuación: los acuerdos internacionales, el ámbito europeo, el estatal, el autonómico, y el local.

La **Ley 37/2007**, de 16 de noviembre, sobre reutilización de la información del sector público contiene la regulación básica del régimen jurídico aplicable a la reutilización de la información elaborada o custodiada por las administraciones y organismos del sector público. Esta norma transpone al ordenamiento español la Directiva 2003/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de noviembre de 2003, relativa a la reutilización de la información del sector público y ha sido modificada en 2015 a través de la Ley 18/2015, de 9 de julio, que introdujo la transposición de las modificaciones que se habían efectuado en la Directiva 2003/98/CE a través de la Directiva 2013/37/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2013. Esta Ley se desarrolla para el ámbito público estatal a través del Real Decreto 1495/2011, de 24 de octubre, que introduce el derecho a la reutilización de cuanto documento tenga carácter público. Es este derecho a la reutilización que supone un salto cualitativo, es recogido posteriormente en el marco de la Unión en la Directiva 2013/37/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2013, por la que se modifica la Directiva 2003/98/CE. El convenio sobre acceso a la información, participación del público en la toma de decisiones y acceso a la justicia en materia de medio ambiente de la ONU, conocido como de Aarhus, firmado el 25 de junio de 1998, ya se recogió en el ámbito de la unión europea, mediante la Directiva 2003/4/CE relativa al acceso del público a la información medioambiental y la Directiva

2003/35/CE por la que se establecen medidas para la participación del público en la elaboración de determinados planes y programas relacionados con el medio ambiente

Por otra parte en el ámbito estatal destacan otras tres leyes importantes para el medio ambiente con sus correspondientes reglamentos, que son:

- La transposición al marco jurídico español de la DMA en 2003 (Ley 62/2003) que ha supuesto la asunción de las obligaciones establecidas por la DMA en el ámbito de la política de aguas en España.

- La Ley 27/2006 por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente (incorpora las Directivas 2003/4/CE y 2003/35/CE).

- La **Ley 19/2013** de transparencia, acceso a la información y buen gobierno, que refuerza el derecho de los ciudadanos a acceder a la información sobre actividades públicas más allá del ámbito ambiental. Esta ley afecta a todos los organismos públicos y sociedades mercantiles con capital público superior al 50%. A raíz de la aprobación de la Ley, se están creando los Portales de transparencia, para el asesoramiento, evaluación y promoción (pero sin capacidad sancionadora), de la transparencia y el buen gobierno.

En el campo medioambiental también tiene especial trascendencia la directiva **INSPIRE (Directiva 2007/2/CE)** por la que se establece una infraestructura de información espacial en la comunidad europea). Esta directiva establece unos criterios comunes para publicar la información geográfica, y unos plazos de cumplimiento a los estados miembros.

La trasposición de la directiva INSPIRE al ordenamiento jurídico español, se realizó a partir de la **Ley 14/2010** de 5 de julio, sobre las infraestructuras y servicios de la información geográfica en España (**LISIGE**).

Otro aspecto importante, es el Esquema Nacional de Interoperabilidad – ENI, que se define en el apartado 1 del artículo 42 de la Ley 11/2007, de 22 de junio, de acceso electrónico de los ciudadanos a los Servicios Públicos como “ el conjunto de criterios y recomendaciones en materia de seguridad, conservación y normalización de la información, de los formatos y de las

aplicaciones que deben ser tenidos en cuenta por las Administraciones Públicas para la toma de decisiones tecnológicas que garanticen la interoperabilidad”.

El **Real Decreto 1495/2011**, de 24 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2007, de 16 de noviembre, sobre **reutilización de la información** del sector público, para el ámbito del sector público estatal, establece el régimen jurídico general para la reutilización de dicha información.

El **Real Decreto 4/2010**, de 8 de enero, por el que se regula el **Esquema Nacional de Interoperabilidad** (ENI) en el ámbito de la Administración Electrónica que desarrolla en su Disposición adicional primera, el uso de las Normas Técnicas de Interoperabilidad.

La **Directiva 2013/37/UE** del parlamento europeo y del consejo de 26 de junio de 2013 por la que se modifica la Directiva 2003/98/CE relativa a la **Reutilización de la Información del Sector Público**.

La Ley 19/2013, de 9 de diciembre, de transparencia, acceso a la información pública y buen gobierno.

La resolución de 19 de febrero de 2013, de la Secretaría de Estado de Administraciones Públicas, por la que se aprueba la Norma Técnica de Interoperabilidad de Reutilización de recursos de la información.

El **Reglamento (UE) 2016/679** del parlamento europeo y del consejo de 27 de abril de 2016 relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos-RGPD).

La **Ley Orgánica 15/1999**, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal (vigente en aquellos artículos que no contradigan el RGPD).

La **convención de Aarhus**, que es un convenio firmado por la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (**UN-ECE**) de la sobre acceso a la información, participación del público en la toma de decisiones y acceso a la justicia en materia de medio ambiente que entro en vigor el 30 de octubre de 2001, supuso un gran avance en el acceso de la información en materia de medio ambiente en Europa.

2.1.5. Los estándares

El desarrollo de las tecnologías de la información y su aplicación en el campo de la información geográfica, dio lugar a la automatización de procedimientos, que es lo que conocemos como Geomática, esta nueva forma de trabajar con los datos geográficos hizo pensar que sería posible estandarizar la mayor parte de los aspectos implicados (Ariza & Rodríguez, 2008). Los estándares ayudan a crear un entorno efectivo y consistente para implementar las capacidades geoespaciales de los sistemas de gestión de la información geográfica.

Aunque el lenguaje común admite que hablemos de normas, estándares o especificaciones indistintamente, conviene aclarar la diferencia entre estos conceptos (Ariza, 2008):

- **Norma:** documento que armoniza aspectos técnicos de un producto, servicio o componente, definido por algún organismo oficial de normalización (ISO, AENOR).
- **Estándar:** documento o práctica que sin llegar a ser norma, está acreditado y aceptado por el uso y cumple una función similar a la de una norma (WMS, REST).
- **Recomendación:** es una directriz que promueve un organismo que intenta armonizar prácticas y uso en una comunidad determinada, normalmente basándose en un consenso previo (Implementing Rules de INSPIRE).
- **Especificación:** es una descripción técnica, detallada y exhaustiva de un producto o servicio, que contiene toda la información necesaria para su producción. Algunas Especificaciones pueden ser adoptadas como normas o como estándares (Technical Guidance de INSPIRE).

2.1.6. Open Geospatial Consortium (OGC)

Antes conocido como Open GIS Consortium-OGC, es una organización internacional que agrupa a más de 400 empresas, agencias gubernamentales y universidades para participar en un proceso de consenso con el objetivo de desarrollar estándares que estarán disponibles al público, dentro del campo de la información geográfica. La iniciativa partió de la propia industria de desarrollo de software gráfico en 1994, incorporándose después empresas productoras de datos y

agencias gubernamentales relacionadas con la cartografía y la información geográfica. Los estándares y especificaciones OGC fomentan el uso de soluciones interoperables que hacen posible la web geográfica, los servicios y los productos basados en la localización, es decir, incorporar las tecnologías de la información a la producción y uso de la cartografía. Las especificaciones permiten a los desarrolladores de la tecnología hacer que la información geográfica compleja y sus servicios sean accesibles y útiles con todo tipo de aplicaciones y usuarios (OGC, 2018).

2.1.7. World Wide Web Consortium (W3C)

En especial los relativos a los estándares de Opendata, como el Extensible Markup Language-**XML** o los relativos a la Web Semántica (Manola *et al.*, 2004) como:

- Datos vinculados (Linked Data): Resource Description Framework-RDF y Web Ontology Language –**OWL**.
- Vocabularios: Data Catalog Vocabulary, que es la Application profile for data portals in Europe-**DCAT**.

2.1.8. International Organization for Standardization (ISO)

Este organismo es el mayor desarrollador de estándares del mundo. Dentro de ISO, se creó en 1991 el **Comité Técnico 211- TC211** para la **información geográfica**/Geomática que es el responsable de la elaboración de la familia de normas 19100 relacionadas con objetos o fenómenos que están directa o indirectamente asociados con una localización relativa a la Tierra (19106, 19115, 19019 y la 19139). La normativa trata sobre los métodos, herramientas, y servicios para la gestión de datos, adquisición, procesamiento, análisis, acceso, presentación y transferencia de información geográfica en formato digital entre diferentes usuarios, sistemas y localizaciones (Ariza, 2008).

2.1.9. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

La interoperabilidad puede definirse de diferentes formas. Por ejemplo el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, 1990) define interoperabilidad como la habilidad de dos o más sistemas o componentes para

intercambiar información y utilizar la información intercambiada. Según la iniciativa Dublin Core (Dublin Core, 2006), se define como la capacidad de los distintos tipos de ordenadores, redes, sistemas operativos y aplicaciones informáticas, para trabajar conjuntamente de una forma efectiva, sin requerir comunicaciones previas, de modo que se intercambie información de un modo útil y válido.

En el contexto de las IDE los principales actores que están promoviendo la interoperabilidad de los datos y los sistemas son el Open Geospatial Consortium (OGC) y la Organización Internacional de Estandarización (ISO). Ambos, además de definir normas para los datos y los metadatos, están definiendo modelos de objetos y esquemas XML para el almacenamiento y la transferencia de información, así como para las interfaces de servicios, por ejemplo la ISO 19128:2005 Web Map Server Interface”, basándose en la especificación “Web Map Service (WMS) Implementation Specification” del OGC, un modelo a seguir es el propuesto por la (FGDC, 2012), su esquema de interoperabilidad puede verse en la (Figura 2-7).

Por otra parte ISO en su norma ISO19119, define la interoperabilidad geográfica como la capacidad de los sistemas de información para intercambiar libremente todo tipo de información espacial relacionada con la tierra, los objetos y los fenómenos que existen encima, debajo y sobre la superficie terrestre, y ejecutar programas capaces de manejar dicha información de forma cooperativa, sobre redes de comunicaciones. La interoperabilidad puede ser de diferentes aspectos: sintáctica, estructural o semántica. Se habla de una interoperabilidad sintáctica cuando tiene que ver con la posibilidad de conexión técnica: Los datos pueden ser transferidos (sin importar si esos datos están referidos al mismo sistema de referencia, pertenecen al mismo huso, disponen de las mismas unidades, etc.) Se habla de una interoperabilidad estructural cuando se hace referencia a su representación, identificación licenciamiento y control de los datos compartidos. En el tercer caso se habla de una interoperabilidad semántica cuando, además de transmitirse los datos, los sistemas deben entender de la misma forma los significados de los datos compartidos (Lemmen, 2006). Por todo lo anterior, los metadatos son fundamentales para conseguir un interoperabilidad operativa (Manso, 2009).

Algunas causas de no entendimiento entre sistemas a la hora de integrar datos pueden ser:

- Confusión por el uso expresiones con distintos significados
- Conflictos por el uso de diferentes sistemas de referencia
- Conflictos de nombre por la existencia de homónimos y sinónimos

Con objeto de no dejar imprecisiones en las definiciones de los conceptos ni en el alcance de los significados, se utilizan los metadatos, cuyo fin último es dejar bien definidos los objetos, las acciones y los servicios geográficos.

Se debe estandarizar todo aquello que tenga que ver con el proceso de compartir información, tanto entre personas como entre máquinas, para ello se utiliza el lenguaje de comunicación: GML es el lenguaje XML para la información Geoespacial. Está definida en la Norma ISO 19136 Geographic information-Geography Markup Language (GML) y es utilizada por el OGC para la codificación, almacenamiento, y transporte de la información geográfica en Internet.

Figura 2-6. Esquema inicial de interoperabilidad de IDEarM, adaptado de (FGDC, 2012)

2.1.10. OpenData

La expresión en inglés «Open Data», «Datos abiertos » en español, se refiere a un movimiento sociopolítico cuyo objetivo es el de liberar de trabas legales, técnicas y económicas los datos bajo control de organizaciones ya sean públicas o privadas, para potenciar su reutilización. La idea de **«datos abiertos »** comenzó en el CERN junto con la World Wide Web-WWW.

El primer portal de datos abiertos que apareció fue el de Estados Unidos «data.gov» en 2009, tras la firma por el Presidente Obama del “Memorandum for the heads of executive departments and agencies”. Este portal es hoy en día un ejemplo de «buena práctica» y una referencia en cuanto a la nomenclatura común a la hora de definir el dominio web del catálogo de datos abiertos en cada país, Por ejemplo en España es <http://datos.gob.es/> (Figura 2-8).

La filosofía de los datos abiertos es que los datos generados por las administraciones con dinero público no son propiedad de las administraciones sino de todos, y por tanto deben ser puestos a disposición del público salvo que su difusión entrañe algún tipo de riesgo para la seguridad, la privacidad o la libre competencia. De hecho una política ambiciosa de datos abiertos supone trascender la regulación del derecho a la información, esencialmente reactiva al responder a solicitudes concretas de información, por una política proactiva de publicación de los datos y la información en espacios virtuales abiertos a todas las partes interesadas. Los datos abiertos son datos que pueden ser utilizados, reutilizados y redistribuidos libremente por cualquier persona, y que se encuentran sujetos, cuando más, al requerimiento de atribución y de compartirse de la misma manera en que aparecen.

Figura 2-7. Esquema de reutilización de información en el portal de Opendata de España

La definición de apertura de datos, implica dar detalles precisos y de lo que significan, una visión más completa de sus implicaciones puede encontrarse en el portal nacional (<http://datos.gob.es/es>) donde se resaltan los siguientes aspectos:

- **Disponibilidad y acceso:** la información debe estar disponible como un todo y a un costo razonable de reproducción, preferiblemente descargándola de internet. Además, la información debe estar disponible en una forma conveniente y modificable.
- **Reutilización y redistribución:** los datos deben ser provistos bajo términos que permitan reutilizarlos y redistribuirlos, e incluso integrarlos con otros conjuntos de datos.
- **Participación universal:** todos deben poder utilizar, reutilizar y redistribuir la información. No debe haber discriminación alguna en términos de esfuerzo, personas o grupos. Restricciones “no comerciales” que prevendrían el uso comercial de los datos; o restricciones de uso para ciertos propósitos (por ejemplo sólo para educación) no son permitidas.

La **Ley 37/2007**, de 16 de noviembre, sobre **reutilización de la información del sector público** contiene la regulación básica del régimen jurídico aplicable a la reutilización de la información elaborada o custodiada por las administraciones y organismos del sector público. Esta norma transpone al ordenamiento español la Directiva 2003/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de noviembre de 2003, relativa a la reutilización de la información del sector público y ha sido modificada en 2015 a través de la Ley 18/2015, de 9 de julio, que introdujo la transposición de las modificaciones que se habían efectuado

en la Directiva 2003/98/CE a través de la Directiva 2013/37/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2013. Esta Ley se desarrolla para el ámbito público estatal a través del Real Decreto 1495/2011, de 24 de octubre, que introduce el derecho a la reutilización de cuanto documento tenga carácter público. Es este derecho a la reutilización que supone un salto cualitativo, es recogido posteriormente en el marco de la Unión en la Directiva 2013/37/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2013, por la que se modifica la Directiva 2003/98/CE. También se está desarrollando la **Norma Técnica de Interoperabilidad** (NTI) de Reutilización de la Información del Sector Público. Esta norma está desarrollada al amparo del Esquema Nacional de Interoperabilidad y establece condiciones comunes sobre selección, identificación, descripción, formato, condiciones de uso y puesta a disposición de los documentos y recursos de información elaborados o custodiados por el sector público, relativos a numerosos ámbitos de interés como la información social, económica, jurídica, turística, sobre empresas, educación, etc., cumpliendo plenamente con lo establecido en la citada Ley 37/2007, de 16 de noviembre.

TIPO DE DATOS		TIPO DE PRODUCTOR		
		Público	Privado/ONGs	Académico
Meteorológicos	• Temperatura, precipitaciones, humedad, viento, radiación solar	• AEMET		• Estudios y publicaciones científicas • Ciencia ciudadana
Cantidad de agua	• Innivación	• Organismos de cuenca		
	• Caudales y cantidad de agua embalsada	• Organismos de cuenca • CEDEX	• Hidroeléctricas • Piscifactorías	• Estudios y publicaciones científicas • Ciencia ciudadana
	• Niveles piezométricos y bombeos	• Organismos de cuenca • Comunidades de usuarios de aguas subterráneas • Municipios, diputaciones y operadores públicos del CUA*	• Sociedades privadas de pozos • Usuarios individuales • Operadores privados del CUA	• Estudios y publicaciones científicas
	• Usos y consumos de agua	• Organismos de cuenca • Comunidades de regantes • Municipios, diputaciones y operadores públicos del CUA	• Hidroeléctricas • Piscifactorías • Sociedades privadas de pozos • Usuarios individuales • Operadores privados del CUA	• Estudios y publicaciones científicas
Calidad de agua	• Parámetros físico-químicos	• Organismos de cuenca	• Piscifactorías	• Publicaciones científicas • Ciencia ciudadana
	• Control de calidad del agua de boca	• Municipios, diputaciones y operadores públicos del CUA	• Operadores privados del CUA	• Operadores privados del CUA
	• Control de calidad del agua de baño	• Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad • Comunidades Autónomas	• Organizaciones ambientales • Titulares de autorizaciones de vertido	• Publicaciones científicas
	• Vertidos y fuentes de contaminación puntuales	• Organismos de cuenca • Municipios		• Publicaciones científicas • Ciencia ciudadana
	• Fuentes de contaminación difusa	• Organismos de cuenca		• Publicaciones científicas
	• Usos de fertilizantes y fitosanitarios	• Comunidades Autónomas - Agricultura		• Ciencia ciudadana
Ecológicos	• Hidromorfología	• Organismos de cuenca	• Organizaciones ambientales	• Publicaciones científicas • Ciencia ciudadana
	• Estado ecológico	• Organismos de cuenca		
	• Espacios protegidos	• Organismos de cuenca • Comunidades Autónomas		
Socioeconómicos	• Población	• Instituto Nacional de Estadística		
	• Cortes de suministro	• Comunidades Autónomas • Municipios y operadores públicos del CUA	• Organizaciones sociales	
	• Coste económico de los servicios del agua	• Organismos de cuenca • Comunidades de regantes • Municipios y operadores públicos del CUA	• Hidroeléctricas • Regantes individuales • Operadores privados del CUA	• Publicaciones científicas
	• Productividad del agua	• Organismos de cuenca • Comunidades de regantes • Municipios y operadores públicos del CUA	• Hidroeléctricas • Operadores privados del CUA	
	• Coste energético de los servicios del agua	• Municipios y operadores públicos del CUA	• Operadores privados del CUA	

* CUA: Ciclo urbano del agua

Figura 2-8. Datos abiertos necesarios para la gestión del agua (De Stefano, 2018)

En los portales de **OpenData**, las APIs son el mecanismo que permite consultar la base de datos semántica de estos portales ya están disponibles en el portal nacional (<http://datos.gob.es/es>) y el portal regional de Murcia (<http://datosabiertos.regiondemurcia.es/>), estas API suelen proporcionar acceso al catálogo de datos y a sus URIs correspondientes con la taxonomía de sectores primarios y a la identificación de las coberturas geográficas definidas en los Anexos IV y V de la Norma Técnica de Interoperabilidad de Reutilización de recursos de la información. A nivel Europeo, la Comisión Europea ha desarrollado el perfil de documentación de recursos DCAT-AP, que es un formato de intercambio de metadatos basado en el estándar del **W3C DCAT**, que define un conjunto mínimo de elementos de metadatos para asegurar la interoperabilidad transfronteriza y federar de los portales de datos europeos. Una recopilación de los datos disponibles sobre la gestión del agua y la agricultura (De Stefano, 2018) en España puede verse en la Figura 2-9.

2.2. Las Infraestructuras de Datos Espaciales-IDEs

2.2.1. Objetivos

El termino Infraestructura de Datos Espaciales- **IDE/SDI** en inglés, fue acuñado por primera vez en 1993 por el U.S. National Research Council para referirse a un marco de tecnologías, políticas y disposiciones institucionales que, trabajando conjuntamente, facilitan la creación, el intercambio y el uso de los datos geoespaciales y de los recursos de información relacionados, a través de un sistema distribuido de información. Posteriormente, en el año 1994, el gobierno de EE.UU. crea la NSDI (National Spatial Data Infrastructure) y ese mismo año se funda el Open GIS Consortium, que posteriormente se denominó Open Geospatial Consortium (OGC), 13 años después la UE aprueba la **Directiva 2007/2/CE, Infrastructure for Spatial Information in Europe- (INSPIRE, 2007)** que se desarrolla en España mediante la Ley 14/2010, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España-LISIGE.

En la Directiva INSPIRE se establece que en una IDE debe de tener unos Datos de Referencia, Anexos I y II, que son: sistemas de coordenadas, cuadrículas

geográficas, nombres geográficos, unidades administrativas, redes de transporte, hidrografía, lugares protegidos, elevación, parcelas catastrales, cubierta terrestre y orto imágenes. Y otros datos temáticos, desarrollados en el Anexo III como son los valores cualitativos y cuantitativos que se corresponden con atributos asociados a los datos de referencia, como por ejemplo: cultivos, instalaciones agrícolas, tipo de vegetación, geología, clima, o la contaminación.

En el ámbito nacional, el Consejo Superior Geográfico (IDEE, 2013) define una IDE como un sistema informático integrado por un conjunto de recursos (catálogos, servidores, programas, datos, aplicaciones, páginas Web,...) dedicados a gestionar Información Geográfica (mapas, ortofotos, imágenes de satélite, topónimos,...), disponibles en Internet, que cumplen una serie de condiciones de interoperabilidad (normas, especificaciones, protocolos e interfaces) que permiten que un usuario, utilizando un simple navegador, pueda utilizarlos y combinarlos según sus necesidades .

Un caso interesante para el desarrollo de las IDE temáticas, son las zonas donde hay ambientes terrestres y marinos como es el caso del Campo de Cartagena y el mar Menor. La ausencia de un marco de información espacial sin continuo impide la ejecución de la práctica estándar de localizar y referenciar la información espacial a través de la interfaz tierra-mar, donde se ejerce tanta presión y desarrollo (Sheikheslami, 2010). Unos de los problemas para la implementación de una IDE sobre áreas marinas que es muy difícil conocer con bastante precisión la posición geográfica, la hidrografía y la topografía del fondo marino. Además, existen diferentes instituciones que producen mucha información sobre zonas marítimas pero la metodología de trabajo y los objetivos de los estudios son diferentes en cada uno de ellos y falta un proceso de estandarización para la recopilación, gestión y organización de la información, que tiene gran importancia en las zonas más sensibles como el Mar Menor y que puede tener consecuencias relevantes en el futuro de la laguna. Para conocer los problemas, se realizan los protocolo relativos a la Gestión Integrada de Zonas Costeras (**GIZC**) del Mediterráneo, firmado en enero de 2008, por las Partes del Convenio de Barcelona, dentro de este marco se ha realizado la “Estrategia de Gestión Integrada de Zonas Costeras del Sistema Socio-

Ecológico del Mar Menor y su entorno”, este instrumento se enmarca dentro de la **Ley 13/2015**, de 30 de marzo, de **ordenación territorial y urbanística** de la Región de Murcia. Por otra parte, el Programa Operativo Regional FEDER ha diseñado la Inversión Territorial Integrada –**ITI** del Mar Menor como instrumento para la implementación de la Estrategia de GIZC en el Mar Menor y su entorno, con participación de Fondos de los siguientes Programas: Programa Operativo Regional del **FEDER**, Programa de Desarrollo Rural y Programa Operativo Nacional del Fondo Europeo Marítimo de la Pesca (**FEMP**). Los desarrollos de esta tesis son de gran interés y aplicación a los objetivos de la ITI del Mar Menor.

2.2.2. El Marco Institucional

En los últimos años se ha producido un gran interés en el impulso y desarrollo de las Infraestructuras de Datos Espaciales por parte de las distintas instituciones y organizaciones (Budhathoki & Nedović-budić, 2007), tanto gubernamentales como académicas (Craglia & Annoni, 2007).

Nivel global: Global Spatial Data Infrastructure (GSDI), es una organización dedicada a la cooperación y colaboración internacional, en aras del desarrollo de Infraestructuras de Datos Espaciales, que permite a gobiernos, organizaciones públicas o privadas, y particulares, un mejor estudio de las cuestiones sociales, económicas y ambientales de mayor importancia (<http://www.gsdi.org/>). La World Wide Web Consortium (W3C) es una comunidad internacional que desarrolla estándares que aseguran el crecimiento de la Web a largo plazo.

Nivel europeo: Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE), una iniciativa de la Comisión Europea, que entró en vigor el 15 de Mayo de 2007, que tiene como objetivo la creación de una Infraestructura de Datos Espaciales en Europa (<http://inspire-geoportal.ec.europa.eu/>). La Directiva establece los objetivos, y los Estados miembros han tenido dos años desde su publicación para ajustar sus respectivas legislaciones y procedimientos administrativos nacionales

Nivel estatal: La Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE) tiene como objetivo el integrar a través de Internet los datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico que se producen en el territorio nacional, facilitando

a todos los usuarios potenciales la localización, identificación, selección y acceso a tales recursos, a través del Geoportal de la IDEE (<http://www.idee.es>), que integra los nodos y geoportales de recursos IDE de productores de información geográfica a nivel nacional, regional y local, y con todo tipo de datos y servicios de información geográfica disponibles en España

Nivel regional: La Infraestructura de Datos Espaciales de Murcia (IDERM) tiene como objetivo el integrar a través de Internet los datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico que se producen en la Región, facilitando a todos los usuarios potenciales la localización, identificación, selección y acceso a tales recursos, a través del Geoportal de la IDERM (<http://www.iderm.es>), que integra los nodos y geoportales de recursos IDE de productores de información geográfica a nivel regional y local

Nivel temático: La Infraestructura de Datos Espaciales sobre el uso del agua en la Región de Murcia (IDEarM) tiene como objetivo el integrar a través de Internet los datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico que sobre el uso del agua se producen sobre la Región, facilitando a todos los usuarios potenciales la localización, identificación, selección y acceso a tales recursos, a través de un geoportal (<http://idearm.imida.es>), que integre los nodos y geoportales de recursos IDE de productores de información geográfica sobre la agricultura y el uso del agua en este ámbito temático a nivel nacional, regional y local.

2.2.3. Estructura jerárquica

La estructura jerárquica de las IDE hace referencia al establecimiento de acuerdos entre los productores de información geográfica, especialmente entre las diferentes administraciones, para generar y mantener los datos espaciales fundamentales (Rajabifard, 2002).

Las administraciones públicas deben ser las encargadas de:

- Proveer los servicios de consulta, visualización y acceso: geoportales.
- Encargarse del registro de los proveedores de información para hacerlos públicos.
- Mantenimiento de los datos de referencia básicos.
- Estimular la generación de datos temáticos.

- Promocionar la accesibilidad a los datos espaciales.

Dada la flexibilidad que proporciona Internet, su uso permite una arquitectura organizativa muy distribuida y con un alto nivel de interoperabilidad entre IDEs para que la información se pueda reutilizar con facilidad. Para ello, se necesita una arquitectura jerárquica de servicios que posibilite crear IDEs temáticas que integren la información geográfica de un sector concreto de actividad o conocimiento, de forma que las IDEs contribuyan a desarrollar sistemas de ayuda a la decisión que puedan usarse en la planificación estratégica, la gestión y la definición de nuevos servicios sobre cualquier temática, como por ejemplo el agua.

La interoperabilidad entre IDEs debe ser tanto vertical como horizontal, como se presenta en la siguiente figura (Figura 2-10). Entre las múltiples definiciones de IDE que encontramos en la literatura y en los distintos marcos normativos aprobados para su regulación, no hallamos ningún componente o funcionalidad que indique sus capacidades para producir información. Algunos autores (Van Loenen, 2006) identifican a los SIG, como la base de la pirámide jerárquica de la infraestructura general que soporta el intercambio de información geográfica en los diferentes ámbitos.

Figura 2-9. Estructura jerárquica de las IDE (Adaptado de Rajabifard, 2002).

2.2.4. El Marco Legal

La estructura legal en materia de IDE en España se inició a partir en 2007 tras la aprobación de la Directiva INSPIRE y se realizó su trasposición al ordenamiento jurídico español a partir de la Ley 14/2010 de 5 de julio, sobre las infraestructuras y servicios de la información geográfica en España (LISIGE). A su vez, la LISIGE se apoya en dos leyes muy importantes que afectan a los servicios Web en general. Estas leyes son la Ley 37/2007 de 16 de noviembre, que trata la reutilización de la información del Sector Público y la Ley 11/2007 de 22 de junio, sobre el acceso electrónico de los ciudadanos a los Servicios Públicos.

La implantación de la directiva INSPIRE se establece mediante reglas de implementación (Implementing Rules), de obligado cumplimiento por los países miembros, y unas directrices técnicas (Technical Guidance) para su puesta en marcha (Figura 2-11)

Figura 2-10 Relación entre las reglas de implementación y las guías técnicas (INSPIRE, 2007)

Los reglamentos que desarrollan la Directiva INSPIRE son los siguientes y se implementan siguiendo el esquema de la (Figura 2-11):

- Reglamento nº 1205/2008 relativo a metadatos y servicios geográficos
- Reglamento nº 976/2009 relativo a servicios web de red.
- Reglamento nº 1088/2010 relativo a descargas y transformaciones.
- Reglamento nº 268/2010 relativo al acceso a los conjuntos y servicios de datos espaciales.
- Reglamento nº 1089/2010 relativo a la interoperabilidad de conjuntos y servicios de datos espaciales.

2.2.5. Las tecnologías disponibles

El modelo de referencia de las tecnologías de las IDE proceden del **Federal Geographic Data Committee-FGDC** (FGDC, 2008) este documento hace referencia a las normas y especificaciones necesarias para desarrollar la interoperabilidad entre servicios de datos geográficos accesibles por Internet.

La arquitectura de la IDEs suelen seguir un modelo de basado en 3 capas:

- Capa de datos.
- Capa de aplicaciones.
- Capa de presentación.

Esta arquitectura incluye la definición de las fuentes de datos que utilizan para los servicios, los servicios que formarán parte de la infraestructura (tanto los de

la propia IDE, como los que se pueden reutilizar de otras IDEs), así como las aplicaciones Web que forman parte del portal de la infraestructura. Una detallada sobre los fundamentos de las IDE puede encontrarse en los trabajos de la UPM que son referente nacional en esta ámbito (Bernabé-Poveda & López-Vázquez, 2012) y los del JRC (Wiemann & Bernard, 2015). A nivel de componentes la arquitectura utilizada es la de tres capas, donde se separa la capa de base de datos, lógica de aplicación y la presentación entre los entornos cliente-servidor (Figura 2-12) y que es ampliamente utilizada en este ámbito.

Figura 2-11. Arquitectura de tres capas de una IDE (Gallego, 2017)

Nivel de datos: La información vectorial gestionada por la IDE queda almacenada en el sistema gestor de base de datos. Para el almacenamiento de la información ráster u otros documentos vinculados a la información gráfica (fotos, PDF, etc.) se utiliza un servidor de ficheros localizado en la máquina servidora de aplicaciones. Los metadatos, por su parte, quedan almacenados en la base de datos para su administración desde el servidor de catálogo.

Por último, la información proporcionada por otros servidores de datos externos queda accesible de forma remota a través de servicios de mapas externos llamados desde el entorno cliente de la IDE.

Nivel de lógica de aplicación: Servicios de mapas: La publicación de los servicios de mapas en la IDE se realiza mediante una solución mixta compuesta por

los servidores de mapas que en estos momentos llevan a cabo una más eficaz implementación de los servicios de mapas OGC.

- Servicio de metadatos: Como servidor del catálogo se implementa la especificación CSW a través de un servidor de metadatos.
- Nomenclátor: En lo que se refiere al componente de conexión al Nomenclátor, éste está constituido por el conjunto de librerías Java necesarias para el intercambio de información entre el cliente web y el servicio de búsqueda de topónimos.
- Servidor de aplicaciones: Por último, todos los servidores mencionados se basan en un servidor de aplicaciones.

Nivel de presentación: Visualizador Web de la IDE: El Geoportal se configura como el punto común de acceso a todos los servicios ofrecidos y debe ser hacer fácil y rápida el acceso a la información espacial y para ello se diseña con el objetivo de facilitar el descubrimiento, la visualización y el uso de la información espacial. Los principales componentes tecnológicos utilizados en las IDE son:

- **Bases de datos espaciales:** Geodatabase, ArcSDE, Oracle Spatial, DB2 Spatial Extender, SQL Server, MySQL, PostGIS, SpatiaLite
- **Librerías:** FME, Gdal
- **Aplicaciones de publicación de servicios** (WMS, WMTS, CWS, WFS-G, WFS-T, WPS, SOS): ArcGiS Server, Mapserver, Geoserver, Geonetwork, Geowebcaché, 52°North Sensor Observation Service.
- **Aplicaciones para clientes ligeros:** ArcGIS Server, OpenLayers, Leaflet, GeoNetwork.
- **Clientes pesados:** ArcGiS, QGIS, gvSIG, uDig, CatMDEdit.
- **Intercambio de Datos espaciales:** GML, GeoPackage

Entre las especificaciones del **OGC** y las **ISO TC211**, podemos destacar por su utilidad para un geoportal como IDEarM las siguientes:

- Web Map Service -**WMS**
- Web Coverage Service- **WCS**
- Web Feature Service -**WFS**

- Web Catalog Service –**CSW**
- Web Processing Service–**WPS**
- Web Map Tile Service -**WMTS**
- Geographic Markup Language- **GML**
- Sensor Observation Service-**SOS**

El desarrollo de servicios **SOS** tiene una especial importancia para la publicación mediante estándares los datos meteorológicos observados por la red del IMIDA compuesta por 48 estaciones automáticas. Con estos servicios se publican las observaciones cuyo valor es una estimación de una propiedad del objetivo de observación (Figura 2-13). Una instancia de una observación (Figura 2-14) se clasifica por su **phenomenonTime**, **featureOfInterest**, **observedProperty** y el procedimiento utilizado para su medición. El objeto “**procedure**” apunta a un procedimiento (sensor) que produce el valor de la observación (OGC, 2012), el elemento “**observedProperty**” hace referencia al fenómeno observado (viento), la entidad “**featureOfInterest**” se refiere al objeto del mundo real al que pertenece la observación (Estación meteorológica), el atributo “**samplingTime**” indica el momento en que se efectuó la observación (2018-08-19 19:00:00:00+02), el valor de la observación está contenido en el elemento “**result**” (ej.: 1 m/s). El dato a publicar generalmente es un sensor, pero también puede ser un dato procedente de post-procesamiento como la evapotranspiración.

Figura 2-12. Esquema de observación para servicio SOS adaptado (OGC, 2007)

Una descripción completa se puede encontrar en las Guía de transformación de Conjuntos de Datos Espaciales de Condiciones Atmosféricas y Aspectos Geográficos de Carácter Meteorológico al marco INSPIRE que está elaborando el Grupo Técnico de Trabajo de Condiciones Atmosféricas y Aspectos Geográficos de Carácter Meteorológico (GTT 13-14) coordinado por AEMET.

Figura 2-13. Modelo de datos OGC para un servicio SOS (OGC, 2007)

2.2.6. Los metadatos

Según el Artículo 9 de la LISIGE. Las Administraciones Públicas asegurarán la creación de metadatos para los datos geográficos y servicios de información geográfica enumerados en los Anexos I, II y III de la misma.

Los metadatos incluirán información sobre los siguientes aspectos:

La conformidad de los conjuntos de datos o servicios geográficos con las normas de ejecución a que se refiere el Artículo 6 apartado 1.

Las condiciones que rigen el acceso a los datos geográficos y servicios de información geográfica y su utilización y, en su caso, las tasas y precios públicos correspondientes. Así como la calidad y validez de los datos o servicios geográficos.

Las Administraciones u organismos del sector público, entidades que actúen en nombre de éstos, u otras personas físicas o jurídicas, responsables del establecimiento, gestión, mantenimiento y distribución de los datos geográficos y servicios de información geográfica.

Las limitaciones del acceso público y las razones de dicha limitación, con arreglo a lo dispuesto en el Artículo 13 de la LISIGE.

Breve resumen descriptivo del contenido de los conjuntos de datos o servicios geográficos. El uso específico para el que se han creado esos datos o servicios geográficos. La información sobre el sistema de referencia y la localización del ámbito geográfico en el que está ubicado el conjunto de datos geográficos. Los aspectos temáticos principales a los que se refieren los datos geográficos. Los extremos adicionales a éstos definidos por la versión vigente de la Recomendación aprobada por el Consejo Superior Geográfico de contenido mínimo de los metadatos de los datos geográficos.

Los metadatos informan a los usuarios sobre la disponibilidad de datos y de sus características, de modo que sean capaces de entender “lo que representan” y “cómo lo representan” para que puedan seleccionar qué datos les interesan y sean capaces de explotarlos de la manera más eficaz posible.

Para ello la información incluida en los metadatos describe: la fecha de los datos, el contenido, la extensión que cubren, el sistema de referencia espacial, el modelo de representación espacial de los datos, su distribución, restricciones de seguridad y legales, frecuencia de actualización, calidad, etc.

Los objetivos de los metadatos son:

La búsqueda de conjuntos de datos: saber qué datos existen, qué datos hay disponibles de una cierta zona, de un tema determinado, a una escala, de una fecha o en general de unas características específicas que el usuario demanda. Para ello los metadatos almacenan información sobre el conjunto de datos: el qué es dicho

conjunto, el por qué se ha elaborado, el cuándo, el quién lo ha producido y el cómo, etcétera.

La **elección**: es decir, poder comparar distintos conjuntos de datos entre sí, de modo que se pueda seleccionar cuáles cumplen los requisitos del usuario de manera más adecuada para el propósito perseguido.

La **utilización**: que consiste en describir las todas características técnicas de los datos, de la manera más objetiva, más amplia y completa, con la finalidad de permitir su explotación eficaz. Sirve de ayuda a los usuarios de los datos tanto en la obtención de resultados como en su mantenimiento y actualización

Por todo lo anterior, a los metadatos se los suele definir coloquialmente como “**datos acerca de los datos**”. Y como elementos fundamentales sobre la información que son, se integran con ella de una de las siguientes maneras:

- Incrustando los metadatos dentro del propio documento, embebidos y codificados en la cabecera del documento.
- Asociando los metadatos por medio de archivos acoplados a los recursos a los que describen.
- Metadatos independientes, en un fichero separado, generalmente una base de datos mantenida por una organización.

A su vez y, como no podía ser de otra forma, la estructura y el contenido de los metadatos deben estar basados en una norma aceptada y ampliamente utilizada. Uno de los beneficios de las normas es que son fruto de la experiencia y del consenso, ya que han sido desarrolladas y revisadas por un grupo internacional de expertos que han aportado una considerable diversidad cultural y social. En particular, las normas ISO19100 relativas a Información Geográfica proporcionan una base desde la que pueden desarrollarse perfiles, o particularizaciones de la norma, nacionales y sectoriales.

La norma **ISO 19115:2003** Información Geográfica-Metadatos, permite la representación espacial y recoge todas las necesidades de los fabricantes de SIG. Otro organismo de gran desarrollo en este ámbito es el FGDC de EEUU que aprobó sus estándares de metadatos en 1994 y que actualmente van convergiendo con la ISO 19115. Un modelo más simple es el propuesto por Dublin Core que se

recoge en la ISO 15836:2003. Posteriormente se ha desarrollado el denominado **Núcleo Español de Metadatos-NEM**, que está formado por el núcleo de la ISO19115 y algunos elementos del estándar del Dublin Core.

2.2.7. Los catálogos de datos geoespaciales

El Servicio de Catálogo forma parte de uno de los tres servicios fundamentales que debe existir en una IDE. Un **Servicio de Catálogo (CSW)**, permite la publicación y búsqueda de información (metadatos) que describe datos, servicios, aplicaciones y en general todo tipo de recursos (Figura 2-15) Los servicios de catálogo son necesarios para proporcionar capacidades de búsqueda e invocación sobre los recursos registrados dentro de una IDE.

Este servicio permite la búsqueda de conjuntos de datos geográficos que hay disponibles a una escala determinada, de una zona particular, sobre un tema específico, y en una fecha o intervalo de fechas. El resultado de la búsqueda se puede ofrecer en distintos formatos, por ejemplo el proyecto IDEE en su servicio de Catálogo permite las siguientes configuraciones:

Visualizar o descargar un documento de metadatos, que describe las características principales del recurso encontrado según la ISO 19115.

Visualizar las características de las unidades que componen una serie cartográfica encontrada en una búsqueda.

Figura 2-14. Pantalla inicial del catálogo de metadatos del proyecto Telerieg.

El servidor de catálogos, ante una pregunta por parte de un usuario a través de un interfaz, remite una interrogación mediante un mensaje XML al resto de los servidores de catálogos disponibles, los cuales contestan mediante mensajes XML que pueden presentarse al usuario. Los servidores de catálogo pueden corresponder a fabricantes diferentes pero si cumplen la especificación OGC podrán entender la pregunta que se les hace y responderla adecuadamente.

En el caso de portales Opendata como el dato.gob.es, agregan los metadatos que cumplen el esquema de la Norma Nacional de Interoperabilidad (NTI). Esta norma es un perfil del vocabulario DCAT de W3C que impone una serie de restricciones de cardinalidad y multiplicidad a una selección de elementos. Así mismo, da indicaciones sobre los tipos de datos a usar (datatype) y provee un conjunto de listas de códigos de valores que deben ser utilizados para garantizar la interoperabilidad. Por ejemplo para definir la temática o el área geográfica del recurso deben usarse las URI establecidas en la NTI. Para que las Administraciones Públicas puedan incluir sus recursos en el portal nacional, <http://datos.gob.es/>, se pueden crear o transformar los metadatos de origen con el método que se quiera siguiendo de ejemplo la plantilla XML/RDF proporcionada a los organismos, para después importarlos al repositorio nacional.

2.2.8. La visualización de los datos geoespaciales

El **Servicio web de mapas-WMS**, definido en OGC, produce mapas de forma dinámica a partir de información geográfica. La especificación internacional WMS del OGC define un "mapa" como una representación de la información geográfica en forma de archivo de imagen digital, adaptado para la visualización en una pantalla de ordenador. Un mapa no consiste en los propios datos, sino en una imagen de los mismos. Los servicios web de mapas permiten visualizar información geográfica georreferenciada a través de Internet, esta información se presenta en forma de capas de información, para generar un determinado mapa determinado las capas se superponer según un orden y un valor de transparencia preestablecido.

El servicio WMS, permite superponer visualmente datos vectoriales y ráster, en diferente formato, con distinto sistema de referencia y coordenadas y en distintos servidores (Figura 2-16).

Actualmente ya se están desarrollando muchas iniciativas y herramientas para la integración de variables meteorológicas en servidores webGIS a nivel global como la propuesta por la NASA para los modelos de viento (Arcidiacono, 2013). A nivel nacional AEMET también está desarrollando servicios OGC para la incorporación de los productos resultantes de los modelos numéricos de predicciones basados en el nuevo modelo, HARMONIE-AROME que tiene una resolución horizontal de 2,5 km. Este modelo, pertenece a una nueva generación de modelos no hidrostáticos que resuelven explícitamente la convección profunda y suponen una mejora significativa en las predicciones locales, especialmente, en precipitaciones, viento, granizo, temperaturas y nieblas (AEMET, 2018).

Figura 2-15. Visor del proyecto Telerieg (<http://iderm.imida.es/telerieg/>)

Ha sido adoptado por ISO, para facilitar el intercambio de información geográfica a través de Internet. El Servicio de Mapas en Web forma parte de uno de los tres servicios fundamentales que debe existir en una Infraestructura de Datos Espaciales. Este estándar permite compartir información geográfica alojada en servidores remotos, para que pueda ser utilizada desde visualizadores web o desde aplicaciones de escritorio. Su objetivo es poder visualizar Información Geográfica. Proporciona una representación, una imagen del mundo real para un área requerida. Esta representación puede provenir de un fichero de datos de un SIG, un mapa digital, una ortofoto, una imagen de satélite.

Está organizada en una o más capas, que pueden visualizarse u ocultarse una a una o de manera dinámica en función de la escala. Se puede consultar cierta información disponible y las características de la imagen del mapa. También se pueden establecer distintos tipos de mapas temáticos por capa, en función de categorías asociadas a campos de atributos.

El servicio **WMS** puede invocarse a través de un navegador web (cliente) que envía una petición en forma de **URL** - Uniform Resource Locator. Esta petición es recibida y procesada por el servidor WMS que, como respuesta, devuelve al cliente una imagen en calidad de pantalla, en formato imagen tal como JPEG, GIF, PNG, etc. (Figura 2-17)

Es fundamental que las capas de información geográficas se encuentren georreferenciadas, para poder superponer así capas de distintas fuentes, pero no necesariamente deben estar en el mismo Sistema de Referencia Espacial. Los WMS tienen la capacidad de re proyectar “al vuelo” la información geográfica. Esto quiere decir que los datos permanecen en su sistema de referencia original, y es el propio servidor el que genera la imagen de salida en otro sistema de referencia, para que las capas se superpongan correctamente.

Para consultar otros Sistemas de Referencia se puede descargar gratuitamente la base de datos del European Petroleum Survey Group (**EPSG**) definida en la página <http://www.epsg.org>. La especificación **WMS** del OGC define tres operaciones, de las cuales las dos primeras son obligatorias:

- **GetCapabilities:** Devuelve los metadatos del servicio, es decir una descripción del contenido de la información del WMS y de los parámetros de petición admisibles.
- **GetMap:** Devuelve una imagen del mapa con parámetros geoespaciales y dimensionales se han definido en la solicitud.
- **GetFeatureInfo:** Devuelve información sobre entidades particulares mostradas en el mapa.

Las operaciones WMS se invocan utilizando un navegador estándar (ej.: Explorer o Firefox) o mediante aplicaciones de escritorio y realizando peticiones en la forma de **URL** (Uniform Resource Locators).

Figura 2-16. Integración de servicios WMS y REST en un visor del Campo de Cartagena

2.2.9. El acceso y la distribución de datos geoespaciales

Para la distribución de datos espaciales puede utilizarse la especificación WFS ofrece la posibilidad de acceder y consultar todos los atributos de un fenómeno (feature) geográfico como un río, una ciudad o un lago, representado en modo vectorial, con una geometría descrita por un conjunto de coordenadas.

Habitualmente los datos proporcionados están en formato GML. Un WFS permite no solo visualizar la información tal y como permite un WMS, sino también consultarla libremente. La especificación de OGC establece cómo debe ser un WFS estándar e interoperable.

Los requerimientos para un Servicio de Fenómenos Web son: Los interfaces deben definirse en XML, se debe usar GML para servir la información sobre fenómenos y de ofrecer fenómenos utilizando GML.

2.2.10. Los SIG en la nube / GIS Cloud / Digital Earth

El concepto “SIG en la nube / GIS Cloud / Digital Earth” hace referencia a la utilización de servicios y aplicaciones GIS en Internet donde el usuario puede acceder mediante un navegador web sin necesidad de instalar ningún tipo de software en su ordenador. De este modo podemos utilizar una serie de aplicaciones SIG para publicar nuestros mapas y datos en la web. En los últimos años, las

aplicaciones SIG en la nube se han consolidado y han mejorado de manera destacada sus funcionalidades de análisis, edición y visualización de dato. La mayoría de estos servicios permiten almacenar, analizar, publicar y visualizar datos geográficos en la nube, lo que está convirtiendo a estas aplicaciones en un complemento ideal y en una alternativa a los SIG de escritorio (Figura 2-14).

La arquitectura de la nube está basada en tres pilares principales según el tipo de servicio que se ofrezca (Yang *et al.*, 2013):

- **IaaS:** Servicio de Infraestructuras (Infrastructure as a Service). Se ofrece almacenaje básico y capacidades de computación como servicios estandarizados en la red.

- **PaaS:** Servicio de Plataformas (Platform as a Service), en la cual se ofrece al usuario una plataforma de desarrollo y las herramientas necesarias para que los usuarios puedan desarrollar y gestionar sus propias aplicaciones, pero sin llegar a controlar la infraestructura sobre la que está montada.

- **SaaS:** Servicio de Software (Software as a Service), en la que se oferta el acceso a aplicaciones completas o con funcionalidades personalizadas para el cliente y a las cuales accede mediante su conexión a la red, eliminando la necesidad de tener que instalar la aplicación en su escritorio y servir en varios puestos de trabajo, evitando asumir los costos de soporte y mantenimiento del hardware y del software. El entorno de la arquitectura de los **servicios SIG en la nube** son ligeramente distintos, resultado de las distintas necesidades y tipos de información manejados en el mundo SIG, compatibilizando los propios de la nube con otros tres modelos de servicio (Kumar *et al.*, 2010):

- **GaaS:** Servicio de SIG (GIS as a Service). Es una extensión del SaaS, según la cual se ofrecen soluciones SIG como servicio.

- **AaaS:** Servicio de Aplicaciones (Application as a Service)

- **IaaS:** Servicio de Imágenes (Imagery as a Service)

Algunas de las plataformas disponibles son: ArcGIS Online, CartoDB, GISCloud (Figura 2-18), MapBox, Google My Maps, InstaMaps o QGIS Cloud.

Figura 2-17. Arquitectura de una plataforma SIG en la nube (GIScloud, 2018)

De estas plataformas estudiadas, la elegida para complementar la nube privada (Figura 2-19) desarrollada para IDEarM fue ArcGIS Online, ya que permite una alta integración con la nube privada (<https://idearm.imida.es/portal/home/>).

ArcGIS Online: Es una plataforma de ESRI basada en la nube, utilizada para crear y compartir mapas, aplicaciones, contenido y datos geográficos. A través de su interfaz puedes acceder a la galería de mapas base y a una gran variedad de herramientas y funcionalidades que permiten trabajar, editar o analizar tu propia información para crear mapas web. ArcGIS Online dispone de herramientas de análisis que permiten enriquecer la calidad de información del mapa, geocodificar y localizar cualquier lugar o realizar complejos análisis espaciales.

Ofrece una plataforma geoespacial donde los desarrolladores pueden crear aplicaciones personalizadas usando las API y SDK de ArcGIS para crear aplicaciones móviles y web. ArcGIS API for JavaScript, ArcGIS Runtime SDK for Android, ArcGIS Runtime SDK for Java.

Figura 2-18. Nube privada desarrollada en IMIDA para IDEarM

2.3. Estado del arte

2.3.1. Aplicaciones de las IDE temáticas en agricultura y agua

Las Infraestructuras de Datos Espaciales temáticas, como la propuesta sobre la agricultura y el uso del agua en la Región de Murcia (IDEarM) tienen como objetivo principal el integrar a través de Internet los datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico que sobre esta temática se producen en el ámbito Regional, facilitando a todos los usuarios la localización, identificación, selección y acceso a tales recursos, a través de un geoportal (<http://www.idearm.es>), que además, integrara los recursos interoperables de productores de información geográfica a nivel UE, nacional, regional y local. Las primeras organizaciones que han desarrollados IDEs han sido generalmente las relacionadas con la gestión catastral (Velasco & Salzmann, 2009), la gestión del agua (Jorrín *et al.*, 2010), el medio ambiente (Davis *et al.*, 2011) o la agricultura (Imran *et al.*, 2011).

Unos de los objetivos específicos de esta trabajo es el de elaborar un inventario de recursos de la información geográfica temática, disponible en el ámbito regional que se actualice utilizando los estándares de interoperabilidad

propuestos por la OGC, y que sirva de base para implementar la directiva INSPIRE en este ámbito temático.

En la Directiva INSPIRE se establece que en una IDE debe de tener unos Datos de Referencia, Anexos I y II, que son: sistemas de coordenadas, cuadrículas geográficas, nombres geográficos, unidades administrativas, redes de transporte, hidrografía, lugares protegidos, elevación, parcelas catastrales, cubierta terrestre y orto imágenes. Y otros datos temáticos, desarrollados en el Anexo III como son los valores cualitativos y cuantitativos que se corresponden con atributos asociados a los datos de referencia, como por ejemplo: cultivos, instalaciones agrícolas, tipo de vegetación, geología, clima, o la contaminación derivada de nitratos.

Tabla 2-3 Datos de referencia y temáticos – Listado completo en anexo IV (INSPIRE, 2007)

Datos de referencia	Datos temáticos
Sistema Geodésico de Referencia	Ocupación del suelo y datos meteorológicos
Nombres Geográficos	Distribución de la población
Unidades Estadísticas y Administrativas	Planificación territorial
Ortofotos	Distribución de especies
Parcelas Catastrales	Vigilancia medioambiental
Redes de Transporte	Hábitats y biotopos
Modelos de Elevación	Regiones biogeográficas
Hidrografía	Instalaciones agrícolas y de acuicultura
Sistemas de Referenciación Cartográfica	Suelo y geología
Lugares protegidos	Áreas restringidas o reguladas ambientalmente
Cuencas Hidrográficas	Instalaciones industriales
Edificaciones	Redes de comunicación y energía
Direcciones y Áreas Postales	Condiciones atmosféricas
	Características espaciales oceánicas
	Regiones marinas

2.3.2. Las implicaciones del cambio climático en la agricultura

El clima está cambiando como consecuencia de las actividades humanas (IPCC, 2014), principalmente por las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la utilización de combustibles fósiles y a la deforestación. En este apartado se incluye información tanto numérica como gráfica relativa a las

proyecciones de cambio climático para el siglo XXI regionalizadas sobre España y correspondientes a diferentes escenarios de emisión de utilidad para ser empleada, en el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), en trabajos de evaluación de impactos y vulnerabilidad.

Figura 2-19. Previsión de los impactos del cambio climático en España (CEDEX)

El conocimiento detallado de las condiciones climáticas actuales y la estimación de las proyecciones climáticas en nuestro país son elementos imprescindibles para llevar a cabo las evaluaciones de impactos y vulnerabilidad en los distintos sectores sensibles al cambio climático contemplados en el PNACC.

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2018) es la institución responsable de la coordinación y el desarrollo de este componente del PNACC. Para ello, trabaja en estrecha coordinación con los grupos de investigación españoles más activos en este campo y con la Oficina Española de Cambio Climático (OECC). El programa Escenarios-PNACC se pone a libre disposición a través de la Web de la AEMET y se basa en los trabajos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático-IPCC, es una entidad científica creada en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), a través de su Quinto Informe de Evaluación-

AR5, En este informe se han definido cuatro nuevos escenarios de emisión, las denominadas Sendas Representativas de Concentración- RCP, generados a partir de los datos del proyecto **CORDEX** (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment), el cual nació con la intención de avanzar en la bajada de escala de los modelos climáticos regionales a través de colaboraciones de numerosos países del mundo. Éstas se identifican por un forzamiento radiativo-**RCP** para el año 2100 que varía desde 2,6 a 8,5 W/m². De acuerdo con el IPCC, el Cambio Climático se evalúa a partir de cuatro escenarios **RCP (2.6, 4.5, 6.0 y 8.5)**, donde el comportamiento de la temperatura y la precipitación, depende del forzamiento radiativo impuesto por la concentración esperada de gases efecto invernadero-GEI en las diferentes épocas de evaluación, en todos ellos se prevé una reducción de los recursos hídricos (Figura 2-20) en la Cuenca de Segura (Olmos, 2015) y un aumento significativo de las temperaturas.

Figura 2-20. Tendencias de precipitación media anual en Murcia (%)

Figura 2-21. Tendencias del incremento de la temperatura máxima anual en Murcia (°C)

2.3.3. Área de estudio del Campo de Cartagena

El Campo de Cartagena que ocupa una extensión de 1.609 km², se caracteriza por su amplia llanura con pequeña inclinación hacia el Sudeste, rodeada en gran parte de su contorno por elevaciones montañosas. Por el Norte, se separa de la depresión formada por las vegas del Segura-Guadalentín, mediante una alineación montañosa cuya altura máxima se encuentra en la sierra de Carrascoy (1.065 m). En su parte meridional limita con un conjunto orográfico, de dirección E-O, que lo separa del Mediterráneo (Lillo, 1978). En superficie, este conjunto litoral parte del Cabo de Palos y va ganando altitud hacia las sierras del Llano del Beal, la Unión y Cartagena, en las que se asientan numerosas explotaciones mineras, actualmente inactivas.

En el Campo de Cartagena no existen cursos permanentes de agua, y al igual que en otras llanuras áridas del Sudeste, son numerosas las ramblas de cauces anchos y de poca pendiente, que le confieren una morfología peculiar y característica. La escorrentía superficial se drena en las sierras a través de numerosas ramblas de recorridos generalmente cortos y sinuosos, incorporándose progresivamente en la llanura a un sistema más jerarquizado que vierte al Mar Menor. El cauce principal del Campo de Cartagena es la rambla de Fuente Álamo o El Albuñón que tiene un gran impacto en la generación de escorrentías y sedimentos que van a parar al Mar Menor en episodios de lluvias torrenciales como el ocurridos

el 16–17 de octubre de 2003 (García-Pintado *et al.*, 2010) en el que se midieron intensidades de más de 62 mm/h. O los 50 mm/h en el episodio ocurrido entre el 15-19 de diciembre de 2016 (Espín *et al.*, 2017)

El Campo de Cartagena constituye una de las depresiones interiores pos tectónicas de las Cordilleras Béticas, en la que se conserva un potente relleno neógeno de más de 1.000 m de espesor, predominantemente margosa, con intercalaciones de conglomerados en el Tortonense, calcarenitas en el Andalucense y arenisca en el Plioceno. Los materiales más modernos corresponden al Cuaternario, con limos, gravas y arcillas (Jiménez-Martínez *et al.*, 2012). En la cuenca baja o llano aluvial, constituido por materiales detríticos cuaternarios no consolidados, se localizan regadíos modernos y una franja litoral con crecientes usos turísticos, áreas urbanas e industriales y las principales vías de comunicación. Los cultivos en regadío intensivo ocupan la cuenca vertiente del Mar Menor y producen la entrada de nutrientes y sedimentos en el (Velasco *et al.*, 2006) y que proporciona también una gran aportación a los acuíferos superficiales Campo de Cartagena y finalmente al Mar Menor (Contreras *et al.*, 2017) (Domingo-Pinillos *et al.*, 2018). Las zonas forestales más importantes se encuentran en el norte del Campo de Cartagena (Correal *et al.*, 2009). Un parcelario de reducidas dimensiones confiere al paisaje un carácter peculiar, diversificado y cambiante según la demanda del mercado, con cultivos de gran variación estacional, que llegan a tres rotaciones anuales. En las últimas décadas, la superficie de cultivos hortícolas se ha reducido por el avance de los cítricos, mucho más flexibles a los condicionamientos de la agricultura a tiempo parcial, aunque más susceptibles a los daños por el aumento del nivel freáticos en algunas zonas próximas al Mar Menor o de alta salinidad del agua de riego. El papel de las aguas subterráneas en esta zona es muy importante sobre todo en periodos de sequía o de escasez de agua como el actual donde las aportaciones ATS son mínimas (Hunink *et al.*, 2015). Una visión general de balance hídrico medio estimado para el periodo 2000-2010 en base a los datos del plan de cuenca cuantifican que la descarga al Mar Menos puede llegar a 69 hm³/año (Jiménez-Martínez *et al.*, 2016) como puede verse en la (Figura 2-23).

Figura 2-22. Esquema del balance hídrico (2000-2010) (Jiménez-Martínez *et al.*, 2016)

En la misma franja costera, cerrada por un cordón litoral, aún se mantiene una reducida y amenazada área de marjal, hoy en vías de desecación, por el asentamiento de urbanizaciones y espacios turísticos (Martínez *et al.*, 2007). Al mismo tiempo, el crecimiento industrial y económico ha implicado la construcción de polígonos industriales, puertos deportivos, y viviendas de primera y segunda residencia cercanas al mar. La dinámica acelerada del proceso de urbanización también se refleja en los núcleos urbanos, articulados por las carreteras N-332 y la autopista AP-7. Demográficamente, es una zona de crecimiento continuo desde los años 80, en gran parte gracias al proceso de inmigración hacia los sectores agrícola e industrial. El crecimiento de la industria se refleja en los nuevos asentamientos industriales de las últimas décadas, que se van expandiendo fuera del perímetro urbano de Cartagena. Estas industrias están dedicadas a sectores productivos como los plásticos, centrales térmicas, además del sector agroalimentario.

El clima del Campo de Cartagena está condicionado por su situación cerca del Mar Mediterráneo y al Sudeste de la península, estando además muy influenciado por su proximidad al norte de África. En la caracterización del clima de la comarca influyen principalmente tres factores: en primer lugar, la proximidad a la costa e influencia marítima; en segundo lugar, la orografía; y, por último, la exposición a la acción de los vientos dominantes; sobre la base del influjo de dichos factores. La comarca del Campo de Cartagena está clasificada como de tipo Mediterráneo. La temperatura atmosférica media anual está comprendida entre 17 °C y 19 °C (Tabla

5). El invierno es templado, con temperaturas entre 10°C y 13°C de media, que en verano llegan a superar los 25 °C (Erena, 1998).

Tabla 2-4. Valores medios de las variables climáticas en el Campo de Cartagena

Variables Climáticas	Valores medios
Temperatura media anual	17 – 19 °C
ETo media anual	1.100 – 1.400 mm
Precipitación media anual	250 – 350 mm

Las precipitaciones son escasas y se presentan fundamentalmente en los meses de septiembre y octubre, en la mayor parte de las ocasiones con carácter torrencial. Las lluvias son prácticamente inexistentes durante los meses de julio y agosto, coincidiendo con la época de máxima evaporación. La zona supera las 3.000 h de sol anuales por término medio. Las precipitaciones medias de la zona (1940-1999) se han comparado con las del periodo 2010-2017, que presenta unas características muy interesantes desde el punto de vista pluviométrico, ya que se alternan épocas de precipitaciones torrenciales en 2016 con periodos de sequía intenso como el de 2017. La media del periodo 2010-2017 es elevada por las lluvias del 15-19 de diciembre de 2016 que en algunas estaciones como la TP42 supusieron más de 290 l/m² en cinco días y una intensidad de lluvia superior a los 50 mm/h. Para la elaboración de las medias a partir del año 2000 se han utilizado las 9 estaciones del SIAM que hay dentro del área del Campo de Cartagena. Las medias de los periodos 1940-1999 /1990-1999 proceden de la red de AEMET en el Campo de Cartagena.

Tabla 2-5. Valores medios de las precipitaciones en el Campo de Cartagena

Mes	PRECIPITACIÓN (mm)					
	1940-1999	1990-1999	2000-2009	2010-2017*	1995	2017
ENERO	32	58	12	28	0	52
FEBRERO	24	38	37	21	16	1
MARZO	25	23	24	36	20	33
ABRIL	31	15	31	3	3	4
MAYO	28	24	19	45	0	2
JUNIO	14	9	38	43	11	0
JULIO	3	0	36	9	1	8
AGOSTO	7	2	17	10	4	29
SEPTIEMBRE	28	35	1	31	14	1
OCTUBRE	51	32	2	37	10	8
NOVIEMBRE	34	20	11	18	2	9
DICIEMBRE	33	26	5	25	19	10
TOTAL	310	282	233	306	100	157

*Media incrementada por las lluvias torrenciales del 15-19 de diciembre de 2016.

La zona regable se extiende por los términos municipales de Cartagena, Fuente Álamo, Los Alcázares, Murcia, San Javier, San Pedro del Pinatar y Torre Pacheco, y

Tabla 2-6. Superficie municipal dentro del Campo de Cartagena

NOMBRE	INE	Superficie (ha)	Superficie en el CC (ha)	% Superficie en el CC.	% superficie sobre total
ALCAZARES (LOS)	30902	1.976	1.982	100	1,23
ALHAMA DE MURCIA	30008	31.155	3.178	10	1,97
CARTAGENA	30016	55.828	55.819	100	34,68
FUENTE ALAMO DE MURCIA	30021	27.352	26.940	98	16,74
MAZARRON	30026	31.887	2.476	8	1,54
MURCIA	30030	88.596	35.858	40	22,28
SAN JAVIER	30035	7.508	7.511	100	4,67
SAN PEDRO DEL PINATAR	30036	2.232	2.233	100	1,39
TORRE-PACHECO	30037	18.940	18.940	100	11,77
UNION (LA)	30041	2.479	2.480	100	1,54
EL PILAR DE LA HORADADA	3902	7.686	3.540	46	2,20
SUPERFICIE Total (ha)			160.955		100,00

Como base para la delimitación aproximada de la zona de estudio se utilizó la delimitación de la zona hidráulica número XI de la CHS, ajustado mediante un MDE obtenido por el IGN en 2009 que tiene 5 m de resolución (Figura 2-24). La herramienta utilizada para el proceso de delimitación es la extensión ArcHydro del SIG ArcGiS. Como información complementaria se ha determinado la parte del Campo de Cartagena que vertiente al Mar Menor (Erena *et al.*, 2013).

Figura 2-23. Altimetría y delimitación del Campo de Cartagena

Según la clasificación americana del Soil Survey Staff del United States Department of Agriculture (USDA, 1999), en los suelos del Campo de Cartagena

pueden encontrarse los siguientes ordenes: Entisoles, Mollisoles y Aridisoles. Según la clasificación de la FAO en los suelos del Campo de Cartagena pueden encontrarse las formaciones dominantes siguientes: Litosoles, Regosoles y Xerosoles (Figura 8-14).

El uso principal del campo de Cartagena es el regadío, con una agricultura muy especializada que ha cobrado gran auge en los últimos años con la llegada del trasvase. La zona regable se extiende por los términos municipales de Cartagena, Fuente Álamo, Los Alcázares, Murcia, San Javier, San Pedro del Pinatar y Torre Pacheco en la provincia de Murcia, y el Pilar de la Horadada en la provincia de Alicante. En los regadíos del trasvase Tajo-segura (Figura 2-25), muchos agricultores empezaron con el cultivo de hortalizas, porque sus resultados económicos y amortización de inversiones requieren un periodo más corto que en el caso de cultivos leñosos. En la actualidad hay una tenencia en el sector agrícola a diversificar el riesgo, dedicando parte de la superficie de sus fincas a nuevas plantaciones de cítricos en la Comunidad de Regantes de Cartagena-CRCC).

Figura 2-24. Concesión de agua de la CRCC (CRCC, 2018).

El uso principal del Campo de Cartagena es el regadío, con una agricultura muy especializada y tecnificada y un nivel de dependencia de las ayudas de la PAC inferior al 2% de la renta agraria de los agricultores. De las 25.000 ha de cultivos hortícolas destacan, por su extensión, la lechuga, el brócoli, la alcachofa y el melón. En el caso de lechuga y brócoli, se hacen de dos a tres cultivos anuales. En el caso de lechuga y brócoli, se hacen de dos a tres cultivos anuales. En invernadero, el cultivo predominante es el pimiento, que supera las 3.000 ha de invernaderos de alta tecnología (cultivos hidropónicos, ventilación forzada, etc.). La problemática

ambiental de la agricultura de la zona y sus posibles soluciones están siendo evaluadas con el proyecto “Análisis de soluciones para el objetivo del vertido cero al Mar Menor proveniente del Campo de Cartagena” (BOE, 2018) y el estudio de diferentes alternativas (Martínez-Álvarez *et al.*, 2018).

La fase de recopilación y producción de la cartografía básica necesaria para inventariar la capa de cítricos en a IDEarM se ha basado en los trabajos previos del IMIDA para la elaboración de la cartografía 1:5000 del proyecto SIGEAM (Erena, 2007) y los trabajos integración realizados a escala 1:25.000 para la cartografía del sistema de información de Ocupación del Suelo-SIOSE (2005, 2009, 2011 y 2014) en la Región de Murcia, así como los datos históricos de Catastro, las datos históricos de las encuestas ESYRCE (Figura 8-20) del MAPAMA, las parcelas aseguradas de Agroseguro o las parcelas que reciben ayudas de la Política Agraria Comunitaria-SIGPAC (Figura 2-26).

Figura 2-25. Usos SIGPAC en la zona piloto el Campo de Cartagena (2017)

Para aumentar la certeza en la identificación de las parcelas citrícolas se ha utilizado una serie de 50 imágenes Landsat 8 corregidas atmosféricamente a nivel L2A, el periodo de estudio utilizado va del 15 de Abril de 2015 hasta el 02 de Diciembre de 2017. La serie de NDVI obtenidos se ha cruzado con el parcelario

catastral, para discriminar las parcelas en las que dicho índice no baje de 0,4 a lo largo del año, lo cual permite diferenciar los cítricos adultos del resto de frutales en regadío en las fechas invernales). Este índice NDVI nos podría ayudar en un paso posterior a calcular las necesidades hídricas de los cítricos a regional (Jiménez-Bello, 2012) o para caracterizar e identificar las parcelas afectadas en una gran helada a escala regional (Erena et al., 2009).

Tabla 2-7. Superficie citrícola en la Región de Murcia y en el Campo de Cartagena-CC

Cultivo	1996	2005	2010	2015	CC2006
Limonero (LI)	21.553	24.886	22.764	21.662	4.225
Mandarino (MD)	1.635	4.259	5.294	6.542	1.284
Naranja (NA)	9.502	10.589	10.464	9.248	8.083
Pomelo (PM)	415	416	641	748	246
Limero (L)	10	-	65	45	
Total (ha)	33.115	40.150	39.228	38.245	13.838

2.3.4. Área de estudio del Mar Menor

El Mar Menor es una de las lagunas más singulares de Europa y del Mediterráneo. Su superficie es de 135 km², con una profundidad media de unos 4 m, y máxima de 7 m, con una longitud máxima de 22 km. Es la mayor laguna costera hipersalina del mar Mediterráneo occidental y el humedal más relevante de la región de Murcia. Está separado del mar Mediterráneo por una barra arenosa de 22 km de longitud, denominada La Manga del Mar Menor. El clima en la zona es semiárido mediterráneo, con temperaturas medias anuales que van desde los 15°C a los 17°C (Martínez-Álvarez, 2011).

La salinidad del Mar Menor oscila entre 42 y 47 (PSU), debido fundamentalmente a la baja precipitación (<300 mm/año) y las altas tasas de evaporación. La precipitación media anual tiene oscilaciones positivas debido a episodios tormentosos de corta duración en otoño e invierno. La evaporación media de referencia es de aproximadamente 1350 mm/año. Por lo tanto, el equilibrio hidrológico neto de la laguna alcanza déficits anuales cercanos a 1000 mm/año, que son compensados por las entradas de agua dulce por las ramblas y agua salada del Mediterráneo por las golgas (Martínez-Álvarez, 2011). Aunque el Mar Menor, ha sido extensamente estudiado, el foco principal de la investigación ha sido biológico,

ecológico o geológico (del Río, 1990; Franco, 2012; Martínez-Fernández, 2014; Pérez-Ruzafa, 2005).

El Mar Menor y su zona de influencia: abarca una extensión de 1.385 km², de los que unos 1.250 Km² corresponden a la zona terrestre, 56 % del espacio litoral regional y el 11 % de la superficie regional: Cuenca hidrográfica del Mar Menor y las zonas de La Manga, salinas de San Pedro, Cabo de Palos e Islas de la laguna. Esta área, situada al sudeste de la Región de Murcia, se encuentra ocupada en su mayor parte por una cuenca sedimentaria que forma una llanura de forma triangular en dirección oeste-este (Campo de Cartagena), finalizando en la laguna del Mar Menor, cubeta receptora de toda la cuenca hidrográfica y del Campo de Cartagena, formada por una serie de cursos de agua de régimen intermitente y torrencial, destacando la rambla del Albuñón. Es un núcleo de influencia territorial de primer orden para la Región de Murcia, y de su conservación depende el mantenimiento de su función como importante recurso socioeconómico (turístico, deportivo, pesquero, paisajístico y ambiental, entre otros (CARM, 2017).

El Mar Menor se comunica con el Mar Mediterráneo a través de 5 canales o golos: el Ventorrillo, la Torre, el Charco, el Estacio, y Marchamalo, lo que hace a esta laguna algo muy singular por estar casi cerrada. Se sitúa entre las mayores en dimensiones, la diversidad de hábitats y especies es única por la presencia de sustratos rocosos naturales, praderas de fanerógamas marinas (como *Cymodocea nodosa* y *Ruppia arrhosa*), coexistencia de fondos arenosos bien equilibrados, fangosos y arcillas rojas compactadas, así como las comunidades esciáfilas asociadas a balnearios. Además, su baja conectividad con el Mediterráneo (López, 2017) y la oligotrofia y limpieza tradicional de sus aguas hacen de la laguna un ambiente altamente heterogéneo, con redes tróficas muy complejas y mecanismos homeostáticos muy desarrollados (Gilabert, 1992; García-Ayllón, 2017; Pérez-Ruzafa *et al.*, 2018). Es un caso paradigmático de sistema que mantiene una elevada producción biológica (como demuestra su producción pesquera y las importantes colonias de aves que soporta) con una elevada biodiversidad y gran complejidad estructural (León *et al.*, 2016). Tiene igualmente un papel muy importante en el mantenimiento de la diversidad genética de las poblaciones de especies marinas,

muchas de ellas con interés pesquero (lubina y dorada). Estas características justifican que el Mar Menor y su entorno tengan la máxima protección ambiental posible por todas las figuras legales existentes (Figura 2-27), como son:

1.- Es Paisaje Protegido: En la Ley de Protección y Planificación del Territorio 41/1992 de la Región de Murcia, se establece el Paisaje Protegido de los Espacios Abiertos e islas del Mar Menor (actualmente Lugar de Interés Comunitario LIC ES6200006) y el Parque Regional de las Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar (actualmente LIC ES0000175).

2.- Forma parte de la Red Natura 2000, que ha completado la protección de esta área con el LIC ES6200030 y la ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves) ES0000260 (ambos para todo el Mar Menor).

3.- Es “Área de Protección de Fauna Silvestre” y “Área de Sensibilidad Ecológica”.

4.- Declarado “Lugar de Interés Geológico”: L.I.G. nº 51.

5.- Además, la laguna es, desde noviembre de 1994, junto con los humedales que la rodean, Humedal de importancia internacional dentro del convenio RAMSAR (nº 706).

6.- Ha sido declarada, en noviembre de 2001, Zona Especialmente Protegida de importancia para el Mediterráneo (ZEPIM) en aplicación del Convenio de Barcelona. El conjunto de espacios protegidos del Mar Menor y su entorno es el siguiente:

a) Zonas Especiales de Conservación (ZEC): que también tienen la consideración de LIC:

- Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar: código ES0000175
- Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor: código ES6200006
- Islas e Islotes del Litoral Mediterráneo: código ES6200007.
- Cabezo Gordo: código ES6200013.
- Franja Litoral Sumergida: código ES6200029
- Mar Menor: código ES6200030.

b) Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA):

- Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar: código ES0000175.

- Isla Grosa: código ES0000200.
- Islas Hormigas: código ES0000256.
- Mar Menor: código ES0000260.
- Isla Cueva de Lobos: código ES0000270.
- Isla de Las Palomas: código ES0000271.

c) Espacios Naturales Protegidos:

- Parque Regional: Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar: código ENP000004.

- Paisajes Protegidos: Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor (código ENPOO0008); Islas e Islotes del Litoral Mediterráneo (código EN0000015); Cabezo Gordo (código EN0000018).

d) Áreas Protegidas por instrumentos internacionales (APII):

- RAMSAR (Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional (H.I.I.) de Ramsar especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas): “Mar Menor” (código HIR000033). También es “Área de Importancia para las Aves” con el nº 169 IBA.

- ZEPIM (Zonas Especialmente Protegidas de Importancia para el Mediterráneo): Área del Mar Menor y Zona Oriental Mediterránea de la Costa de la Región de Murcia: código ZEPIMOOO4.

e) A nivel regional es: “Paisaje Protegido”, “Área de Protección de Fauna Silvestre”, y “Zona Vulnerable a contaminación por nitratos de origen agrario”.

Figura 2-26. Espacios naturales en el área del Mar Menor (CARM, 2017)

La calidad de sus aguas se ha visto mermada en los últimos años debidos fundamentalmente al aumento de la acumulación de nutrientes procedentes de la agricultura, las aglomeraciones urbanas y la minería (García-Pintado, 2007; Pérez-Ruzafa, 2005; CARM, 2017; BOE, 2018.). Los intercambios de agua están regulados por las diferencias en el nivel del mar entre la laguna, que no tiene variaciones del nivel del mar apreciables, y el Mar Mediterráneo, sometido a la dinámica de las mareas. De acuerdo con la información disponible, el tiempo medio de permanencia del agua de la laguna es de un 1 año; su circulación es debida principalmente al viento (Más, 1996; Álvarez, 2007; López, 2017; IEO, 2018).

La Directiva Marco de las Estrategias Marinas-DMEM (European Community, 2017) incluye a la eutrofización como uno de los 11 descriptores para determinar el buen estado ambiental del medio marino. La DMEM reconoce que los síntomas de la eutrofización son progresivos y sus efectos múltiples (Gómez, 2015). En una primera etapa, la contaminación por nutrientes se manifiesta como un aumento en la concentración de **clorofila a** en la columna de agua y la proliferación de macro algas oportunistas, en una segunda etapa podrían aparecer otros efectos

como la disminución en la concentración de oxígeno disuelto, el incremento en la frecuencia de episodios de mortandad de organismos y la floraciones masiva de algas. El episodio reciente de eutrofización del Mar Menor (CARM, 2017; BOE, 2018; IEO, 2018) corresponde al modelo conceptual de eutrofización clásico descrito en la DMEM. (Figura 2-28). En el gráfico, las flechas indican las interacciones entre diferentes compartimentos ecológicos. Un ecosistema marino equilibrado se caracteriza por: (1) una cadena alimentaria pelágica (fitoplancton ► zooplancton/zoobentos ► peces), lo que efectivamente une la producción a consumo y minimiza el potencial de descomposición en exceso (2) composición de especies naturales de plancton y organismos bentónicos, y (3) si corresponde, una distribución natural de aguas subterráneas sumergidas vegetación. El enriquecimiento de nutrientes resulta en cambios en la estructura y función de los ecosistemas marinos, como se indica con líneas gruesas. Las líneas discontinuas indican la liberación de sulfuro de hidrógeno (H_2S) y fósforo, en condiciones anóxicas en la interfaz sedimento-agua, que está relacionado positivamente con agotamiento de oxígeno. Además, el nitrógeno se elimina por desnitrificación en sedimentos anóxicos (Ferreira *et al.*, 2010).

Figura 2-27. Modelo general de la eutrofia en la DMEM (Ferreira et al., 2010).

Por otra parte, el desarrollo de las IDE/SDI para la gestión integrada de las zonas costeras es de gran interés y ya se está desarrollando en varias otras zonas similares problemática como en la costa de la Bretaña francesa (Gourmelon, 2012) o en la costa Australiana (Sheikheslami, 2010).

2.3.5. Nuevas plataformas para la obtención y difusión de productos de teledetección

a) Los drones

El desarrollo de los vehículos no tripulados (drones) está suponiendo un gran avance para la actualización de pequeñas áreas por su bajo coste. Los drones más utilizados son los basados en ArduPilot (<http://ardupilot.org/>), que es un

autopiloto de código abierto, capaz de controlar multicópteros autónomos, aviones de ala fija, helicópteros, vehículos terrestres, vehículos acuáticos en superficie y vehículos submarinos. Ardupilot (ArduPilotMega o APM) es una plataforma de robótica que se desarrolló a partir una tecnología que inicialmente liberalizo el Instituto Tecnológico de Massachusetts –MIT, y que posteriormente el Instituto IVREA de Italia, la amplio desarrollando la plataforma Arduino (<https://www.arduino.cc/>). En el año 2005, se incorporan al proyecto Arduino investigadores de la Universidad de Nueva York del laboratorio ITP de (Physical Computing/Computación física) en el que se desarrollan la construcción de sistemas físicos basados en hardware y software abierto que pueden sentir y responder al mundo físico. En 2011 se presentó la primera placa Arduino 32 bit que era capaz de realizar tareas con gran requerimiento de cálculos necesarios para los pilotos automáticos de los drones. Las versiones actuales de ArduPilot (Figura 2-29) utilizan Unidades de Medición Inercial –IMU de alta precisión, que combinan acelerómetros, giróscopos y magnetómetros, así como GPS de alta precisión que permiten corrección de diferencial tipo RTK a tiempo real. El más utilizado es el Pixhawk- PX4 de la empresa 3DRobotics (<https://www.3dr.com/>).

Figura 2-28. Autopiloto Pixhawk basado en Arduino

El soporte del vehículo –ArduPilot se puede utilizar para diversos los tipos de vehículos como son (<https://github.com/ArduPilot/ardupilot>):

- ArduPilot para vehículos aéreos- UAV
- ArduBoat para vehículos acuáticos tipo barco –USV/AAV
- ArduSub para vehículos submarinos -ROV.

Los vehículos aéreos no tripulados no tripulados facilitan la adquisición de datos a tiempo y espacio escalas que aún permanecen inalcanzables para las plataformas tradicionales de teledetección. Sin embargo, la legalidad actual (Stöcker *et al.*, 2017) que regulan los drones presenta importantes barreras para la investigación y el desarrollo de cartografía de detalle en el ámbito agrícola (Guo *et al.*, 2012). En España, desde el 30 de Diciembre de 2017 la ley que aplica al uso civil de aeronaves pilotadas por control remoto (RPAs/drones) en España es el Real Decreto Real Decreto 1036/2017 (BOE, 2017).

Las aplicaciones de estos drones son muy variadas, la más comunes se pueden agrupar en fotogramétricas (Watanabe & Kawahara, 2016), detección precoz del estado sanitario de los cultivos o de su estrés (Calderón *et al.*, 2015), agricultura de precisión (Matese *et al.*, 2013), viticultura de precisión (Bellvert, 2014; Erena *et al.*, 2016), batimetrías en zonas costeras (Turner *et al.*, 2016; Klemas, 2015).

b) Las plataformas de procesamiento y difusión de imágenes

Una mención especial requiere los desarrollado de los nuevos portales para la descarga de los nuevos sensores de la ESA, USGS, Deimos imaging o Airbus Defense and Space (Figura 2-30). Algunos de estos portales como el de Deimos Imaging ya están desarrollando tecnologías propias del Big Data aplicados a la gestión de inundaciones e incendios forestales (Moclan, 2017).

Figura 2-29. Portales de descarga de imágenes de satélites de ESA, NASA y AIRBUS

También se están desarrollando portales con servicios en la nube como **Landa Viewer**, **EO Browser**, **World View** o **Sentinel Playground** (Figura 2-30),

este último es el visor de referencia para imágenes de Sentinel 2 en el marco del proyecto Copernicus, aunque también carga Landsat 8 y MODIS, aunque solo genera un formato de imagen viable para procesos de fotointerpretación o representación gráfica. Podremos trabajar se están generando servicios OGC para la carga de este tipo de imágenes (WMS, WMTS, WFS y WCS) en portales como el desarrollado por **Sinergise** (Figura 2-32). En estos portales se puede trabajar con las imágenes directamente en software GIS (ArcGIS o QGIS,) o en visores online capaces de cargar servicios OGC. También se han desarrollo en los últimos años servicios como el de Geostore de AIRBUS, que permiten al usuario hacer peticiones de programación de su constelación de satélites Spot y Pleiades (Figura 2-33).

Figura 2-30. Servicio de visualización personalizada de Sentinel Playground

Ejemplo de servicios WMS de acceso suscripción de la empresa **Sinergise**
(<https://services.sentinel-hub.com>)

Figura 2-31. Servicios WMS de Sentinel II de Sinergise

Por otra parte la Comisión Europea-CE está fomentando el uso de los datos de Copernicus ya elaborados de forma que permitan una mayor extracción de información fácilmente utilizable por los usuarios. Dado que esta necesidad se comparte en Europa y para evitar la duplicación de las actividades de almacenamiento de datos, la CE ha identificado la oportunidad de federar esta necesidad común y responder a través de un enfoque de servicio que es complementario a la descarga de datos tradicional. Este enfoque de servicio, denominado “Copernicus Data and Information Access Services-**DIAS**”, ofrece acceso a los datos e información de Copernicus y posibilita ofrecer servicios de valor agregado. En 2018 han entrado en funcionamiento cinco DIAS, algunos de ellos son por ejemplo: Mundi Web Services (<https://mundiwebservices.com>) y ONDA (<https://www.onda-dias.eu/cms/>).

Figura 2-32. Servicio Geostore para la programación y acceso a los satélites de AIRBUS

GeoStore es el portal para adquirir imágenes satélites (Spot, Pleiades) de la compañía AIRBUS y que se pueden ser recibidos por el usuario en dos horas desde la captura, lo cual hace de la entrega del producto un proceso rápido y eficiente. El sistema también permite que el usuario pueda programar los satélites de forma directamente desde la plataforma. Los servicios se ofrecen con diferentes opciones: OneDay, OneNow, OnePlan y OneSeries

La dirección es: <https://www.intelligence-airbusds.com/es/4953-geostore>

MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Análisis de la solución para una IDE temática de agricultura y

Agua

El objetivo principal de este trabajo es proponer una arquitectura y metodología para la generación de servicios distribuidos de información geográfica basados en catálogo de metadatos, (CSW) y servicio de mapas (WMS), a través de los componentes de la Infraestructura de Datos Espaciales temática, que permita gestionar la cartografía disponible en la Región de Murcia en el ámbito de la agricultura, la gestión del agua y el medio ambiente, utilizando los estándares propuestos por la OGC, haciendo uso de la información contenida en un sistema de información geográfica corporativo con una estructura basada en la propuesta por la directiva INSPIRE y que además, permita la generación de datos y servicios de datos (Opendata).

Las Infraestructuras de Datos Espaciales temáticas, como la propuesta sobre la agricultura y el uso del agua en la Región de Murcia (IDEarM) tendrá como objetivo principal el integrar los datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico que sobre esta temática se producen en el ámbito Regional, facilitando a todos los usuarios la localización, identificación, selección y acceso a tales recursos, a través de un geoportal (<http://www.idearm.es>), que además, integrara los recursos interoperables de otros productores de información geográfica a nivel Global, UE, nacional, regional y local.

La solución propuesta permitirá:

- Establecer estándares y normas para la descripción de los recursos geográficos, control de calidad y presentación de la información temática en mapas interoperables en la Web, basados en las normas ISO y estándares OGC.

- Implementar servicios en línea de mapas temáticos haciendo uso de la guía metodológica y confirmar la eficiencia del uso de los estándares geográficos, políticas de datos, arquitectura e infraestructura utilizada en el prototipo.

- Desarrollar servicios de catálogo para los metadatos, (CSW) y servicios de mapas en la Web (WMS) interoperables a través del uso de software libre/ propietario.

- Desarrollar servicios de catálogo de metadatos, (DCAT) y servicios Web basados en los estándares (W3C) mediante la generación de archivos RDF que puedan ser federados por los nodos regionales, nacional o europeo.

Algunas de las actividades clásicas de las administraciones que hacen un uso intensivo de información espacial son:

- Planificación de infraestructuras y ordenación territorial
- Control y seguimiento de las ayudas de condicionalidad de la PAC
- Protección y gestión del medio ambiente
- Gestión de los recursos naturales
- El registro catastral y de control de superficies agrícolas
- Inventario y gestión del patrimonio/ dominio público
- Censos y estadísticas agrarias
- Planes de riesgo de protección civil.

3.2. El modelo y la integración de la información en la geodatabase.

Las geodatabase son almacenes de datos orientados al dominio, integrados, no volátiles y variables en el tiempo, organizados para dar apoyo a procesos de toma de decisiones en un determinado ámbito (Zepeda S., 2008), este almacén tiene que integrar datos procedentes de distintas fuentes, tanto internas como externas a la organización y generalmente necesita de un proceso de carga masiva para su integración (Extracción, Transformación y Carga-ETL) mediante herramientas especiales que nos permitan el cambio en los modelos de datos para adecuarlos los esquemas XML de los Anexos I,II y III definidos en los reglamentos que desarrollan INSPIRE. Para el facilitar el diseño de una nueva geodatabase se pueden utilizar herramientas Microsoft Visio o Geodatabase Diagrammer y utilizar los modelos predefinidos para cada plataforma, en el caso de ESRI. Los elementos clave para su diseño son (ESRI, 2018):

1. **Datasets:** Que son las especificaciones que indican cómo registrar las propiedades de las clases de entidad (puntos, líneas y polígonos), rásteres y tablas de atributos, así como el conjunto de columnas en cada tabla.
2. **Clases de relación:** las relaciones de atributo se utilizan muy a menudo en SIG, al igual que en todas las aplicaciones DBMS. Definen la forma en que las filas de una tabla se pueden asociar con filas de otra tabla
3. **Dominios:** representan la lista o rango de valores válidos para las columnas de atributos.
4. **Relaciones espaciales y reglas espaciales:** Las topologías se utilizan para modelar la forma en que las entidades comparten la geometría con otras entidades.
5. **Capas de mapa:** Una parte fundamental de cada dataset es la especificación de cómo se simboliza y se representa en los mapas
6. **Mapas de referencia:** Que definen las escalas de visualización de cada mapa de referencia básico.
7. **Inventario y carga de los datos:** Una vez diseñada se procede a la carga masiva de la información adecuándola al modelo de datos definido.

La fase de recopilación y producción de la cartografía básica necesaria para implementar la geodatabase de IDEarM se ha basado en los trabajos previos realizados en el IMIDA para la elaboración de la cartografía 1:5000 del proyecto SIGEAM, la 1:25.000 del sistema de información de Ocupación del Suelo-SIOSE en la Región de Murcia, de los años 2005, 2009, 2011 y 2014, para los cuales se ha tenido que convertir toda la cartografía agraria y de usos del suelo disponible al sistema geodésico de referencia ETRS89 y al sistema de coordenadas universal transversal de Mercator UTM, para ellos se ha contado con la Base Cartográfica Nacional 1:25.000-BCN25 del Instituto Geográfico Nacional y el Mapa topográfico Regional 1:5.000- MTR05 del servicio cartográfico regional de Murcia. Los datos de saneamiento y depuración de la encuesta de equipamientos locales EIEL. Los datos históricos del SIGPAC procedentes del FEAGA. Los datos históricos del catastro procedentes del MH. Los datos de espacios naturales protegidos- ENP y las zonas con limitaciones de uso de la CARM (Tabla 3-1)

Tabla 3-1. Principales datos integrados en la geodatabadase de IDEarM

DATOS	INSTITUCIÓN GENERADORA
FUNDAMENTALES	
Referencia Geodésica	Instituto Geográfico Nacional
Límite provincial	Instituto Geográfico Nacional
Limite municipal	Instituto Geográfico Nacional
Limite urbano	Instituto Geográfico Nacional
Elevaciones	Instituto Geográfico Nacional
Red de Transporte	Instituto Geográfico Nacional
Redes Hidrográficas	Instituto Geográfico Nacional
Nombres Geográficos	Instituto Geográfico Nacional
Bionomía	Instituto Español de oceanografía
Batimetrías zonas costeras	Instituto Hidrográfico de la Marina
BASICOS	
Geología	Instituto Geo minero de España
Acuíferos	Instituto Geo minero de España
Clima	Agencia Estatal de Meteorología
Edafología	MAPAMA
Usos del Suelo	Instituto Geográfico Nacional
Cobertura Vegetal	MAPAMA
Cuencas Hidrográficas	MAPAMA
Biodiversidad	MAPAMA
SIGPAC	MAPAMA
Población	INE
Catastro de rustica	MEH
Zonificación cuenca	CHS
Masas y zonas DMA	CHS
Hidrografía	CHS
Infraestructuras	CHS
Unidades de Demanda-UDAS	CHS
Red SAIH	CHS
Registro de aguas	CHS
Dominio público hidráulico	CHS
Inventario de aprovechamientos	CHS
Desaladoras	CHS
Mapas de riesgo inundaciones	CHS
Espacios Naturales Protegidos	CARM
Depuradoras	CARM
Comunidades regantes	CARM
Calidad de aguas subterráneas	CARM
Sistema de riego	CARM
Cultivos	CARM
Variedades	CARM

3.3. La geodatabase corporativa

La gestión de los datos geográficos en las administraciones o empresas presenta unas exigencias específicas relacionadas directamente con el componente espacial que los define y que, además, obliga a contar siempre con referencias de posicionamiento sobre la superficie terrestre. (Gallego, 2017). Estas características obligan a que las aplicaciones que se utilizan para su producción, explotación y difusión posean la capacidad necesaria para manejar las coordenadas geográficas en sus proyecciones sobre un plano y, sobre todo, para conocer la situación de los elementos representados respecto a otros, es decir la topología, que es el término utilizado para describir las características geométricas de objetos que no cambian bajo transformaciones y son independientes de cualquier sistema de coordenadas (Burrough, 1986). El componente espacial es el factor fundamental que nos va a ayudar a diferenciar el dato geográfico de un dato cualquiera capturado en un sistema convencional. Su importancia radica tanto en la esencia propia de los datos, como su potencialidad para establecer las relaciones espaciales entre ellos, y para poder representar adecuadamente la información mediante mapas siguiendo los conceptos del diseño cartográfico (Varela, 2013).

La geodatabase se puede definir como un "contenedor" que puede alojar un conjunto de datasets de diversos tipos (vectoriales y ráster), y del que se pueden distinguir tres tipos:

Geodatabases de archivos: almacenados como carpetas en un sistema de archivos. Cada dataset se aloja como un archivo que puede escalar hasta 1 TB de tamaño (Figura 3-1).

Geodatabases personales: todos los datasets se almacenan dentro de un archivo de datos de Microsoft Access con un límite de tamaño de 2 GB.

Geodatabases corporativas: también conocidas como geodatabases multiusuario, pueden no tener límite de tamaño y cantidad de usuarios. Se almacenan en una base de datos relacional con Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2, IBM Informix o PostgreSQL.

En esta trabajo para la fase de diseño, se utilizara la geodatabase de archivos, que fue desarrollada por la empresa ESRI en la versión 9.2 de ArcGIS, para resolver

los problemas derivados de la geodatabase basadas en Access, que tienen una capacidad total limitada (Tamaño máximo de 2GB), en este tipo de geodatabase el tamaño máximo puede estar entre 1 y 256 TB, en este tipo la información se almacena en ficheros binarios, lo que permite que la base de datos sea multiplataforma y pudiendo correr bajo cualquier sistema operativo. Por otro lado, en el sistema de almacenamiento en ficheros el acceso es mucho más eficaz, permitiendo almacenar la información en menos espacio y mostrándola más rápidamente (Figura 3-2). Como único inconveniente presenta que el sistema de ficheros binarios solo pueden ser administrados desde ArcCatalog o ArcMap. El proceso de creación se resume a continuación:

Creación de una Geodatabase de archivos: Antes de crear la estructura de las clases de entidad y otros elementos en una Geodatabase, debemos disponer de una Geodatabase en la que introducir los diferentes elementos. La creación se realiza desde ArcCatalog y la geodatabase creada se denominó- **IDEarM**.

Creación de los Dataset de entidades y las clases de entidad: En este paso, se han creado los Dataset de entidades de acuerdo a las 35 clases definidas por la directiva INSPIRE, agrupándolo según los anexos de la directiva para facilitar la posterior conversión al modelo unificado, también se han añadido Dataset Auxiliares para la generación de los servicios piloto como el de mantenimiento y estimación de daños por heladas en los cítricos o el seguimiento de la calidad del agua del Mar Menor.

Para actualizar la geodatabase, se usan los servicios web de mapas (WMS - Web Map Service), definidos por el OGC, que producen mapas de forma dinámica a partir de información geográfica. La especificación internacional WMS del OGC define un "mapa" como una representación de la información geográfica en forma de archivo de imagen digital, adaptado para la visualización en una pantalla de ordenador.

Figura 3-1. Geodatabase de IDEarM y versión GDB adaptada a INSPIRE (IDEarM-I)

Las capas de la información en IDEarM se han organizado en las 34 clases definidas en INSPIRE, el total de capas inventariadas son 487 elementos organizadas en mapas ráster (29 capas), mosaicos de imágenes satélites (60 capas) y 21 tablas, 90 Capas del Anexo I, 36 Capas del Anexo II y 241 Capas del Anexo III.

Figura 3-2. Vista de la estructura de la geodatabase de IDEARM

Para el paso a una geodatabase corporativa multiusuario, que no solo es capaz de almacenar información alfanumérica sino que además puede almacenar la geometría de los objetos siendo esta el conjunto de coordenadas que definen la forma de un objeto y su posición en el espacio, además también es capaz de crear y almacenar relaciones tanto a nivel de atributo (alfanumérica) como espacial (geometría). La geodatabase se puede clasificar en referencia al número de usuarios que pueden estar editando de forma simultánea la geodatabase. Los tres tipos de geodatabase englobadas en ArcGIS Desktop (Personal, Archivos y Personal ArcSDE) solo permiten un solo usuario en edición. Las dos de ArcGIS Server son de edición concurrente permitiendo más de una edición simultánea.

El proceso flujo de trabajo utilizado para el desarrollo y mantenimiento de la geodatabase corporativa es el siguiente (Figura 3-3):

Figura 3-3. Flujo de trabajo para la creación y mantenimiento de la geodatabase de IDEARM

3.3.1. La información catastral

El Catastro es un registro administrativo (BOE, 2004) dependiente del Ministerio de Hacienda en el que se describen los bienes inmuebles rústicos, urbanos y de características especiales (Art. 1, RDL 1/2004).

La descripción catastral de los bienes inmuebles comprenderá sus características físicas, económicas y jurídicas, entre las que se encontrarán la localización y la referencia catastral, la superficie, el uso o destino, la clase de cultivo o aprovechamiento, la calidad de las construcciones, la representación gráfica, el valor catastral y el titular catastral (Ayen, 2012). A los solos efectos catastrales, salvo prueba en contrario, y sin perjuicio del Registro de la Propiedad, cuyos pronunciamientos jurídicos prevalecerán, los datos contenidos en el Catastro Inmobiliario se presumen ciertos (Art. 3, RDL 1/2004).

Parcela: Es la porción de suelo de una misma naturaleza, enclavada en un TM y cerrada por una línea poligonal que delimita, a tales efectos, el ámbito espacial del derecho de propiedad de un propietario o de varios pro indiviso y, en su caso, las construcciones emplazadas en dicho ámbito, cualquiera que sea su dueño, y con independencia de otros derechos que recaigan sobre el inmueble.

Subparcela: El concepto de subparcela en suelo rústico se utiliza para discriminar y representar gráficamente entre las clases de cultivo o aprovechamientos y los usos o destinos de las construcciones (Figura 3-4).

CULTIVO	NOMENCLATURA	INTENSIDAD PRODUCTIVA
Almendo seco	AM	01
Almendo seco	AM	02
Almendo seco	AM	03
Almendo regadío	AR	00
Labor, labradío seco	C-	01
Labor, labradío seco	C-	02
Pastos	E-	00
Frutales regadío	FR	00
Labor regadío	CR	00
Huerta regadío	HR	01
Huerta regadío	HR	02
Pinar maderable	MM	01
Pinar maderable	MM	02
Matorral	MT	00
Agrios regadío	NR	00
Olivo seco	O-	00
Olivos regadío	OR	00
Viña	V-	00
Parrales regadío	VP	02

Figura 3-4. Descripción de los usos del parcelario de Catastro (Ayen, 2012)

3.3.2. La información del SIGPAC

El Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas, SIGPAC, permite identificar geográficamente las parcelas declaradas por los agricultores y ganaderos, en cualquier régimen de ayudas relacionado con la superficie cultivada o aprovechada por el ganado.

El Reglamento (CE) n° 1593/2000, del Consejo, de 17 de julio de 2000, que modifica el Reglamento (CEE) n° 3508/92, por el que se establece un Sistema Integrado de Gestión y Control (SIGC) de determinados regímenes de ayuda comunitarios, obliga a crear un Sistema Gráfico Digital de Identificación de Parcelas Agrícolas, utilizando las técnicas informáticas de Información geográfica, recomendando además, la utilización de orto imágenes aéreas o espaciales.

Dicho reglamento, también establece que, a 1 de enero de 2005, cada Estado miembro debe disponer de una base de datos gráfica de todas las parcelas de cultivo digitalizadas, con una precisión equivalente, al menos, a una cartografía a escala 1:10.000. Con objeto de dar cumplimiento al mandato reglamentario, en España se ha elaborado un Sistema de Información Geográfica de parcelas agrícolas (SIGPAC), que permite identificar geográficamente las parcelas declaradas por los agricultores en cualquier régimen de ayudas relacionado con la superficie. Con fecha 20 de diciembre de 2014 se ha publicado el Real Decreto 1077/2014, de 19 de diciembre, por el que se regula el sistema de información geográfica de parcelas agrícolas, que atribuye al FEGA el carácter de autoridad competente, a nivel nacional, al estar facultado para la coordinación de los controles a realizar en el ámbito del sistema de gestión y control de las ayudas, así como para llevar a cabo el seguimiento de las actuaciones que, en esta materia, realicen las Comunidades Autónomas, con objeto de garantizar la aplicación armonizada en el territorio nacional de la reglamentación comunitaria.

Para la elaboración del mapa de cultivos de esta tesis se tomara la base la cartografía del SIGPAC, actualizada con datos de la Comunidad de Regantes del campo de Cartagena y los datos catastrales de 2017 (Figuras 3-5 y 3-6). Para la comprobación de la distribución de cultivos se han utilizado las encuestas anuales

del Panel Territorial del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación que se muestrea en verano y que suponen unas 3.185 ha en la zona de estudios

DESCRIPCIÓN USO SIGPAC	USO SIGPAC	DESCRIPCIÓN USO SIGPAC	USO SIGPAC
Asociación Cítricos-Frutales	CF	Invernaderos y cultivos bajo plástico	IV
Asociación Cítricos-Frutales de Cáscara	CS	Olivar	OV
Asociación Cítricos-Viñedo	CV	Olivar - Frutal	OF
Asociación Frutales-Frutales De Cáscara	FF	Pastizal	PS
Asociación Olivar-Cítricos	OC	Pasto Arbustivo	PR
Cítricos	CI	Pasto con Arbolado	PA
Corrientes y Superficies de Agua	AG	Tierras Arables	TA
Edificaciones	ED	Viales	CA
Forestal	FO	Viñedo	VI
Frutales	FY	Viñedo - Frutal	VF
Frutos Secos	FS	Viñedo - Olivar	VO
Frutos Secos y Olivar	FL	Zona Censurada	ZV
Frutos Secos y Viñedo	FV	Zona Concentrada no incluida en la Ortofotografía	ZC
Huerta	TH	Zona Urbana	ZU
Improductivos	IM		

Figura 3-5. Descripción de los usos del SIGPAC

DESCRIPCIÓN AGRUPACIÓN DE USOS SIGPAC	USOS SIGPAC
Tierras de cultivo	TA, TH, IV
Cultivos permanentes	CF, CS, CV, FF, OC, CI, FY, FS, FL, FV, OV, OF, VI, VF, VO
+ Viñedo y sus asociaciones	VI, VO, VF, FV, CV
+ Olivar y sus asociaciones	OV, VO, OF, FL, OC
+ Frutales y sus asociaciones	FY, VF, OF, FF, CF
+ Frutos secos y sus asociaciones	FS, FV, FL, FF, CS
+ Cítricos y sus asociaciones	CI, CV, OC, CF, CS
Pastos	PS, PR, PA
Forestal	FO
Superficie no Agrícola	AG, ED, IM, CA, ZU
Otros	ZV, ZC

Figura 3-6. Descripción de las agrupaciones de usos del SIGPAC

3.3.3. Los datos agronómicos

Para completar la información de los registros del SIGPAC con los datos agronómicos de interés se propone ampliar el modelo de datos (Erena *et al.*, 2007) con los siguientes campos para la información agronómica (Tabla 3-2).

Tabla 3-2. Estructura de campos para datos agronómicos de IDEarM

CAMPO	DEFINICIÓN
SAU	Define el uso agrícola del recinto.
GRUP_CULT	Define el grupo de cultivo (Frutales, Cítricos, Cereales, Hortícola, Industriales, Olivar, Viñedo, Ornamentales, Tierras arables).
CULTIV	Define el cultivo.
VARIED	Define la variedad (Grupo de variedades por precocidad).
SISTEMARIE	Regadío (Goteo, Aspersión, Apoyo, Inundación, Desconocido) y Secano
METODOCULT	Presencia de invernaderos/ mallas/ micro túneles
EDAD	Edad de la plantación

3.3.4. Los datos meteorológicos

c) Los datos de observaciones

Datos climáticos AEMET: Periodo 1971-2000

Los datos de este periodo proceden del Atlas Climático de la Región de Murcia que la (AEMET, 2014), esta publicación pretende ser un elemento útil para la descripción objetiva del clima en la Región de Murcia y para un mejor conocimiento de ciertos fenómenos o parámetros climatológicos a escala regional. Proporciona una exhaustiva colección de productos basados en la distribución regional de variables a través de su representación gráfica en mapas. Así mismo, se ofrece la evolución, en distintas escalas temporales, de una colección de parámetros registrados en diferentes observatorios de la Región de Murcia. En esta publicación hay la descripción climática completa de la Región, que hace hincapié en los dos principales elementos climáticos, la temperatura y la precipitación, aunque también se estudia el viento la nubosidad, la insolación, la radiación, el índice ultravioleta, el ozono, la humedad relativa, la evapotranspiración potencial y las tormentas, así como los meteoros del granizo y la niebla. Los mapas de los principales variables climatológicas del Atlas Climático de Murcia de AEMET pueden consultarse en el geoportal del agua (<http://geoportal.imida.es/agua/>) y los resultados para la zonas definidas en la Ley 1/2018 en el Campo de Cartagena pueden verse en el Anexo IV.

Datos climáticos SIAM: Periodo 1996-2017

Como base del trabajo se utilizaran las estaciones de la red Agrometeorológicas del IMIDA -**SIAM** (Rincón et al., 1998). El servicio dispone de un total 48 estaciones Agrometeorológicas repartidas por las principales zonas regables de la Región de Murcia. Las estaciones se componen de los siguientes sensores: Temperatura, Humedad relativa, Viento, Precipitación, Radiación y Evaporación de Cubeta Clase A. La medida de temperatura mínima absoluta se realiza usando sondas PT 100 o PT1000, que se encuentran ubicadas a una altura de un metro y medio respecto al suelo, siguiendo las directrices de la Norma UNE 500.520. Los datos de viento se toman a 2 m de altura. Los mapas y datos de los principales variables derivadas de la red del SIAM pueden consultarse en el en el

geoportal del agua (<http://geoportal.imida.es/agua/>) y en la web del SIAM (<http://siam.imida.es>), algunos resultados para la zonas de la Ley 1/2018 en el Campo de Cartagena pueden verse en el Anexo IV. En este estudio se han utilizado nueve de las cuarenta y ocho estaciones del SIAM, las variables almacenadas en la base de datos son:

Tabla 3-3. Variables climáticas almacenadas en el SIAM

Variable	Descripción
Med	Valor Medio/a
Max	Valor Máximo/a
Min	Valor Mínimo/a
UTMx	Universal Transverse Mercator-ETRS89
UTMy	Universal Transverse Mercator-ETRS89
ABS	Valor Absoluto/a
Días	Número de días utilizados en el informe
UTC	Tiempo Universal Coordinado
DV	Dirección del Viento (°)
DEWPT	Punto de Rocío (°C)
DPV	Déficit de Presión de Vapor (kPa)
N°TANQUE	Nivel de Tanque de cubeta Clase A (mm)
RADACU	Radiación Acumulada (w/m2)
RR	Radiación Reflejada (w/m2)
RADPAR	Radiación Par (w/m2)
T	Temperatura (°C)
HR	Humedad Relativa (%)
Prec	Precipitación (mm)
ETo	Evapotranspiración de referencia (mm)
RViento	Recorrido del Viento (Km/día)
Rad	Radiación (w/m2)
VV	Velocidad del Viento (m/s)
HSol	Horas de sol (horas)
HORAS0	Horas por debajo de 0 ° C (horas)
HORAS7	Horas por debajo de 7 ° C (horas)
HF_R	Unidades frío (Método de Richardson) (unidades)
PORCION	Método dinámico de porciones (Método de Fishman et al)
ETO_PM	Cálculo de ETo (Método Penman-Monteith, según la FAO) (mm)

d) Los modelos climáticos

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) es la institución responsable de la coordinación y el desarrollo de este componente del PNACC. Para ello, trabaja en estrecha coordinación con los grupos de investigación españoles más activos en este campo y con la Oficina Española de Cambio Climático (OECC). El programa Escenarios-PNACC se pone a libre disposición a través de la Web de la AEMET (Tabla 3-4).

http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/datos_diarios.

De acuerdo con el IPCC, ahora el Cambio Climático se evalúa a partir de cuatro escenarios diferentes (**RCP 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5** w/m² de incremento respecto a 1765), donde el comportamiento de la temperatura y la precipitación, depende del forzamiento radiativo impuesto por la concentración esperada de GEI en las diferentes épocas de evaluación.

Las proyecciones regionalizadas de cambio climático (también llamados escenarios) proporcionan información detallada sobre las mejores estimaciones del clima futuro de nuestro país, que constituyen un elemento imprescindible para llevar a cabo las evaluaciones de impactos y vulnerabilidad en los distintos sectores sensibles a las condiciones climáticas, y por tanto para diseñar políticas adecuadas de adaptación a sus efectos.

Tabla 3-4. Ejemplos escenarios del PNACC (AEMET,2018)

Método	Modelo	Escenarios	Variable	Periodo	Fichero
Análogos	ACCESS1-0	HISTORICAL	Precipitación	1961-2000	Descargar fichero (28 MB)
Análogos	ACCESS1-0	HISTORICAL	Tmax	1961-2000	Descargar fichero (7 MB)
Análogos	ACCESS1-0	HISTORICAL	Tmin	1961-2000	Descargar fichero (7 MB)
Análogos	ACCESS1-0	RCP4.5	Precipitación	2006-2100	Descargar fichero (64 MB)
Análogos	ACCESS1-0	RCP4.5	Tmax	2006-2100	Descargar fichero (17 MB)
Análogos	ACCESS1-0	RCP4.5	Tmin	2006-2100	Descargar fichero (16 MB)
Análogos	ACCESS1-0	RCP8.5	Precipitación	2006-2100	Descargar fichero (64 MB)
Análogos	ACCESS1-0	RCP8.5	Tmax	2006-2100	Descargar fichero (18 MB)
Análogos	ACCESS1-0	RCP8.5	Tmin	2006-2100	Descargar fichero (17 MB)
Análogos	ACCESS1-3	HISTORICAL	Precipitación	1961-2000	Descargar fichero (26 MB)
Análogos	ACCESS1-3	HISTORICAL	Tmax	1961-2000	Descargar fichero (7 MB)
Análogos	ACCESS1-3	HISTORICAL	Tmin	1961-2000	Descargar fichero (7 MB)
Análogos	ACCESS1-3	RCP8.5	Precipitación	2006-2100	Descargar fichero (61 MB)
Análogos	ACCESS1-3	RCP8.5	Tmax	2006-2100	Descargar fichero (17 MB)
Análogos	ACCESS1-3	RCP8.5	Tmin	2006-2100	Descargar fichero (17 MB)

3.3.5. Las comunidades de regantes del Campo de Cartagena

En el campo de Cartagena hay dos comunidades de Regantes:

1) La **Comunidad de Regantes Arco Sur Mar Menor-ArcoSur** que se constituye legalmente por Resolución de la Presidencia de la CHS de 29/09/2003 (Exp.: FCR 2/2003). Y que es la concesionaria de las aguas depuradas de la E.D.A.R. Mar Menor Sur, según concesión otorgada por resolución de la Presidencia de la CHS de fecha 15/07/2002 (Exp.: CSR 5/95) El ámbito territorial de la CR Arco Sur está compuesto por 6 sectores diferenciados de regadío denominados con una Superficie Regable de 3.029 ha y una superficie de Riego: 1.528 ha.

2) La **Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena-CRCC**, cuenta con una superficie cultivada total de 41.458 ha organizada en 33 sectores de riego, distribuidos en tres áreas: primera, de 24.851 ha en la zona oriental; segunda, de 5.199 ha en la zona occidental; y, tercera, de 11.408 ha en la cota 120.

La arquitectura del sistema de gestión de la CRCC (Figura 3-7) está organizada en capas o niveles, tal como se muestra en la figura. Los diferentes niveles son descritos en el trabajo de (Soto, 2013):

1. **El nivel Cliente** es el responsable del intercambio de información entre los diferentes usuarios y el sistema. Proporciona a los usuarios un interfaz “amigable”, que recibe la entrada de datos de los agricultores y el personal de la CRCC, y muestra la información proporcionada por el sistema. Todos los usuarios tienen acceso remoto al sistema mediante las aplicaciones Web y para telefonía móvil. Los técnicos como usuarios locales emplean las aplicaciones CENTUR, QGIS, iFIX, mientras que el personal administrativo maneja las aplicaciones CENTUR y BASE.

2. **El nivel Servidor** conecta a los usuarios con los nodos remotos, y consiste en las diferentes aplicaciones y en las bases de datos del sistema. Las bases de datos empleadas son bases de datos relacionales, en las que se produce el almacenamiento de toda la información, incluyendo datos espaciales e históricos. Las bases de datos utilizadas son SQL Server (censo, gestión de la distribución del agua y el SCADA), MySQL (GIS) y Oracle (gestión contable). El propósito de estas herramientas o

aplicaciones es llevar la información al interfaz de usuario, proporcionando acceso a toda la información disponible y facilitando la ejecución de las diferentes tareas de la CRCC. En este nivel se incluye un software que conecta con los bancos, para recibir la relación de los ingresos realizados por los agricultores para poder efectuar sus riegos.

3. **El nivel Remoto** permite realizar el telecontrol y la supervisión remota de las infraestructuras de riego. Su función es la de garantizar las comunicaciones entre el software del sistema y las más de 1.000 unidades de terminal remoto (RTUs) instaladas junto a los elementos de control. Además monitoriza la red de riego, controlando los reintentos y la integridad del flujo de datos, así como la activación o desconexión de equipos remotos de manera automática o a solicitud del usuario. Los Front-End de comunicaciones actúan como enrutadores de las comunicaciones entre las RTUs y el iFIX, hacen de interfaz entre los distintos medios de comunicación disponibles, entre la red Ethernet (LAN) del centro de control y la red de radio que da cobertura a las RTUs.

Figura 3-7. La arquitectura de tres capas de la CRCC (Soto, 2013)

La gestión eficiente y transparente del agua en las comunidades de colectivos es el principal compromiso de las asociaciones de usuarios de agua (AUA), que gestionan el 70% de los recursos hídricos disponibles en España. Este documento muestra el papel de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la gestión de las AUA modernizadas. Desde el año 1999, se seleccionó a la AUA de Campo de Cartagena, una institución pionera que ha estado aplicando las TIC en la gestión del distrito de irrigación en el sudeste de España, como caso de estudio. Analizamos los efectos de las TIC (incluyendo el Sistema de Soporte de Decisión, Sistema de Información Geográfica, Control de Supervisión y Sistema de Adquisición de Datos, aplicaciones web y móviles) tanto en el desempeño de las tareas de gestión de la AUA como en la adaptación de los agricultores a los nuevos servicios. Las principales mejoras en el desempeño de la gestión de la AUA fueron una asignación más eficiente y equitativa de los recursos hídricos, el establecimiento de la rastreabilidad del agua y la mejora en la transparencia de la gestión (Soto, 2013).

3.4. La incorporación de los datos de observación de la tierra-EO

Los datos de observación de la tierra-EO juegan un papel crucial en el monitoreo de la vegetación y muestra información muy valiosa para estudiar el estado de la cubiertas vegetales a través de los índices de vegetación, estos son muy importantes para fomentar iniciativas de seguimiento, protección y restauración de la vegetación tanto a nivel local como a escala global. Los métodos clásicos de seguimiento de la vegetación, como los trabajos de campo, son poco efectivos para monitorizar la dinámica de los cultivos porque son lentos y a menudo demasiado costosos. En este contexto, durante el último algunos años, están surgiendo diferentes métodos basados en la teledetección que permiten monitorear de una forma rápida las propiedades de la vegetación y su dinámica. Esta tecnología interdisciplinaria ofrece un medio cada vez más práctico y económico para evaluar los cambios en la vegetación, ya sea para grandes áreas a escalas que van desde kilómetros hasta resoluciones espaciales de metros (Campos, 2017).

La metodología propuesta en este estudio tiene por objeto estimar la superficie mensual regada (Bea & Montesinos, 2008; Bea, 2011) y actualizar la demanda de agua de los cultivos en el Campo de Cartagena, para ello se están utilizando los sistemas de información geográfica y la teledetección (Bea *et al.*, 2013), en concreto el análisis multiespectral y multitemporal de los cultivos, análisis que contempla, para cada fecha, el análisis de la vegetación activa y la determinación de los cultivos bajo plástico, para este estudio se pueden utilizar 80 imágenes de satélite Landsat 8 que van desde 8 de septiembre del año 2014 al 11 de Marzo de 2018. El producto del USGS utilizado será la Reflectancia en superficie del sensor OLI/TIRS Level- L2. La Región de Murcia se cubre con dos escenas: 199/34 (Figura 3-8) y 199/33.

Figura 3-8. Escena Landsat 8 (199/34) del 08/09/2014

También se utilizarán 16 escenas (T30SXG) de Sentinel II de van desde el 14/8/2017 hasta el 07/03/2018, el producto Sentinel utilizado es la reflectancia en superficie del sensor MSI Level- L2. La Región de Murcia se cubre con 4 escenas: T30SWH, T30SXH, T30SWG, T30SXG. El Campo de Cartagena por dos escenas por fecha las: T30SXH, T30SXG (Figura 3-9). Para el estudio de la definición de metodología para la determinación de la superficie regada y el ajuste de los Kcb en los cítricos se han utilizado todas las Imágenes sin nubes disponibles en el año 2017 (Tabla 3-5). Centro de descargas: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Tabla 3-5. Fechas disponibles de Landsat 8 y Sentinel II en 2017

Escenas	Fechas
LC08_L1TP_199034_20171221_20171224_01_T1	21-DEC-17
S2A_MSIL2A_20171222T105441_N0206_R051_T30SXG_20171222T125755	22-DIC-17
S2B_MSIL2A_20171217T105439_N0206_R051_T30SXG_20171217T125559	17-DIC-17
S2A_MSIL2A_20171212T105441_N0206_R051_T30SXG_20171212T130232	12-DIC-17
S2A_MSIL2A_20171202T105421_N0206_R051_T30SXG_20171202T125826	02-DIC-17
LC08_L1TP_199034_20171205_20171222_01_T1	05-DEC-17
LC08_L1TP_199034_20171119_20171205_01_T1	19-NOV-17
S2A_MSIL2A_20171112T105301_N0206_R051_T30SXG_20171112T131724	12-NOV-17
LC08_L1TP_199034_20171103_20171109_01_T1	03-NOV-17
LC08_L1TP_199034_20171018_20171025_01_T1	18-OCT-17
S2A_MSIL2A_20171003T105021_N0205_R051_T30SXG_20171003T105856	03-OCT-17
LC08_L1TP_199034_20171002_20171014_01_T1	02-OCT-17
LC08_L1TP_199034_20170916_20170929_01_T1	16-SEP-17
S2A_MSIL2A_20170913T105021_N0205_R051_T30SXG_20170913T105335	13-SEP-17
LC08_L1TP_199034_20170831_20170915_01_T1	31-AUG-17
LC08_L1TP_199034_20170815_20170825_01_T1	15-AUG-17
S2A_MSIL2A_20170814T105031_N0205_R051_T30SXG_20170814T105517	14-AGO-17
LC08_L1TP_199034_20170730_20170811_01_T1	30-JUL-17
LC08_L1TP_199034_20170714_20170726_01_T1	14-JUL-17
LC08_L1TP_199034_20170628_20170714_01_T1	28-JUN-17
LC08_L1TP_199034_20170612_20170628_01_T1	12-JUN-17
LC08_L1TP_199034_20170527_20170615_01_T1	27-MAY-17
LC08_L1TP_199034_20170511_20170525_01_T1	11-MAY-17
LC08_L1TP_199034_20170425_20170502_01_T1	25-APR-17
LC08_L1TP_199034_20170409_20170414_01_T1	09-APR-17
LC08_L1TP_199034_20170324_20170329_01_T1	24-MAR-17
LC08_L1TP_199034_20170308_20170317_01_T1	08-MAR-17
LC08_L1TP_199034_20170220_20170301_01_T1	20-FEB-17
LC08_L1TP_199034_20170204_20170216_01_T1	04-FEB-17
LC08_L1GT_199034_20170119_20170311_01_T2	19-JAN-17
LC08_L1TP_199034_20170103_20170312_01_T1	03-JAN-17

Los mapas de las composiciones mensuales RGB y los NDVI para el año 2017, pueden consultarse en el geoportal del agua (<http://geoportal.imida.es/agua/>) y los resultados para la zonas de la Ley 1/2018 en el Campo de Cartagena pueden verse en el Anexo IV.

Figura 3-9. Escenas de Sentinel II que cubren la Región de Murcia

Para las imágenes Sentinel-2 (nivel 2A, reflectancia Bottom-of-Atmosphere ortorectificadas) del servidor Sentinel Científica Data Hub-SCIHUB del programa Copernicus de la ESA. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

3.5. Tratamiento y procesamiento de los datos de observación de la tierra

La teledetección espacial con equipos óptico-electrónicos emplea un soporte no clásico para la grabación de la información. El sensor explora secuencialmente la superficie terrestre, adquiriendo a intervalos regulares la radiación que proviene de los objetos situados en ella. El sensor detecta la radiación media de una parcela de terreno equivalente al tamaño del pixel. Este valor medio se traduce a valor numérico, que debe ser interpretado. Dado que la respuesta recogida en un pixel está afectada por diversas alteraciones es recomendable hacer una serie de operaciones correctoras, antes de calcular el parámetro de interés agrícola que nos interesa como puede ser, la estimación evapotranspiración real o el estado de estrés de un cultivo (Bastiaanssen *et al.*, 2000), la estimación de su rendimiento (Basso *et al.*, 2013), la delimitación de superficie de las áreas regadas (Bea, 2013), el apoyo a la

gestión de la PAC (Hejmanowska *et al.*, 2008) o la estimación de la demanda de agua a escala regional (Heinemann *et al.*, 2002).

3.5.1. Corrección atmosférica

El flujo de energía recibido por el sensor no sólo depende de la reflectividad de la cubierta, sino también de otros factores externos. Los más importantes son:

- Condiciones atmosféricas.
- Geometría de la observación. El ángulo de elevación solar (fuente del flujo energético) y ángulo de observación (posición del sensor) respecto a la superficie terrestre determinan la respuesta que ésta da.

3.5.2. Correcciones geométricas

Las imágenes de teledetección no son mapas no poseen escala. Y muchas de las aplicaciones de la teledetección requieren que los datos estén referidos a una base geográfica, que permita localizar los valores de reflectancia correspondientes a un determinado punto del terreno.

Si podemos buscar puntos dentro de la imagen de los que sabemos sus coordenadas geográficas (bien a partir de un mapa o bien a partir de otra imagen ya rectificadas), podremos calcular una transformación que obtenga la proyección de los datos en un plano, conforme a un sistema de proyección cartográfico. A esos puntos se les llama puntos de control. La relación entre el sistema de coordenadas de la imagen y el de la realidad se construye mediante una transformación.

3.5.3. Los índices biofísicos

De la multitud de índices biofísicos disponibles en la literatura, el más utilizado es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada-NDVI (Rouse, 1974).

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} \quad (1)$$

Siendo:

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.

IR/NIR: Infrarrojo.

R: Rojo

Que utilizando el sensor OLI de Landsat 8 se traduce en $((\text{Banda } 5 - \text{Banda } 4) / (\text{Banda } 5 + \text{Banda } 4))$ con el fin de mejorar la discriminación entre suelos y vegetación y contrastar más claramente la vegetación activa. Como elemento de contraste se genera también una imagen en falso color de cada fecha mediante la combinación de bandas en RGB (5,4,3) si se usa de Landsat 8 y usando Sentinel 2B la composición RGB sería la (8,4,3). Previamente al cálculo de las áreas regadas las escenas se corrigen geométricamente mediante una transformación polinómica y ajuste por mínimos cuadrados. La interpolación se realizó mediante el método del vecino más próximo para las destinadas a obtener los NDVI y por convolución cúbica para las composiciones de color natural de las bandas (4,3,2) en RGB.

Como elemento de contraste se genera también una imagen en falso color (Montesinos, 1996) de cada fecha mediante la combinación de bandas en RGB (5,4,3) si se usa de Landsat 8 y usando Sentinel 2B la composición RGB sería la (8,4,3). De este modo se ha elaborado un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), que minimiza el efecto del suelo y las posibles perturbaciones atmosféricas sobre la vegetación. Con un rango de variación limitado entre -1 y $+1$, los valores positivos más bajos vinculan las zonas con menor cubierta vegetal, ya que los valores negativos suelen hacer referencia a zonas cubiertas por agua.

Para verificar las clasificaciones y cuantificar el nivel de exactitud de cada uno de los mapas se ha optado por crear una imagen denominada "verdad-terreno" que representa una muestra de la superficie total de la cuenca del Campo de Cartagena la que se conoce la cubierta o uso verdadero. Para ello se han seleccionado unas parcelas o áreas test distribuidas en la imagen, siguiendo un muestreo sistemático no alineado, a las que se les asignó el verdadero uso del suelo. Por ello la asignación de la verdad-terreno a las diferentes parcelas se realizará mediante fotointerpretación de las fotos aéreas disponibles y salidas al campo.

La división o cociente entre bandas es una de las transformaciones más utilizadas en teledetección. Las razones por las que los cocientes de bandas son muy utilizados se pueden resumir en dos: por un lado, la correlación entre los valores del cociente y la forma de las curvas de reflectancia espectral entre dos longitudes de onda y, por otro, la reducción del efecto de la topografía (figura 3-10).

Figura 3-10. Efecto de la topografía en el cálculo del NDVI (Montesinos, 1996)

La cuantificación de la superficie de esta clase de uso constituye, en primer lugar, un valioso indicador para estimar la demanda de agua. En el plano hidrológico, se caracteriza por el aumento de la evapotranspiración y, a veces, de la escorrentía, lo que produce un mayor potencial erosivo y un aumento del transporte de sedimentos.

3.6. La importancia de los metadatos

Los metadatos informan a los usuarios sobre la disponibilidad de datos y de sus características, para que puedan seleccionar qué datos les interesan y que sean capaces de explotarlos de la manera más eficaz posible (Manso, 2009)

Para ello la información incluida en los metadatos debe incluir al menos: la fecha del dato, el contenido, la extensión que cubren, el sistema de referencia espacial, el modelo de representación espacial de los datos, su distribución, restricciones de seguridad y legales, frecuencia de actualización y calidad.

Contenido mínimo de los metadatos en las normas ISO 19115:

- Título: Palabra/frase para identificar el conjunto de datos
- Resumen: Texto descriptivo del conjunto de datos
- Temática: Tema del conjunto de datos
- Áreas aplicación: Áreas de aplicación del conjunto de datos
- Ámbito geográfico: Área geográfica del conjunto de datos
- Coordenadas: Coordenadas geográficas de los límites
- Resolución: Tamaño de la celda expresado en metros
- Capas: Listado de capas presentes
- Sistemas de referencia: Datum

- Sistema coordenadas: Proyección y parámetros particulares
- Fuentes de los datos: Listado y caracterización de las fuentes
- Fecha de desarrollo: Mes y año
- Responsable: Organismo o institución responsable
- Licenciamiento: Cómo se licencia el conjunto de datos

Los objetivos de los metadatos son:

La **búsqueda** de conjuntos de datos: saber qué datos existen, qué datos hay disponibles de una cierta zona, de un tema determinado, a una escala y de una fecha.

La **elección**: es decir, poder comparar distintos conjuntos de datos entre sí, de modo que se pueda seleccionar cuáles cumplen los requisitos del usuario de manera más adecuada para el propósito perseguido.

La **utilización**: que consiste en describir las todas características técnicas de los datos, de la manera más objetiva, más amplia y completa, con la finalidad de permitir su explotación eficaz.

Para que un metadato cumpla adecuadamente su función, deben de estar contenido en un **servicio de catálogo interoperable (CSW)**, que permita la publicación y búsqueda de los metadatos que describen los datos, servicios, aplicaciones y en general todo tipo de recursos. Los servicios de catálogo son imprescindibles para proporcionar capacidades de búsqueda e invocación sobre los metadatos registrados dentro de una IDE (Manso, 2009).

3.7. Los requisitos de interoperabilidad

La interoperabilidad puede definirse de diferentes formas. Por ejemplo el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, 1990) define la interoperabilidad como la habilidad de dos o más sistemas para intercambiar información y utilizar la información intercambiada. Según la iniciativa Dublin Core (Dublin Core, 2006) se define como la capacidad de los distintos tipos de ordenadores, redes, sistemas operativos y aplicaciones informáticas, para trabajar conjuntamente de una forma efectiva, sin requerir comunicaciones previas, de modo que se intercambie información de un modo útil y válido.

En el contexto de las **IDE**, los principales actores que están desarrollando los estándares de interoperabilidad de los datos y sistemas son el **OGC** y la Organización Internacional de Estandarización -**ISO**. Ambos, además de definir normas para los datos y los metadatos, están definiendo modelos de objetos y esquemas **XML** para el almacenamiento y la transferencia de información, así como para las interfaces de servicios, por ejemplo la **ISO 19128:2005 Web Map Server Interface**”, basándose en la especificación “Web Map Service (**WMS**) Implementation Specification” del OGC.

Por otra parte **ISO**, en su norma **ISO 19119**, define la interoperabilidad geográfica como la capacidad de los sistemas de información para intercambiar libremente todo tipo de información espacial relacionada con la tierra, los objetos y los fenómenos que existen encima, debajo y sobre la superficie terrestre, y ejecutar programas capaces de manejar dicha información de forma cooperativa, sobre redes de comunicaciones.

La interoperabilidad para ser efectiva tiene que cumplir diferentes aspectos como son los sintácticos, los estructurales y los semánticos (Lemmens, 2006).

Se habla de una **interoperabilidad sintáctica** cuando tiene que ver con la posibilidad de conexión técnica: Los datos pueden ser transferidos (sin importar si esos datos están referidos al mismo sistema de referencia, pertenecen al mismo huso o están de las mismas unidades, etc.)

Se habla de una **interoperabilidad estructural** cuando se hace referencia a su representación, identificación, licenciamiento y control de los datos compartidos.

Y se habla de **interoperabilidad semántica** cuando, además de transmitirse los datos, los sistemas entienden de la misma forma los significados de los datos compartidos.

Figura 3-11. Modelo de interoperabilidad de una IDE nacional (FGDC, 2015)

A escala global los esquemas de interoperabilidad que primero se desarrollaron fueron los del Federal Geographic Data Committee-**FGDC** de EEUU y siguen modelo para todo tipo de IDEs (Figura 3-1). El nivel más importante, es el de la IDE de España (IDEE), que tiene como objetivo el integrar a través de Internet los datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico que se producen en el territorio nacional, facilitando a todos los usuarios potenciales la localización, identificación, selección y acceso a tales recursos, a través del Geoportal de la IDEE (<http://www.idee.es>), que integra los nodos y geoportales de recursos IDE de productores de Información Geográfica a nivel nacional, regional y local, y con todo tipo de datos y servicios de Información Geográfica disponibles en España. El catálogo de los distintos servicios de los distintos organismos públicos lo encontramos en: www.idee.es/CatalogoServicios/index.html.

3.8. Los casos de estudio y las tecnologías para su implementación

Los casos de estudio donde han aplicado estas tecnologías son:

- Balance hídrico y del Kc basal en cítricos para el periodo (2013-2017)
- Efecto del cambio climático en cítricos (2006-2100)
- Seguimiento de la calidad de las aguas del Mar Menor (2015-2017)
- Seguimiento de batimétrico en las golas del Mar Menor (2012-2017)

Para el desarrollo de los casos de estudio, se ha probado tecnologías OpenSource (Sánchez et al., 2013) y propietarias como las de ESRI (Erena et al., 2012) y se han elegido las tecnologías y aplicaciones de ESRI por su rendimiento y compatibilidad en los tres niveles de la administración que nos interesa para integrar en los visores, ya que es la utilizada en los principales organismos productores de datos en el ámbito agrario, del agua y del medio ambiente (EEA, MAPAMA, IGME, IHM y CHS):

Figura 3-12. Arquitectura de la tecnología ESRI utilizada (ESRI, 2018)

Tecnologías ESRI utilizadas en los casos piloto son (Figura 3-12):

- ArcGiS versión 10.6. Permite el tratamiento de datos, creación de dominios y subtipos, creación y edición de mapas (.mxd), generación de geoprocésamiento con model builder, análisis espacial, publicación de servicios, conexión a geodatabase Enterprise con versionado, edición, cacheado y conexión a servicios OGC.
- SQL Server 2012 R2 de Microsoft Corporation. Con el fin de crear y asignar permisos de edición usuarios que formarán parte de la geodatabase Enterprise.
- ArcGiS server Enterprise 10.6. Utilizados para la publicación y gestión de servicios REST
- ArcGiS Online. Utilizado en la gestión de web Maps, así como para la geolocalización de archivos.
- ArcGiS API for JavaScript. Con la interfaz de programación de aplicaciones (API) de ArcGiS para JavaScript se construye y despliega la aplicación web para el presente proyecto, la cual incorpora servicios de mapas y geoprocésamiento.
- Dojo toolkit. Framework que contiene APIs y widgets programado en JavaScript, que enriquecen la aplicación a través de gráficos dinámicos.
- ArcGiS API for Flex 3.7. Con la interfaz de programación de aplicaciones se construye y despliega la aplicación web para el presente proyecto, la cual incorpora servicios de mapas, geoprocésamiento y edición vía web.
- IIS 7 de Microsoft de Windows 8.1 como servidor de aplicaciones.
- ArcPAD Studio, Collector for ArcGiS para Android y Surveys123 for ArcGiS para la toma de datos en campo.

Las tecnologías de teledetección usadas para el caso del seguimiento de los cítricos en del Campo de Cartagena y para calidad de aguas del Mar Menor se resumen en la (Figura 3-13), en la figura se describe el proceso de las imágenes utilizando los nuevos productos del Servicio Geológico de los EE. UU- USGS, que actualmente ofrecen la producción bajo demanda de datos de reflectancia de superficie de los sensores (OLI/TIRS) de Landsat 8 a través de EarthExplorer. Los productos de reflectancia de superficie proporcionan una estimación de la reflectancia espectral de superficie ya que se mediría a nivel del suelo en ausencia de dispersión o absorción atmosférica. Los productos de reflectancia de superficie se generan en el Centro de observación y ciencia de recursos de la Tierra (EROS) a una resolución espacial de 30 metros. Los datos de reflectancia de superficie Landsat 8 se generan a partir del código de reflectancia de superficie Landsat (LaSRC). LaSRC utiliza la banda costera de aerosoles para realizar pruebas de inversión de aerosoles, utiliza datos climáticos auxiliares de MODIS y un modelo de transferencia radiativa (USGS, 2016). El proceso completo se describe en los apartados 1 y 3 del capítulo de resultados.

Figura 3-13. Esquema de procesado de las imágenes Landsat 8

Para el seguimiento batimétrico se han utilizado imágenes de muy alta resolución proporcionadas por Deimos Imaging y Airbus Defense & Space a través de su servicio Geostore. El proceso completo se describe en el apartado 4 de resultados.

Figura 3-14. Esquema de procesado de las imágenes Pleiades 1A/B y Deimos II

Para la actualización fotogramétrica y batimétrica se ha utilizado el mismo equipamiento y metodología que la empleada en la actualización batimétrica de los embalses de la Cuenca del Segura (Erena & Atenza, 2018), la descripción y funcionalidad de los equipos esta descrita en el Anexo VII.

Figura 3-15. Equipos desarrollados para fotogrametría y batimetría.

El esquema completo de las tecnologías utilizadas para el desarrollo, publicación y explotación de los datos para los diferentes casos de uso puede verse en la (Figura 3-16).

Figura 3-16. Tecnologías utilizadas para el almacenamiento y publicación de los datos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La publicación de los datos ambientales es esencial para el desarrollo de los servicios públicos relacionados con la agricultura y el agua. En el caso de los datos meteorológicos son datos muy importantes ya que se utilizan en todos los ámbitos de la administración. Actualmente, la demanda de datos meteorológicos interoperables está creciendo sobre todo entre los gestores del agua para buscar soluciones más eficaces a la gestión y la planificación de este recurso tan importante y escaso. Este dominio, es especialmente complejo, ya que necesita integrar una gran cantidad de datos de carácter geográfico de diferentes tipos y resoluciones para su desarrollo. Los sistemas interoperables para los datos meteorológicos ya están siendo estudiados en diferentes ámbitos, como la gestión de red eléctrica española en el proyecto Rayman (Gutiérrez, 2010) o para la gestión de inundaciones (Bröring *et al.*, 2012) y (Sánchez *et al.*, 2002) en el ámbito de la Cuenca Hidrográfica del Segura (Erena *et al.*, 2005). En este trabajo, se han evaluado la funcionalidad de estos sistemas para la integración a tiempo real de los datos registrados por la red de 66 sensores pluviométricos procedentes del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH-CHS), las 48 estaciones automáticas de la red de estaciones del Sistema de Información Agraria de Murcia (SIAM-IMIDA) y las 42 estaciones automáticas de la AEMET, que hay disponibles en la Cuenca del Segura, durante el episodio de lluvias intensas que tuvo lugar en el Sureste Peninsular durante los días 27 al 29 de septiembre del 2012 o la del 15-19 de diciembre de 2016. Con ellos se consiguió incrementar el número de pluviómetros accesible a tiempo real a 156 con un tiempo de acceso medio de 10 minutos, con una actualización de la web de una hora (Figura 4-11).

Figura 4-1. Integración de datos meteorológicos de diversas fuentes en un visor interoperable

El geoportal de IDEarM, está basado en los desarrollos previos realizados para el proyecto Telerieg (<http://www.telerieg.net/>) que permitió el desarrollo de un sistema automático de procesado de Imágenes NOAA (Figura 4-2) y que posteriormente se amplió para Landsat 5 en el proyecto Redsim en colaboración con la UPCT (<http://iderm.imida.es/redsim/>).

Figura 4-2. Sistema de procesado automático de imágenes de satélite en Telerieg

Los productos biofísicos elaborados están accesibles a través de los enlaces del portal <https://idearm.imida.es/>. En el sistema se puede consultar gran cantidad de información relacionada con el agua en sus diferentes aspectos y como por ejemplo: Las intensidades horarias y las precipitaciones acumuladas se pueden para diversas agrupaciones espaciales: cuenca vertientes de las principales ramblas, municipios y polígonos catastrales. También se han integrado imágenes del satélite Deimos I de fecha anterior (8/9/2012) y posterior (1/10/2012) a la ocurrencia del evento meteorológico extremo (28/09/2012) para facilitar la labor de los servicios de valoración de daños en la zona agrícola afectada. Este visor, está basado en la tecnología de ArcGis Online, y en él se integra información diaria de la red de estaciones agroclimáticas de la Región de Murcia (Sistema de Información Agraria de Murcia-SIAM), la AEMET y el SAIH de la CHS. La base de datos donde se almacena la información es Oracle® 11g y el entorno de desarrollo Oracle® APEX. Para procesar los datos en tiempo real se ha desarrollado una aplicación en el lenguaje Python, que genera dinámicamente mapas meteorológicos a partir de los datos de la red de estaciones (Erena *et al.*, 2012).

Por otra parte, se han desarrollado servicios para los datos meteorológicos de la red de estaciones del SIAM adaptados a los requerimientos del modelo unificado de INSPIRE (INSPIRE, 2013a). En el caso del IMIDA, se ha desarrollado un prototipo de Servicio de Observación de Sensores- SOS utilizando los nuevos estándares para las redes de sensores meteorológicos y un servicio de descarga basado en ATOM (Erena *et al.*, 2015). El servidor SOS utilizado tiene como objetivo permitir el acceso a los datos de las estaciones meteorológicas mediante el correspondiente tipo de cliente (Bröring *et al.*, 2011), otro uso de los servicios SOS es la producción y publicación de productos biofísicos a tiempo real derivados de la integración de imágenes de satélite y de datos observados (Hernández *et al.*, 2012).

Figura 4-3. Arquitectura para publicación de datos meteorológicos mediante un servicio SOS

Los datos del servicio SOS son pueden consultarse en la siguiente dirección:

<http://sigyt.imida.es:8080/52n-jsClient-1.0.0/#map>

Así pues, el uso de las IDE pueden ser herramientas muy útiles para la implantación de servicios de ayuda a la decisión en el entorno agrícola y del medio ambiental, tales como: la estimación de las necesidades de agua a escala regional, estudiar los efectos del cambio climático en los cultivos, a el seguimiento del estado de la vegetación en los cultivos del Campo de Cartagena, el seguimiento de la calidad de las aguas del Mar Menor, el seguimiento de fenómenos meteorológicos adversos, como las lluvias torrenciales o las heladas/sequias, ya que permiten realizar una monitorización incluso a escala horaria de los diversas variables agro-meteorológicas para grandes extensiones, resultando además, imprescindibles para la evaluación de daños agrícolas y ambientales, mediante el empleo de satélites de muy alta resolución o drones equipados con sensores (cámaras multiespectrales o sondas batimétricas) para diferentes funcionalidades. El diseño de geoportal propuesto nos permite utilizar servicios interoperables mediante estándares OGC, de gran utilidad para mejorar los sistemas de asesoramiento a las comunidades de regantes y que pueden de mucha utilidad en gran número de organismos de la administración pública, permitiendo mediante un acceso Web, obtener una gran cantidad de información para el seguimiento del uso del agua a escala regional o local.

4.1. Publicación del balance hídrico y el cálculo del K_c en cítricos

4.1.1. Introducción

Según los estudios del Plan Hidrológico de la demarcación del Segura-PHDS, 2015/21, el regadío es la variable territorial que más contribuye a la demanda total de los recursos hídricos en la Cuenca de la Segura, es decir, es el sector más relevante, tanto en términos de ocupación de superficie, como de utilización y consumo de agua. Algunas de las principales dificultades para la estimación de la demanda agraria procede de los diversos factores que la determinan: dificultad de conocer la superficie en riego en una determinada fecha, variabilidad de los factores meteorológicos (temperatura, precipitación y evapotranspiración), tipo de cultivo, características de suelo y del agua, tipo de riego y condiciones de manejo, así como las pérdidas en la redes de distribución y almacenamiento (PHDS, 2.016).

En los últimos 40 años, los cambios de usos del suelo en el Campo de Cartagena han sido muy acelerados, por lo que la estimación de la demanda de agua para usos agrarios necesita de una actualización frecuente, operación muy costosa a partir solo del trabajo de campo. Frente a otros métodos más tradicionales, el uso de las imágenes de satélite y de los Sistemas de Información Geográfica ofrece ventajas como la visión sinóptica del terreno, la información multispectral, el bajo coste de las imágenes, la rapidez del tratamiento digital y una actualización periódica relativamente rápida (Montesinos *et al.*, 2009).

La zona de estudio elegida para este estudio es el Campo de Cartagena, que se caracteriza por una gran cantidad cultivos en regadío (hortalizas y cítricos), cultivos bajo plástico (pimientos), cultivos en secano (almendros y cereales), zonas muy urbanizadas, áreas industriales y parques naturales de gran valor ecológico.

Según el PHDS 2015-21 la demanda de agua es un concepto técnico que, en la actual legislación española, se ha sido definido a efectos administrativos. Así, reglamentariamente, los datos que definen una demanda hídrica son el volumen anual y su distribución estacional, el nivel de garantía, el consumo bruto y el volumen de retorno.

Los conceptos que caracterizan la demanda agraria son, entre otros (CHS, 2.015):

- **Unidad de demanda agraria -UDA:** En sentido general, se puede definir como las zonas de riego que comparten características comunes según el criterio fundamental de constituir una unidad diferenciable de gestión, bien por su origen de recursos, por sus condiciones administrativas, por su tipología de riego, por su similitud hidrológica, o por consideraciones estrictamente territoriales.

- **Superficie bruta -SBruta:** Es la superficie correspondiente al interior de los perímetros de las unidades de demanda agraria. No se corresponde con la superficie neta (superficie demandante de recursos) debido a la existencia de superficie de improductivos y a la rotación de cultivos que se practica en la superficie susceptible de ser regada.

- **Superficie neta -Sneta:** Es la superficie regada en un año hidrológico con carácter máximo. Es, por tanto, la superficie demandante de recursos y la superficie de cálculo de la demanda de regadío. La superficie neta se calcula a partir de la bruta, excluyendo la superficie de **improductivos-CI** y teniendo en cuenta las **rotaciones de cultivo -CR** y las superficies de barbechos, ya que no es posible que la totalidad de la superficie regable de una UDA sea efectivamente regada cada año.

Para la zonificación en los cálculos en los planes de Cuenca se utilizan a las Unidades de Demanda Agrícola (UDA) en el caso del Campo de Cartagena son tres.

Tabla 4-1. Superficies regables por UDAs del Campo de Cartagena, PHDS, 2015/21

DEMANDAS Y DOTACIONES					
UDA	SBruta (ha)	CI	CR	SNeta (ha)	UDAS Campo de Cartagena
57	34.176	0,88	0,72	16.582	Mixto, depuradas y desaladas
58	33.079	0,80	0,60	19.259	Campo de Cartagena redotado con trasvase
70	11.421	0,80	0,74	7.230	Cota 120 Campo de Cartagena
Total	78.676			43.071	

Por otra parte existen unas limitaciones ambientales reguladas por la Ley 1/2018, de 7 de febrero, de medidas urgentes para garantizar la sostenibilidad ambiental en el entorno del Mar Menor, que condicionan la actividad agraria de forma importantes en el Campo de Cartagena, por ello, nos centraremos en las zonas afectadas por la Ley 1/2018 (Figura 4-1), y donde se pretende identificar las

superficies de cultivos permanentes (especialmente los cítricos) en regadío durante los años agrícolas el 2005/06 y 2017/18 utilizando conjuntamente series temporales de imágenes multiespectrales adquiridas por satélites de observación de la tierra y la red agrometeorológica del SIAM (Erena *et al.*, 1999), compuesta por 9 estaciones (Figura 4-4) de las 48 que tiene el IMIDA en la Región de Murcia.

Figura 4-4. Redes de estaciones hidrometeorológicas en el Campo de Cartagena

El ámbito territorial de la ley comprende la cuenca vertiente al Mar Menor perteneciente a la Región de Murcia. En este ámbito se identifican tres zonas (Figura 4-5) distintas (BORM, 2018).

Zona 1: Se corresponde con los territorios ribereños más cercanos a la laguna en los que las prácticas agrarias y otras actividades humanas tiene un impacto más directo e inmediato sobre aquélla, están englobados en la UDA 57 y la UDA 58 del vigente Plan Hidrológico. En la mitad sur de la Laguna por las especiales condiciones que supone la influencia de la sierra minera, las mayores pendientes y la presencia de estériles en las zonas de cabecera, se incluye toda la cuenca vertiente al Mar Menor que queda fuera del perímetro regable de la CRCC, y también se incluyen unas 2000 hectáreas de ese perímetro regable (UDA 58) que suman una superficie aproximada de **16.463 ha**.

Zona 2: El resto de territorios incluidos en la zona Regable con aguas del Tránsito del Campo de Cartagena (UDAs 58 y 75). Computan una superficie aproximada de **42.772 ha**.

Zona 3: Son el resto de los territorios de la cuenca vertiente al Mar Menor, situados al Norte y Oeste, fuera de los perímetros regables de la CRCC. Computan una superficie aproximada de **62.320 ha**.

Figura 4-5. Zonas delimitadas por la ley 1/2018 del Mar Menor

Uno de los elementos necesario para poner a disposición de los regantes la información generada, además de información cartográfica auxiliar, es la puesta en marcha de una plataforma WebSIG accesible vía internet desde el portal (<http://idearm.imida.es/>). La resolución espacial de trabajo es la del pixel de la secuencia temporal de imágenes, 900 m², según el tipo de imagen utilizada en cada fecha. Dentro del portal se puede acceder al gestor de imágenes de satélite Landsat 8 (Figura 4-6) basado en el código WABIS (ESRI, 2017), con el que se pueden consultar las imágenes disponibles sobre el Campo de Cartagena desde el 15/04/2013 hasta el 25/04/2017. https://idearm.imida.es/app_satelite_v2/

Figura 4-6. Visor de imágenes Landsat 8 (25/04/2017)

4.1.2. Material y métodos

e) Metodología cálculo de las áreas regadas

El método utilizado para la determinación de las áreas regadas es mediante el uso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada-NDVI. Esta relación para los sensores OLI de Landsat 8 se traduce en $((\text{Banda 5} - \text{Banda 4}) / (\text{Banda 5} + \text{Banda 4}))$ con el fin de mejorar la discriminación entre suelos y vegetación (Montesinos, 1990) y contrastar más claramente la vegetación activa y usando Sentinel 2B la composición $((\text{Banda 8} - \text{Banda 5}) / (\text{Banda 8} + \text{Banda 5}))$. Previamente al cálculo de las áreas regadas las escenas se corrigen geométricamente mediante una transformación polinómica y ajuste por mínimos cuadrados. La interpolación se realizó mediante el método del vecino más próximo para las destinadas a obtener los NDVI y por convolución cúbica para las composiciones de color natural de las bandas (8,4,3) en RGB.

f) Cálculo del área de cultivos bajo plástico-ICBP.

Para obtener la superficie regada bajo plástico se ha utilizado el índice ICBP (Montesinos, 2003) calculado a partir de las bandas (1,4 y7) del satélite Landsat 7 TM mediante la relación (Ecuación 1), usando el sensor OLI de Landsat 8 serían la bandas (2,5 y 7) y las 2,8,12 si se usa el sensor MSI.

$$ICBP = \frac{Band1 - Band7}{Band1 * Band4} \quad (1)$$

La suma de las áreas regadas al aire libre y la de las superficies bajo plástico, que en esta zona corresponde en un 90 % al cultivo de pimiento, nos permite llegar a la identificación y cuantificación de la superficie regada en cada fecha.

Para una fecha concreta, la superficie total regada aproximada, por ejemplo el 22/07/2014 sería las parcelas con él ($NDVI > 0,3$) que en este caso son 17.858 ha + las 1.994 ha correspondiente a cultivos bajo plástico-ICBP) la suma serían 19.852 ha regadas (Figura 4-7), para saber la superficie regada en un año concreto por el ejemplo el año 2017 habría que repetir el proceso para las 31 fechas disponibles y revisando el parcelario por fotointerpretación manual de las 54.284 parcelas de catastro o los 74.250 recintos de SIGPAC que han podido estar regados en ese año dentro de las 3 zonas definidas por la Ley 1/2018, apoyándose en la clasificación de imágenes orientada a objetos (Recio, 2010), utilizando el análisis multicriterio (Bea, 2011) o mediante la clasificación automática mediante algoritmos de clasificación automática.

Figura 4-7. Superficie regada en cada fecha (22/07/2014)

g) Cálculo de la evapotranspiración ET0

Para el cálculo de la ET0 calculada por el SIAM, que utiliza el método de Penman-Monteith, ya que es el método que mayor precisión presenta en zonas áridas, donde los factores aerodinámicos (humedad y viento) predominan sobre el término energético de radiación. La ecuación fue modificada en 1990 por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977) y se puede expresar como sigue:

$$ET0 = \left[\left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) * (Rn - G) * \left(\frac{1}{\lambda} \right) \right] + \left[\left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \right) \right] * \left[\frac{900}{(T + 273) * U * (ea - ed)} \right] \quad (3)$$

En esta ecuación están representados, Δ la variación de la presión de vapor saturante respecto a la temperatura, la pendiente de la curva presión de vapor y temperatura (kph/°C), γ constante psicométrica (kPa/°C), Rn radiación neta expresada en términos de evaporación (mm), G flujo de calor del suelo (MJ/m²*día), λ calor latente de vaporización (MJ/kg), γ^* constante psicométrica ajustada en (kPa/°C) siendo $\gamma^* = \gamma (1 + 0,33 * U)$, T temperatura (°C), U velocidad del viento (m/s) y $(e_a - e_d)$ déficit de presión de vapor (kPa), los valores ET0 son accesibles y consultables en la dirección <http://siam.imida.es> o en el portal de OpenData regional/nacional.

h) Distribución de cultivos

Para la elaboración del mapa de cultivos se tomara la base la cartografía del SIGPAC (Figura 4-8), actualizada con datos de la Comunidad de Regantes del campo de Cartagena (Figura 4-9) y los datos catastrales de 2017 (Figura 4-10). Para la comprobación de la distribución de cultivos se pueden utilizar las encuestas anuales del Panel Territorial del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación que se muestrea en verano y que suponen unas 3.185 ha en la zona.

Figura 4-8. Usos SIGPAC en el Campo de Cartagena en el año 2017

Utilizando el SIGPAC como base para determinar la superficie regada neta con su coeficiente de improductivos y de rotación, el número de recintos a revisar es de 74.250 recintos (usos agrícolas + pastos) lo que da una suma de la superficie agraria bruta (agrícola + pastos) de 76.532 ha.

Figura 4-9. Usos agrícolas de la CRCC en el año 2017

El número de parcelas inscritas en la CRCC es de 22.434 y la superficie agraria definida como de regadío es de 33.478 ha (Figura 4-9) dentro de las 3 zonas definidas por la Ley 1/2018.

Figura 4-10. Usos agrícolas en regadío en el CC según catastro en el año 2.017

Utilizando el CATASTRO como base para determinar la superficie regada neta con su coeficiente de improductivos y de rotación, El número de parcelas a revisar sería de 54.284 y la superficie agraria de 76.183 ha (52.867 ha regadío + 23.316 ha seco) (Figura 4-10) dentro de las 3 zonas definidas por la Ley 1/2018.

i) Cálculo de la demanda agraria

El cálculo de las necesidades de agua de los cultivos se ha utilizado el módulo web del Servicio de Información Agraria de la Región de Murcia-SIAM (Erena, 1.999) consultable en la dirección <http://siam.imida.es>. En cuanto a los coeficientes de cultivo empleados son los publicados por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977) y adaptados a las condiciones locales de Murcia. Es sistema ya ha sido aplicado en otras zonas de la Región con buenos resultados (Abadía, 2003; Rincón, 2.005)

Para el balance hídrico el método más extendido para la estimación del K_c , es el propuesto por la FAO, pero en el K_c incluyen las características específicas del cultivo sobre la ET, como pueden ser el área foliar, la altura, el porcentaje de suelo cubierto (Villalobos *et al.*, 2002). Por ello la ET calculada, si se utilizan estimaciones del K_c basados en las medidas de NDVI procedente de imágenes de alta frecuencia como las Landsat 8 y Sentinel II, mediante las cuales se consigue una mejor aproximación a las mediciones directas en campo. Esta metodología ya ha sido probada con éxito en muchas especies de herbáceas en el área de Castilla la Mancha (Cuesta *et al.*, 2005; Calera *et al.*, 2016).

El proceso a seguir sería, calcular la evapotranspiración de los cultivos, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$ET_c = ET_0 \cdot k_c \quad (4)$$

Siendo:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo en mm/día

ET_0 = Evapotranspiración de referencia en mm/día

K_c = Coeficiente de cultivo

Figura 4-11. Ejemplo de K_c (limonero Verna) en el Campo de Cartagena (Rincón, 1997)

j) Revisión del K_c y la publicación del balance hídrico en cítricos

La metodología propuesta por (Calera, 2016) divide el K_c en dos coeficientes separados, uno para la transpiración del cultivo (K_{cb} , coeficiente de cultivo basal) y otro para la evaporación del suelo (K_e). El coeficiente de evaporación del suelo, K_e , describe la componente de evaporación de la ET. Cuando la capa superficial del suelo está húmeda, después del riego o lluvia, K_e es máximo. La estimación del K_e requiere el conocimiento del balance de agua en el suelo (Allen *et al.*, 1998). El

coeficiente de cultivo basal es el debido a la transpiración, donde la componente de evaporación del suelo de la ET es mínima debido a que la capa superficial del suelo está seca pero hay disponible una adecuada humedad del suelo en la zona radicular del cultivo. De esta forma ETc quedaría:

$$ETc = ET0 \cdot (Kcb + Ke) \quad (5)$$

Siendo:

ETc= Evapotranspiración del cultivo en mm/día

ET0 = Evapotranspiración de referencia en mm/día

Kcb = Coeficiente de cultivo basal

Ke = Coeficiente de evaporación del suelo

La generación de imágenes denominadas coeficiente basal de cultivo es otro de los productos básicos que se obtienen mediante el procesado de las imágenes de satélite. Para su generación se emplean relaciones lineales con los índices de vegetación obtenidos desde imágenes de satélite, que relacionaba el Kcb con el NDVI (NDVI-Kcb).

Su construcción está basada en la ecuación 6 (Campos *et al.*, 2010).

$$Kcb = 1.44 * NDVI - 0.1 \quad (6)$$

Siendo:

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.

Kcb: Coeficiente basal de cultivo

Una aproximación para calcular la componente Ke, al ser Fc la fracción de cobertura vegetal verde, (1-fc) sería la fracción de suelo desnudo.

$$Ke = (1 - (Fc)) * \beta \quad (7)$$

Siendo:

Fc: fracción de cobertura vegetal verde.

β : Coeficiente empírico que refleja el estado del suelo desnudo = 0,25 (Allen *et al.*, 1998; Allen *et al.*, 2006)

$$Fc = 1,318 * NDVI - 0,1877 \quad (8)$$

Las ecuaciones operacionales serán la ecuación 9 para las fases inicial, desarrollo y media, y la ecuación 10 para la fase final (A. Cuesta *et al.*, 2005).

$$Kc = 1,25 * NDVI + 0,2 \quad (9)$$

$$K_c = 1,5625 * NDVI - 0,05 \quad (10)$$

Esta metodología es la utilizada en el proyecto Spider-Center (Calera *et al.*, 2016) que permite determinar la secuencia temporal de K_{cb} , sobre una parcela concreta y a partir de ahí calcular el K_c en cada fecha de captura de la imagen. Una vez calculada la evapotranspiración del cultivo, se obtienen las necesidades netas a partir de la ecuación del balance de agua en el suelo para una serie de parcelas representativas de la zona de cultivo (Doorenbos y Pruitt, 1977):

$$(N_n + P_e + G_e) - (E_{Tc} + P_{ip} + E_s) = \Delta S \quad (9)$$

Siendo:

N_n = Necesidades netas (mm)

P_e = Precipitación efectiva (mm)

G_e = Ascenso de agua capilar desde la capa freática (mm)

E_{Tc} = Evapotranspiración del cultivo (mm)

P_{ip} = Pérdidas por infiltración profunda (mm)

E_s = Pérdidas por escorrentía superficial (mm)

ΔS = Variación de la reserva de agua en el suelo (mm)

E_s y G_e en riego localizado y zonas de climatología árida o semiárida suelen despreciarse (Doorenbos y Pruitt, 1977). Las pérdidas por infiltración profunda- P_{ip} se considera a efectos de cálculo de las necesidades totales que forma parte de la relación de transpiración (TR), los valores de TR que se adoptan para el diseño y la programación de riego de los sistemas de riego localizado se muestran en la (Tabla 4-2) propuesta por (Keller y Bliesner, 1990).

Tabla 4-2. Relación de transpiración (TR) para diferentes texturas de suelo (Keller, 1990)

Profundidad de raíces (m)	Textura			
	Muy gruesa	Gruesa	Media	Fina
< 0,80	1,10	1,10	1,05	1,00
0,80-1,5	1,10	1,05	1,00	1,00
> 1,5	1,05	1,00	1,00	1,00

Como en el Campo de Cartagena el 90 por ciento de las parcelas están en riego localizado, este es el sistema que utilizaremos como referencia para el cálculo de las dotaciones, y dado que con el riego localizado intentamos mantener un nivel

constante de humedad en la zona radicular, podemos considerar como nulo la variación de humedad entre riegos, por lo que si se hace el balance de agua entre dos riegos queda que ΔS vale cero, quedando las necesidades netas igual al riego neto a aportar. De esta forma, la ecuación (5) se simplifica quedando reducida a la ecuación (6). En ella únicamente entran a formar parte del balance de agua, las necesidades netas de riego ($ET_c - P_e$), la evapotranspiración del cultivo en riego localizado y la precipitación efectiva (Figura 4-12).

$$N_n = ET_c - P_e \quad (10)$$

Figura 4-12. Esquema balance de agua en una parcela

Para el cálculo de la precipitación efectiva se ha ponderado la precipitación total por un factor corrector con un valor inicial de 0,8 (Smith, 1993), pero este valor ha de ajustarse por el tipo de riego y la irregularidad de las precipitaciones, en

zonas semiáridas con suelos y con aguas salinas se considera que la $Pe=0$, ya que si no se riega cuando llueve, se produce una inversión de sales de la pared del bulbo que produciría daños en las plantaciones. Los datos de las necesidades de riego de la parcela son consultables en la dirección <http://siam.imida.es>.

Para este tipo de riego la Pe se puede considerar igual a:

$$Pe = 0,8 \cdot \text{Precipitación total} \quad (11)$$

4.1.3. Resultados

Según el PHDS 2015/21, hay más de 78.000 ha de superficie agrícola bruta en el Campo de Cartagena, muchas de los cuales no están al aire libre, sino que están afectados por cubiertas de algún tipo: invernaderos/micro túneles que usan plásticos, mantas térmicas o estructuras con mallas que dificultan la determinación automática de estas superficies en riego. Una vez aplicados el coeficiente de improductivo y el coeficiente de rotación asociado, la superficie neta de riego estaría en 43.071 ha referidos a 2012, pero por el dinamismo de la zona sería necesaria una actualización a año 2017 utilizando las 3 fuentes de datos disponibles y las 31 imágenes de satélite disponibles en esos años (Tabla 4-13).

Tabla 4-3. Comparativa superficie agrícola zonas ley 1/2018 en 2017

	Nº de Parcelas	Sigpac-L1/2018	Catastro - L1/2018	CRCC L1/2018	PHDS Zona XI
Total SAU (Revisado orto)	74.250	76.531	79.230		78.676
Total parcelas SAU-S (ha)		29.700	23.316		
Total parcelas SAU-R (ha) >10 %	34.186	46.830 ***	55.914 **	38.923 +	43.071*
Fecha vectorial		01/01/2017	15/05/2017	15/04/2017	2013/2014
Fecha orto	21/03/2017	21/03/2017	21/03/2017	21/03/2017	2013/2014
Cítricos (ha) / (Leñosos)	6.171	11.267	11.133	13.033	12.773
Uva de mesa + Viñedo (ha)	94	133	123	21	
Frutales (ha)	3.590	7.305	4.352	674	
Olivo (ha)	2.832	1.246	559	120	
Invernaderos (ha)-ICBP	3.200	1.994	1.706	3.258	2.398
Hortícolas (TA+TH) en (ha)	38.413	45.518	34.972	21.817	29.653*

+ Superficie bruta en riego a CRCC solo en la zona 2 de la Ley 1/2018, datos del 15 de abril de 2017

* Superficie neta regada PHDS 2015/21 referidos al año hidrológico 2012

** Superficie bruta de catastro de rustica en regadío

*** Superficie bruta con coeficiente de riego > 10 %

Si nos centramos en la superficie de cítricos (*Citrus*) en el Campo de Cartagena (2007-2017), los primeros resultados de la integración de información que

se está realizando para el mapa de cultivos de la Región de Murcia. La información procede de todas las direcciones generales de la Consejería de Agricultura y Agua, así como del trabajo de campo realizado durante la primavera y el verano del 2.006 y el verano de 2017. La superficie de cítricos ha aumentado en los últimos años y actualmente supera las 13.800 ha, destacando el naranjo, limonero, mandarino y pomelo (Figura 4-13).

- **Limonero** (*Citrus limon* (L.) Burm. f): Dentro del limón otoño-invierno, tipo Fino, las selecciones más conocidas y plantadas son “Fino 49” y “Fino 95”. El Fino 49 sigue siendo la selección más plantada, mientras que el Fino 95 sólo se utiliza en las zonas más tempranas donde se busca precocidad, ya que la calidad del limón es algo inferior a la del Fino 49. El patrón más utilizado es el *Citrus macrophylla*. Para el limón de primavera-verano tipo Verna se han obtenido selecciones como “Verna 51” y “Verna 62”, siendo también el patrón más utilizado en las nuevas plantaciones el *Citrus macrophylla*. Las plantaciones modernas tienen una densidad media de plantación de 250 árboles por ha y las dotaciones de 5.500-7.500 m³/ha para el tipo Fino y de 5.000 m³/ha para el tipo Verna.

- **Naranjo** (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck): Dentro del grupo Navel, los mayores incrementos han correspondido a “Lanelate”. Estas variedades se adaptan bien a las condiciones agroclimáticas de Murcia, especialmente en las zonas regables del Campo de Cartagena, donde se consiguen buenas calidades. De variedades blancas selectas, la “Salustiana” mantiene una cierta superficie, mientras que “Valencia Late” ha experimentado un fuerte incremento, pasando de 1.118 a 2.192 ha, debido a la buena calidad obtenida en las nuevas plantaciones de las zonas regables del Trasvase Tajo-Segura, tanto en calibres como en su conservación frigorífica. Las plantaciones modernas tienen una densidad media de plantación de 400 árboles por ha y las dotaciones de 6.000-8.000 m³/ha

- **Clementinos, Mandarinos e Híbridos** (*Citrus reticulata* (L.) Blanco) Este grupo casi ha duplicado su superficie en la última década. La primera novedad fue la variedad “Marisol”, con excelentes producciones y precocidad, pero últimamente está en franca regresión. Algunas variedades como “Nova” y “Fortune” presentan problemas de rajado, manchado y/o conservación de fruto, por

lo que su superficie permanece estable. Dentro del grupo de las clementinas, Orogrande, es la variedad más plantada, por ser más precoz que Clemenules. Floración más agrupada, y por su buena adaptación a las condiciones edafoclimáticas de la zona. En el grupo de híbridos destaca la “Nadorcott” y “Afourer”. Las plantaciones modernas tienen una densidad media de plantación de 400-550 árboles por Ha y las dotaciones de 6.000-7.500 m³/ha.

- **Pomelo** (*Citrus paradisi* Macf): La superficie dedicada al pomelo va incrementándose muy poco a poco, aunque ha habido un desplazamiento de variedades blancas y rosadas hacia variedades rojas, como “Star Ruby” y “Río Red”. Las plantaciones modernas tienen una densidad media de plantación de 300 árboles por Ha y las dotaciones de 6.000-7.500 m³/ha.

Figura 4-13. Distribución de los cítricos en el Campo de Cartagena

La superficie de cítricos estimada es de 13.838 ha, de los cuales 7.965 ha se han codificado a nivel de cultivo y 6.898 ha a nivel de variedad. Los componentes del balance hídrico a nivel de parcela para cada cultivo y estación de referencia pueden descargarse de la página web del SIAM (<http://siam.imida.es/>) o del SIAR nacional (<http://eportal.mapama.gob.es/websiar/Inicio.aspx>) ya que las redes están

conectadas gracias a la interoperabilidad de los sistemas regional y nacional de asesoramiento a los regantes (Figura 4-11).

Tabla 4-4. Resultados del inventario de cítricos en el Campo de Cartagena (Erena, 2007)

Especie	Superficies Ha)	% Cultivos	Estimación (Ha)
LIMON	2.432	30,53	4.225
NARANJA	4.653	58,41	8.083
MANDARINA	739	9,28	1.284
POMELO	142	1,78	246
COD CULTIVOS	7.965	100,00	13.838
COD CITRICOS	13.838		
COD VARIEDADES	6.898

Figura 4-14. Ejemplo de las necesidades netas mensuales $Ne = ETc - Pe$ (mm) en una parcela de limonero utilizando la estación TP42 de la red SLAM en Torrepacheco.

Los variables agrológicas registradas por el sistema son utilizadas principalmente para asesoramiento agrícola (Erena *et al.*, 1999) pero los valores registrados y los calculados por el portal son muy utilizados para otros tipos de aplicaciones en el Campo de Cartagena, estudio de hidrología superficial y estimación de la entrada de nutrientes en el Mar Menor (García-Pintado *et al.*, 2009), aplicaciones de modelado de acuíferos (Contreras *et al.*, 2017) o la estimación de la erosión y el arrastre de sedimentos por lluvias torrenciales en la cuenca vertiente hacia el Mar Menor (Conesa-García *et al.*, 2018).

Los datos históricos de los NDVI de cada parcela pueden consultarse en el portal para adecuar el Kc para cada cultivo y parcela en cada zona (Figura 4-15).

Figura 4-15. Evolución de los NDVI en una parcela.

El procedimiento propuesto para la actualización de la superficie regable neta en las zonas definidas por la Ley 1/2018 se esquematiza en la (Figura 4-16).

Figura 4-16. Metodología para actualizar la superficie regable en un periodo.

4.2. El cambio climático en los cítricos

4.2.1. Introducción

Ya hay muchas evidencias de los problemas ocasionados por el cambio climático, especialmente por el aumento de las temperaturas medias anuales y por la disminución de precipitaciones (Figura 4-17) que se está registrando en los últimos 20 años en la Región de Murcia y una mayor irregularidad en su distribución (Figura 4-18). En trabajos anteriores ya se estudiaron series de precipitaciones en la ciudad de Murcia de más de 100 años (1863-1995) y aplicando el estadístico U(t) del test de Mann-Kendall, dio resultado significativo al 5% (Riesgo de primer orden en la tendencia a la sequía) en cuanto a la tendencia de descenso medio en el periodo de estudio que se cifró en 0.79 mm/año (Erena & Rincón, 1996).

Otros problemas importantes en las especies frutales, y en especial para los cítricos son el incremento en sus necesidades hídricas y en los problemas de calidad por estos cambios (Porras *et al.*, 1999).

Figura 4-17. Precipitación media anual en las zonas agrícolas de Murcia (mm/año)

Algunos de los efectos que se están viendo son el aumento de las necesidades hídricas de los cultivos por una mayor evapotranspiración (Figura 4-19) de los mismos, el retraso en la acumulaciones frío en los frutales de hueso, el avance de las

fechas de floración, problemas de cuajado de frutos, la aparición nuevas plagas y enfermedades procedentes de zonas más tropicales o los problemas de polinización.

Figura 4-18. Distribución mensual de las precipitaciones del 2017 respecto a la media (l/m²)

Figura 4-19. Evapotranspiración anual de referencia según el método de Penman-Monteith (mm)

Centrándonos solo en el caso de los cítricos y en especial del limonero, su cambio de color a finales de verano es paulatino a medida que disminuyen las temperaturas nocturnas (Manera et al 2012 a, b). Utilizando la base de datos del

Departamento de Citricultura del IMIDA sobre la evolución del color, se puede observar, que de las coordenadas colorimétricas la **a**, es la que mejor se correlaciona con las temperaturas. Hay estudios (Manera *et al.*, 2012b) que correlacionan la temperatura del aire y la pérdida del color verde de la corteza de los limones y la aparición de su color amarillo en las variedades de limón Eureka, Lisbon y Fino 49. Así se ha determinado que el proceso del cambio de color del fruto en el árbol se inicia cuando la media de las temperaturas mínimas baja de los 15 °C o cuando dos días, que no necesariamente deben ser consecutivos, tienen una temperatura mínima de 10,5 °C; por otra parte, el color verde de los frutos desaparece cuando las temperaturas registradas alcanzan los 6 °C (Manera *et al.*, 2012b).

La fruta que se vende fresca requiere un desverdizado artificial en cámaras especiales, ya que su madurez interna no siempre corresponde al color externo. Legalmente, los limones solo pueden venderse con un mínimo de 20% de zumo (Comunidad Europea, 2001a, b) y la recolección comienza cuando la fruta alcanza un calibre de 58 mm (García-Lidón *et al.*, 2003), momento en el que se encuentran todavía verdes en el árbol, aunque los consumidores quieren los frutos de color amarillo. Si los productores esperan que este color se desarrolle en los árboles, pueden ser necesarios hasta 2 meses antes de que las temperaturas bajen lo suficiente (Brotons *et al.*, 2013; Manera *et al.*, 2012a, b), lo que puede implicar una caída sustancial en las ingresos de las empresas agrarias. Por otra parte es ampliamente conocido el efecto del cambio climático en la agricultura (Rosenzweig & Hillel, 1998), estos autores analizan muchos de los posibles efectos y proponen algunas prácticas agronómicas que pueden ser realizadas para prevenir o paliar los efectos adversos en la capacidad de alimentar a la población mundial.

El método que mayormente se utiliza para realizar predicciones climáticas es el del impacto del CO₂ en los cultivos, y consiste en la utilización de modelos informáticos que intentan recrear simulaciones de posibles estados futuros de la atmósfera. Estos modelos tienen como finalidad la previsión de futuras temperaturas, precipitaciones, humedad, tasas de radiación solar, velocidad del viento y toda una serie de parámetros que pueden afectar a los cultivos (Gordo & Sanz, 2010). Los modelos tienen una validez limitada tanto desde el punto de vista

temporal como espacial y dependen enormemente de qué suposición de emisión de CO₂ se adopte, lo cual se relaciona con las previsiones de crecimiento (económico, social e industrial) que se prevean para una determinada región. Estas previsiones son los denominados escenarios climáticos de emisión. En Tubiello *et al.*, (2002a) se realiza una buena revisión de previsiones de varios modelos al respecto de los efectos del CO₂ sobre los cultivos tanto de forma directa, es decir, por la propia variación de la tasa fotosintética producida por el CO₂, como de forma indirecta al ser éste la causa de variación de diferentes parámetros del clima mencionados anteriormente. Algunos de estos parámetros, como la temperatura, pueden afectar positivamente a los cultivos debidos, por ejemplo, al descenso de heladas pero también pueden afectar negativamente al disminuir las lluvias. Es decir, la utilización de distintos modelos climáticos se combina con diferentes modelos de crecimiento, desarrollo y maduración en función del cultivo. Así, (Tubiello *et al.*, 2002b) estudian dos tipos de modelos climáticos aplicados a maíz, patata y cítricos. Para este último, se utiliza el modelo de cultivo de cítricos como la naranja (Navel y Valencia) de (Mechlia & Carrol, 1989).

Actualmente el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha publicado el 5º informe y consejos sobre políticas adecuadas (Stocker, T. F *et al.*, 2013), con consecuencias profundas sobre la economía y los patrones de vida. Ya en el capítulo 8 del 4º informe del IPCC también se recogió una evaluación muy completa de la capacidad de los modelos climáticos globales para predecir futuros cambios climáticos.

El Coupled Model Intercomparison Project Phase 5- CIMP5, que aúna los esfuerzos de 25 centros de investigación en modelización climática, ha definido recientemente una serie de 4 escenarios, los Representative Concentration Pathways-RCP, que definen cuáles pueden ser las condiciones climáticas durante el siglo XXI en función de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, el aumento o disminución de las mismas, la dinámica del clima y determinadas condiciones demográficas, económicas y sociales. Los 4 RCPs (RCP2.6, RCP4.5, RCP6, y RCP8.5) se nombran en función de la elevación del

forzamiento radiativo que predicen para 2100 respecto a la época preindustrial en 1765 (+2.6, +4.5, +6.0, y +8.5 W/m², respectivamente).

El RCP8.5 fue desarrollado utilizando el modelo MESSAGE y el Integrated Assessment Framework by the International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria. Este RCP se caracteriza por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del tiempo, representativo de los escenarios en la literatura que conducen a niveles altos de concentración de gases de efecto invernadero. RCP6.0 fue desarrollado por el equipo de modelado AIM en el National Institute for Environmental Studies (NIES) en Japón. Es un escenario de estabilización en el que el forzamiento radiativo total se estabiliza poco después de 2100, sin sobrepasarse, mediante la aplicación de una gama de tecnologías y estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Masui et al., 2011). RCP4.5 fue desarrollado por el equipo de modelado GCAM Pacific Northwest National Laboratory's Joint Global Change Research Institute (JGCRI) en los Estados Unidos. Es un escenario de estabilización en el que el forzamiento radiativo total se estabiliza poco después de 2100, sin rebasar el nivel de objetivo de forzamiento radiativo a largo plazo. RCP2.6 fue desarrollado por el equipo de modelado de IMAGE de PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. La ruta de emisión es representativa de los escenarios en la literatura que conducen a niveles muy bajos de concentración de gases de efecto invernadero. Es un escenario de "peak-and-decline"; su nivel de forzamiento radiativo alcanza primero un valor de alrededor de 3.1 W/m² para mediados de siglo, y vuelve a 2.6 W/m² para el 2100. Para alcanzar esos niveles de forzamiento radiativo, las emisiones de gases de efecto invernadero (e indirectamente las emisiones de contaminantes atmosféricos) se deberían reducir sustancialmente, con el tiempo.

Los RCPs son consistentes con un rango de concentración de gases de efecto invernadero (equivalente en CO₂) previstos para 2100. (RCP8.5 con 1370 ppm, RCP6.0 con 850 ppm, RCP4.5 con 650 ppm y RCP2.6 con 490 ppm) (Moss *et al.*, 2010.) Estos escenarios de RCP para emisión de gases de efecto invernadero fueron adoptados por el IPCC en su Fifth Assessment Report (AR5) en 2013 (Stocker *et al.*, 2013). Existen algunos trabajos que tratan sobre el efecto climático en cítricos y,

en particular, en el limón. Algunos de estos estudios se centran en la dependencia de la época de floración con la temperatura (Fitchett *et al.*, 2014) y en el stress hídrico producido por el cambio climático, donde se ha estudiado que para la variedad de limón Fino la floración es más intensa después de un periodo de sequía (Ávila *et al.*, 2012).

Dado que el cambio climático, implica un aumento de las temperaturas a corto y largo plazo. En este trabajo se utilizan modelos climáticos para predecir la influencia del aumento de la temperatura durante el otoño y poder determinar cómo influye el cambio climático en el desverdizado del limón.

4.2.2. Materiales y Métodos

Los datos utilizados en este trabajo corresponden a la colección del Departamento de Citricultura y las variedades utilizadas han sido “Fino 49”, “Eureka Frost” y “Lisbon Frost”, variedades de otoño –invierno utilizando *Citrus macrophylla* como portainjerto. La plantación de limonero se realizó en abril de 1983 en una parcela del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), de La Alberca (Murcia).

El marco plantación es de 6 x 6 m, el sistema de riego es por goteo con 5 goteros por árbol con un caudal de 4 l/h. La temperatura media es de 18.7 °C y la pluviometría media de 321 mm/año, el suelo es permeable y calizo (17.1 % carbonato cálcico total). Todos los árboles están en buen estado sanitario y en plena producción.

La medición del color externo se realizó con iluminante C que representa la luz del día (MacDougall, 2002), ángulo de observador estándar CIE-2° con un colorímetro Minolta CR-300 de reflexión, realizando tres lecturas en la corteza de la zona ecuatorial de cada uno de los frutos. En cada lectura, las coordenadas colorimétricas **L**, **a** y **b** fueron medidas en el espacio de color HunterLab (Hunter, 1967). La coordenada colorimétrica “**a**” se corresponde con el eje verde-rojo, donde los valores negativos se relacionan con el verde y los valores positivos con el naranja y rojo (-60 verde, +60 rojo), (Hutchings, 1994; MacDougall, 2002).

Al comienzo de cada ensayo se tomaron al azar 10 frutos por árbol. Se etiquetaron 5 en la cara norte y 5 en la cara sur, del interior de cada uno de los

cuatro árboles del ensayo de cada una de las tres variedades. Se midió ecuatorialmente el color de los frutos con el colorímetro, tomando tres medidas por fruto y haciendo la media de cada uno de ellos, durante el periodo que va de septiembre hasta febrero, durante 6 años, con una frecuencia de entre siete y 15 días, obteniéndose aproximadamente 13 medidas por campaña. La toma de datos se realizó durante las campañas de 2008 al 2013.

Las temperaturas usadas en el estudio fueron tomadas en la propia finca, donde se dispone de una estación meteorológica (MU62, La Alberca, Murcia) dentro de la red agrometeorológica que tiene el IMIDA en las zonas de cultivo más importantes de la Región de Murcia. Las temperaturas mínimas se refieren a la mínima diaria y la media diaria que fue calculada con la temperatura medida cada hora (Rincón *et al.*, 1999).

Para nuestro trabajo utilizaremos datos que el AEMET (Agencia Española de Meteorología) pone a disposición del público en su web (AEMET, 2018). Los datos del AEMET utilizados para las comparaciones han sido obtenidos del informe AR5 del IPCC. En nuestro trabajo, se han utilizado los modelos basados en regionalización estadística por el método de análogos sinópticos. En concreto, para la región de Murcia existen distintas predicciones dadas por varios modelos de regionalización los cuales 14 modelos utilizan el RCP8.5, 5 modelos utilizan el RCP6.0 y 13 modelos utilizan el RCP4.5.

De acuerdo con los modelos de previsión consultados (AEMET, 2016), se espera que en los próximos años se produzca un incremento de temperaturas. Las previsiones de incremento de temperaturas para la estación de otoño, regionalizadas para la Región de Murcia se resumen en la (Figura 4-20).

Figura 4-20. Previsiones del incremento de temperaturas mínimas. (AEMET, 2016)

Las predicciones de temperatura que dan los diferentes modelos son mucho más sensibles al RCP utilizado que a las diferencias en las características de cada modelo. Por lo tanto, se utilizaron tres modelos, cada uno en un RCP diferente. De los modelos en RCP8.5, el elegido arroja predicciones más desfavorables (mayor aumento de temperatura). Este es el modelo HadGEM2-CC_RCP8.5 desarrollado por Met Office Hadley Center for Climate Science and Services (Reino Unido) (Collins *et al.*, 2011). También se ha utilizado un modelo que ofrece predicciones más favorables (RCP4.5) (Inmcm4_RCP4.5) de la Academia Rusa de Ciencias (Volodin *et al.*, 2010), que combina modelos atmosféricos y oceánicos, así como cálculos interactivos del ciclo de carbono y metano. El último modelo proporciona algunas predicciones intermedias con RCP6.0. Este es el modelo BCC_CSM1.1.m_RCP6.0 del Modelo del Sistema Climático del Centro del Clima de Beijing versión 1.1 (BCC_CSM1.1), con resolución moderada (Wu, 2012).

Con base en el cambio de color de los árboles para los limones en el otoño en la región de Murcia, se han utilizado los datos de la red del Servicio de Información Agrario de Murcia-SIAM en los años 2008 a 2013, se realizó una proyección climática hasta el año 2100, para estimar cómo evolucionará el

desverdizado de frutos de limón durante este período, considerando el los modelos climáticos antes mencionados y revelan su impacto en el cultivo de limones en la región de levante (sudeste) de España.

La relación entre la coordenada *a* y las temperaturas se ajustará de una mejor manera con una función sigmoïdal como esta,

$$a = \frac{-b}{1 + \exp\left(-\frac{(t-c)}{d}\right)} \quad (1)$$

Donde *a* es el valor de la coordenada "*a*", *t* es la temperatura mínima promedio durante los 14 días anteriores a la medición del color de la fruta en grados centígrados. Los parámetros a estimar son *b*, *c* y *d*: *b* se refiere al alto de la función, *c* está relacionado con el rango donde la función tiene la pendiente máxima y *d* se refiere a la pendiente de la función.

4.2.3. Resultados

La relación entre temperaturas mínimas y la coordenada *a* en el desverdizado de la corteza del limón, como se demostró en trabajos anteriores (Manera *et al.*, 2012a), el aumento de la coordenada **a** indica el comienzo del desverdizado (disminución de valores negativos) y esto ocurre cuando la temperatura mínima diaria cae por debajo de 10.5 ° C, durante al menos dos días. Han *et al.*, 2012 estudiaron el efecto del calentamiento global sobre las características del fruto del fruto de pera 'Niiitaka' (*Pyrus pyrifolia* Nakai). Encontraron que, con respecto al color de la piel de la fruta, los valores de Hunter **L** y **b** no difirieron significativamente entre los tratamientos, mientras que el valor de Hunter **a** * fue mayor para los tratamientos que implican una temperatura y concentración de CO₂ más altas. Los datos utilizados concuerdan con este estudio ya que la figura 2 muestra la evolución de ambas variables ay las temperaturas en 2008, siendo su comportamiento muy similar en otros años. El valor de la coordenada *a* es el promedio de los tres cultivares para cada fecha (Figura 4-21).

Figura 4-21. Evolución de la coordenada colorimétrica *a* en la corteza del limón, de las temperaturas mínimas diarias y de las temperaturas mínimas promedio de los 14 días anteriores a la toma de datos.

A la vista de la (Figura 4-22), resulta evidente la relación existente entre descenso de temperaturas y crecimiento de la coordenada *a*, es decir el desverdizado de la corteza del limón. El color verde inicial de la corteza del limón se corresponde con valores de la coordenada *a* de -15 y progresivamente va perdiendo el color verde (valores negativos) a lo largo del otoño apareciendo el color amarillo ya existente, pero enmascarado por el verde de las clorofilas. Durante el otoño, irá perdiendo progresivamente el color verde y apareciendo el amarillo, debido al proceso de maduración del fruto.

Otros estudios de cambio climático como el de (Sugiura *et al.*, 2013) como resultado del calentamiento global reciente han comprobado en las variedades. ‘Fuji’ y ‘Tsugaru’ en manzanas, modificaciones en la textura, sabor y color de la piel, todos estos cambios pueden ser consecuencia de florecimiento más temprano y temperaturas más altas durante el periodo de maduración. Los resultados empíricos sobre 60 cultivos, incluidos los cítricos limón y pomelo, en Taiwán muestran que, en general, las dos variables climáticas (temperatura y precipitación) tienen un impacto significativo en los rendimientos de los cultivos. El análisis se efectúa comparando

con los valores medios de las temperaturas de 14 días anteriores a la medida del color de los frutos, ya que presentan menos variabilidad que los valores diarios, con la variación de la coordenada a . Como demuestra la correlación existente entre a y t_{min_14} , la relación entre ambas variables es la que aparece en la siguiente ecuación, que representa la curva de la (Figura 4-20).

$$a = \frac{-15.23}{1 + \exp\left(-\frac{(t-9.75)}{1.20}\right)} \quad (2)$$

Donde a es el valor de la coordenada a y t la temperatura mínima promedio de 14 días. Como puede observarse, el incremento de la coordenada a (desverdizado) puede explicarse en un 93,53% a partir de la variación de la temperatura.

Figura 4-22. Relación de la coordenada colorimétrica a con las temperaturas mínimas promedio de los 14 días anteriores en la campaña 2008-2013

Pasamos a estudiar la variación en el tiempo del inicio del desverdizado con arreglo a los modelos climáticos mencionados anteriormente. Se han estimado las temperaturas mínimas diarias para la campaña 2009/100 según los modelos Inmcm4 RCP4.5, bcc-csm1-1-m RCP6.0 y HadGEM2-CC RCP8.5 y se comparan con las temperaturas de la última campaña 2014/2015 para la estación de la Alberca

en la Región de Murcia (SIAM, 2016). En todos los casos se ha obtenido la media móvil de 14 días. A modo de ejemplo de lo que se pretende hacer, en la (Figura 4-23) se muestra temperaturas de la campaña 2014_15 y la previsión para la campaña 2099/2100 de las temperaturas mínimas diarias y temperaturas promedio de 14 días.

Figura 4-23. Temperaturas campaña 2014_15 y previsión para la campaña 2099/100 de las temperaturas mínimas diarias y temperaturas promedio de 14 días para los diferentes modelos

Como puede observarse en la Figura 4-19, donde la línea en trazo negro representa 2014-15, los tres modelos climáticos, plantean subidas de temperaturas con respecto a la curva de la campaña 2014-15, por lo que se retrasaría el inicio del proceso de desverdizado, ya que tardaría unos días más en alcanzarse la temperatura promedio de 14 días de 10,5°C. En particular, con el modelo HadGEM2-CC_RCP8.5 los 10,5°C no se alcanzan hasta bien avanzado la campaña.

Figura 4-24. Evolución en el tiempo del inicio del proceso de desverdización para los modelos (Inmcm4_RCP4.5, BCCCSM1-1-m RCP6.0 y HadGEM2-CCRCP8.5) y el promedio de 10 años para cada modelo.

En la figura 4-17 se puede seguir la evolución de la fecha de inicio del proceso de desverdizado (T^a 10,5°C) con los tres modelos de referencia. Las curvas representan, los promedios de 10 años en que alcanzan las temperaturas de 10,5°C, para cada modelo climático estudiado.

Como puede observarse, mientras que para el modelo inmcm4_RC4.5 el proceso de inicio de desverdizado prácticamente no sufre variación (para los próximos años comenzaría en torno a mediados de octubre y para finales de siglo lo haría a finales de mes), en el caso del modelo climático de HadGEM2-CCRCP8.5, con promedio de 10 años, y a finales de siglo, el inicio del desverdizado se retrasaría hasta el mes de diciembre. Inmcm4 RC4.5

En la (Figura 4-24) se estudia la evolución de la coordenada a durante el otoño invierno, según los distintos modelos climáticos. Esta figura se realiza partiendo de las siguientes hipótesis:

La coordenada a es función de la coordenada a del día anterior, $a(-1)$ y de la temperatura de dicho día.

$$a = 3.02 + 0.70 \cdot a(-1) - 0.52 \cdot T_{\min}(14) \quad (1)$$

Donde a es el valor de la coordenada a un día antes y T la temperatura promedio de las temperaturas mínimas de los 14 días anteriores previstos según los diferentes modelos (en todos los casos se ha tomado medias de 5 años). Dado que las mediciones no se realizaron diariamente, se interpoló linealmente entre dos medidas consecutivas a fin de obtener el valor de dicha coordenada el día antes de cada medición.

La (Figura 4-25) pone de manifiesto el comportamiento del desverdizado en la zona de Murcia con los modelos climáticos estudiados, indicándonos la evolución del desverdizado según los modelos. Con el modelo Inmcm4_ RCP 4.5 que da las predicciones más favorables, se puede observar en la (Figura 4-25) que el inicio del proceso de desverdización no se retrasa significativamente del 1 de noviembre a lo largo de los años, pero el color final de la corteza del limón con valores máximos de la coordenada a entre -4 y -6 muestra un color verdoso, no totalmente amarillo como sería en el año 2008.

Figura 4-25. Estimación de la evolución durante el otoño e invierno de la coordenada a según los modelos (Inmcm4_RC4.5, BCCCSM-1-m RCP6.0 y HadGEM2-CCRCP8.5) con medias de 10 años hacia atrás, de los distintos años

Con el modelo BCCCSM-1-m RCP6.0 que da predicciones un poco más desfavorables que el modelo anterior, se observa perfectamente en la (Figura 4-26), que el inicio del desverdizado se retrasa unas semanas con respecto al modelo anterior y el desverdizado es aún menor teniendo en el 2099 valores de la coordenada a de -8 que nos indican un color aun verdoso en la corteza del limón.

Figura 4-26. Estimation of the evolution during the autumn and winter of the coordinate a according to the models Inmcm4_RC4.5, BCCSM-1-m RCP6.0 and HadGEM2-CCRCP8.5

Con el modelo HadGEM2-CCRCP8.5 que da predicciones más desfavorables (mayor elevación de temperatura), se puede observar en la (Figura 4-27) que en los años del 2020 al 2050 el comportamiento del desverdizado es parecido al modelo anterior, pero en el año 2075 y 2099, el inicio del desverdizado se retrasa hasta la segunda semana de diciembre, la corteza del limón alcanza valores máximos de la coordenada a de alrededor de -9 lo cual nos indica que en diciembre los frutos permanecen verdes en el árbol.

Figura 4-27. Estimación de la evolución durante el otoño y el invierno de la coordenada a de acuerdo con los modelos (Inmcm4_RC4.5, BCCSM-1-m RCP6.0 y HadGEM2-CCRCP8.5) y utilizando los valores medios del procedimiento de 10 años para diferentes años (2020/21, 2030/31, 2050/51, 2075/76 y 2099/100)

Según se deduce de la (Figura 4-25; 4-26 y 4-27), para los 3 modelos estudiados, paulatinamente se va produciendo un retraso en el inicio del proceso de desverdizado. En cada año habría una menor pérdida del color verde, siendo en los últimos años de la estimación con el modelo más desfavorable, cuando la fruta no llega a tener color amarillo (coordenada a en torno a -10 siguen siendo un color verde). Los frutos se cogerían en noviembre verdes, sin haber comenzado el proceso de desverdizado, con lo que habría que llevarlos a cámara de desverdizado. Los frutos se seguirían recolectando cuando los frutos tuvieran en árbol un calibre de 56 mm de diámetro y un porcentaje de zumo superior al 20% para que fueran

óptimamente comerciales. Los gastos de desverdizado a lo largo de la campaña aumentarían ya que durante el otoño habría que mantener los frutos más días en cámara, los gastos de recolección se mantendrían dado que la recolección habría que realizarla con sumo cuidado para evitar golpes a los frutos en la recolección ya que tras el proceso de cámara, aparecerían manchas en la parte del fruto que hubieran recibido un golpe. Los gastos de recolección y cámara aumentarían. Convendría buscar variedades que desverdicen antes o que desverdicen bien en cámara. Por otra parte, el cambio climático en zonas que no son frías (libres de heladas), permitiría ampliar la zona de cultivo de cítricos existente.

4.3. Seguimiento de la calidad de aguas del Mar Menor

4.3.1. Introducción

El Mar Menor es una laguna costera salina ubicada en el extremo oriental de la Región de Murcia, entre los paralelos 37°38' y 37°50' de latitud Norte y los meridianos 0°43' y 0°52' de longitud Oeste. Actualmente su lámina de agua ocupa 135 Km² y su volumen es de 650 hm³, la profundidad máxima es de unos 7 m con una profundidad media entre 4-5m. Esta laguna de forma triangular está separada del Mar Mediterráneo por una barra arenosa de 20 Km de largo y de 100 a 900 m de ancho, que recibe el nombre de "La Manga del Mar Menor". Este cordón de arena presenta cuatro discontinuidades o canales (golas) que actúan como sistemas de comunicación entre ambos mares. El ensanchamiento de la gola de El Estacio para formar un canal navegable ha tenido importantes repercusiones en las características de la laguna, la distribución de los sedimentos y en la composición y distribución de su biota (Gilabert, 1992) y (Mas, 1994). Con anterioridad a la apertura del canal del El Estacio (1973) se registraban salinidades de hasta un 52 (PSU) frente a los 45 (PSU), que se están registrando en agosto de 2018, sobre todo después del episodio de lluvias torrenciales del 15 al 19-dic-2016, que provocó una baja del 10 % de la salinidad media del Mar Menor en una semana.

Pero estas modificaciones no han sido consecuencia exclusiva de la mayor comunicación entre los dos mares adyacentes. También hay que destacar el importante desarrollo de la agricultura intensiva en la extensa llanura del campo de Cartagena cuyas aguas drenan hacia la laguna, y del alto grado de urbanización en su costa. La llegada de las aguas del trasvase Tajo-Segura en 1979 y el acceso generalizado a los recursos subterráneos en las últimas décadas ha supuesto una profunda transformación de la superficie de cultivo del Campo de Cartagena. La intensificación del regadío ha supuesto un incremento del drenaje superficial y sub-superficial, que, junto con el reciente vertido de salmueras procedentes de la desalación de aguas subterráneas para disponer de más agua para riego, y con los vertidos urbanos, fundamentalmente en la época estival, ha supuesto la contaminación por nutrientes de los acuíferos y el aumento de los niveles de

nutrientes en la laguna (García-Pintado *et al.*, 2007). Esto ha alterado el carácter oligotrófico que siempre había tenido la laguna, de aguas claras con bajo contenido en nutrientes y escasa productividad primaria.

El empleo de imágenes de satélite permite obtener directamente información sobre los indicadores de eutrofización (Ferreira *et al.*, 2010) siendo los más utilizados el contenido en clorofila *a*, la turbidez, la temperatura superficie del agua-SST, la salinidad superficial del mar-SSS, la radiación fotosintéticamente activa-PAR el carbono orgánico particulado-POC y las sustancias coloreadas CDOM (Gómez, 2015).

El objetivo de este trabajo es evaluar el uso de los satélites Landsat y SPOT para el seguimiento del estado trófico a partir de las variables de concentración de clorofila-*a* y turbidez del Mar Menor. Los primeros estudios de la calidad de agua mediante teledetección en España se remontan a la década de los 80, en la cual se estudió por primera vez la Albufera de Valencia mediante imágenes del satélite Landsat 5 (López y Caselles, 1990) y se empezó a realizar el seguimiento de la eutrofización de embalses por el Centro de Estudios Hidrográficos (Ortiz y Peña, 1989) y en el Mar Menor (Gilabert, 1992) y (Pérez-Ruzafa *et al.*, 1996).

4.3.2. Material y Métodos

k) Imágenes de satélite utilizadas

Las imágenes utilizadas proceden del sensor OLI del satélite Landsat 8 y corresponden a las escenas 198/199-034, el periodo estudiado es de 2 años y va del 15 de Mayo de 2015 hasta el 13 de Octubre de 2017 (Figura 4-28).

Figura 4-28. Fechas de las imágenes seleccionadas para el estudio

El satélite Landsat 8 de la NASA, toma imágenes de un punto cada 16 días, dos instrumentos y un total de 11 bandas distribuidas en dos sensores: el Sensor OLI y el sensor TIRS. Las bandas de Landsat 8 tienen diferentes resoluciones: las bandas de OLI (1-7,9): 30-metros (Figura 4-29); la banda pancromática de OLI (8): 15 metros y las bandas TIRS (10-11): 100 metros. Actualmente se pueden descargar ortorectificadas, con corrección atmosférica con una profundidad de 16 bits por pixel. El satélite SPOT 7, lleva un sensor óptico multicanal, con una resolución espectral de 4 bandas multiespectrales (Azul: 450-520 nm Verde: 530-590 nm, Rojo: 625-695 nm e Infrarrojo Cercano-NIR: 760- 890 nm) y una resolución espacial de 1,5 m pancromático y 6 m multiespectral. En la siguiente figura puede verse el cambio de coloración de las aguas entre 15/05/2015 y 27/05/2017 (Figura 4-29)

Figura 4-29. Imágenes Landsat 8 de 15/05/2015-05/03/2016 y del 27/05/2017

1) Los datos “in situ”

Para la toma de datos in situ en el Mar Menor se ha utilizado una sonda multiparamétrica de marca SeaBird modelo SBE19 (figura 4-30) equipada con sensores de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, salinidad, clorofila-a, y profundidad, el tratamiento se realizó con el software SEASOFT de SeaBird. Las fechas de las campañas con el CTD para la calibración fueron: 11/07/2016, 02/09/2016, 20/03/2017, 18/04/2017, 17/05/2017 y 06/07/2017. El número de perfiles tomados oscilo entre los 70 y 120 según las fechas.

Figura 4-30. Batimetría y ubicación de los perfiles muestreo con el CTD el 11/07/2016

También se utilizaron las muestras tomadas por el servicio de pesca con el CTD del IMIDA que fue semanal y en 14 puntos diferentes que cubren todas las áreas del Mar Menor (Figura 4-30). El análisis de estos datos permitió la detección de anomalías en la relación entre la turbidez y la concentración de clorofila-a. Debido a esto, el 2 de abril de 2017, se planeó una campaña de datos de campo en cinco ubicaciones, con observaciones in situ que se registraron mediante los siguientes procedimientos:

La transparencia del agua fue evaluada por el disco de Secchi, también se midió el color del agua según la escala de Forell-Ule. Las mediciones de la calidad del agua de los perfiles verticales se realizaron con un perfilador Turner C-3, en el que se montaron tres fluorímetros para medir la concentración de clorofila-a,

ficocianina y la turbidez (Figura 4-31). Las mediciones radiométricas en superficie y debajo de la superficie del agua y la irradiación de la corriente descendente a diferentes profundidades se obtuvieron usando un radiómetro HidroRad-1 de HoboLabs (Figura 4-29). Las fechas de las campañas para radiometrías fueron: 02/04/2017, 18/04/2017, 08/05/2017, 17/05/2017, 25/06/2017, 01/09/2017 y 28/10/2017. El número de perfiles tomado fue entre 4 y 7 según las fechas.

Figura 4-31. Equipos de campo radiómetro HidroRad-1 y CTD (Turner-C3/ SBE19).

La turbidez puntual y la concentración de clorofila-*a* a la profundidad máxima (alrededor de 3-4 m) se midieron con un fluorómetro Aquafluor y una muestra de agua se recogió con una botella hidrográfica de Ruttner para mediciones de control de calidad en el laboratorio; y la composición del grupo de algas del fitoplancton se obtuvo en una muestra fija en la solución de Lugol, para identificación y cuantificación taxonómica. El conteo de células y los cálculos de biovolumen se llevaron a cabo bajo un microscopio invertido Nikon, después de la sedimentación con el método de Utermöhl (CEN, 2004). Después de la filtración GF/F de cada muestra de agua, la clorofila-*a* se extrajo en acetona (90%) + Dimetil Sulfóxido-DMSO (1:1); los extractos se clarificaron bajo centrifugación y se midieron por espectrofotometría (Dörnhöfer *et al.*, 2016).

m) Procesado de las imágenes y la determinación de los algoritmos

Todas las imágenes utilizadas han recibido tres niveles de procesamiento (L1, L2 y L3). El nivel de procesamiento L1 se consigue cuando las imágenes se encuentran corregidas geométricamente, considerando a este nivel el L1a, y atmosféricamente, nivel L1b. El método de corrección atmosférica utilizado ha sido la adaptación a imágenes Landsat 8 del método de corrección atmosférica desarrollada por (Gilabert, 1994) para imágenes Landsat 5 y revisado por (Domínguez *et al.*, 2009).

La zona de agua se obtiene mediante la generación de una máscara a partir de la banda del infrarrojo cercano, (Domínguez *et al.*, 2009). Una vez concluido el nivel L1, en el cual la masa de agua del Mar Menor está corregida geométrica y atmosféricamente, se procede a conseguir el nivel L2. El nivel de procesamiento L2 consiste en el desarrollo de algoritmos y validación de los mismos a partir de datos de campo en los cuales hay valores de turbidez y concentración de clorofila-*a* de las campañas realizadas entre el 11 de julio de 2016 y el 15 de agosto de 2017. Se obtuvieron los algoritmos a partir del análisis de los datos de campo con índices normalizados entre bandas del sensor OLI en el rango visible e infrarrojo cercano y los datos de campo. La extracción de los valores de los índices normalizados en las coordenadas de los datos de campo se realizó mediante el software ArcGIS 10.6, así como los valores de concentración de clorofila-*a* y turbidez de las imágenes y los datos de campo utilizados en la validación de los algoritmos. Una vez calculado el nivel L2, se aplicó la misma metodología a todas las imágenes, obteniendo la serie temporal de la turbidez y la concentración de clorofila-*a* del Mar Menor entre el 15 de mayo del 2015 al 15 de agosto de 2017 (39 imágenes).

4.3.3. Resultados

n) Análisis de las imágenes.

El nivel de procesamiento L1 del sensor OLI determinó que las mejores bandas para el desarrollo de los algoritmos de turbidez (NTU) y clorofila-*a* (mg/m³) correspondían a las bandas del rango visible del espectro electromagnético azul (400nm-500nm), verde (500nm-600nm) y rojo (600nm-700nm). Estos resultados de

estas relaciones se muestran en las relaciones entre las reflectancia y la turbidez (Figura 4-32) y (Figura 4-33) para la clorofila-*a* [Cla].

Figura 4-32. Relación de la reflectancia y la turbidez en los puntos de muestreo con el CTD

Los algoritmos obtenidos en el nivel L2 explican un 77 % de la varianza de la turbidez (Figura 4-32) y del 88 % para la clorofila-*a* [Cla] (Figura 4-33). Las ecuaciones obtenidas para las dos variables de calidad de las aguas son:

Para la turbidez (NTU):

$$Y = 1,7746e^{9,1066x} \quad (1)$$

Donde (Figura 4-32):

$$y = \text{Turbidez (NTU)}$$

$$x = (\text{Ref}_{\text{GEEN}} - \text{Ref}_{\text{RED}}) / \text{Ref}_{\text{GEEN}} + \text{Ref}_{\text{RED}}$$

$$R^2 = 0.775$$

Para el contenido en clorofila-*a*:

$$Y = 0,6386e^{4,7513x} \quad (2)$$

Donde (Figura 4-34):

$$y = [\text{Cla}] \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

$$x = (\text{Ref}_{\text{GEEN}} - \text{Ref}_{\text{RED}}) / \text{Ref}_{\text{GEEN}} + \text{Ref}_{\text{RED}}$$

$$R^2 = 0.8867$$

Figura 4-33. Mapas de turbidez (NTU)

Figura 4-34. Relación de la reflectancia y la clorofila-a en los puntos de muestreo con el CTD

Los mapas de concentración de clorofila-a obtenidos mediante imágenes Landsat (Figura 4-33) y anexo muestran el incremento paulatino sucedido durante estos dos años y el brusco descenso en la situación actual. Destacar que los valores más elevados en los bordes no corresponden a clorofila en el plancton sino a la visión de la vegetación del fondo por la transparencia del agua en las zonas someras.

Los resultados obtenidos en la serie temporal (Figura 4-35) y Anexo V, muestran claramente que el valor promedio de la clorofila-a se ha incrementado paulatinamente desde los valores en torno a los 5 mg/m³ hasta alcanzar valores superiores a 25 mg/m³ en el invierno de 2017; sin embargo esta tendencia se rompió bruscamente con las lluvias torrenciales y en los últimos meses se ha vuelto a los valores iniciales en torno a la mesotrofia y finalmente a oligotrofia, con una calidad aceptable en el agua.

Figura 4-35. Mapas de contenido en clorofila a [Cla]

Las fechas en las que los valores de turbidez y [Cla] fueron máximos coinciden. Sin embargo, el comportamiento de los valores mínimos fue diferente, como se puede observar en el período del 28/01/2017 al 09/04/2017 (Figura 4-37). El comportamiento durante este período de los valores máximo, mínimo y promedio difirió entre la turbidez y [Cla]. Una clara ausencia de una relación entre estos dos parámetros hizo necesario analizar los datos de campo; esto reveló dos tipos de relación entre la turbidez y [Cla] (Figura 4-36).

Figura 4-36. Relación entre turbidez (FTU) y [Cla]

Figura 4-37. Evolución del contenido en clorofila en las fechas de imágenes

El estudio de los perfiles verticales de clorofila-a nos muestra que los valores máximos se encuentran en profundidad entre 3 a 5 m, siendo en el caso mostrado (Figura 4-38), hasta tres veces mayores en esta zona que en la superficie.

Figura 4-38. Puntos de muestreo (clorofila-a y radiometría) y perfiles de clorofila-a para calibración de imágenes de satélite el 18/04/2017

El proyecto de seguimiento del Mar Menor utilizando imágenes de satélite consto de cinco fases durante el año 2017 (Anexo V).

1) Fase de planificación (enero-febrero). Durante esta fase, se analizó la viabilidad económica de utilizar imágenes de satélite para el seguimiento de la calidad del agua.

2) Fase de elaboración de la metodología de procesamiento de imágenes (marzo-mayo). En esta fase se procesaron algunas imágenes obtenidas entre el 15 de mayo de 2015 y febrero de 2017. Las imágenes se seleccionaron para tener una visión general pero apropiada del alcance del problema y de la situación real. Las variables seleccionadas para el estudio fueron la concentración de clorofila a, como parámetro de biomasa, y la turbidez, como parámetro bioquímico. A partir de los datos de campo y las imágenes multiespectrales del satélite Landsat 8, corregidas para la reflectancia, pudimos determinar los algoritmos y los errores de los mapas, que se consideran adecuados para el monitoreo mediante teledetección. Los espectros de las imágenes de esta primera fase indicaron que la concentración de

sólidos en suspensión era baja y, por lo tanto, las variables seleccionadas eran adecuadas, ya que los sólidos suspendidos no eran un factor importante en el estudio. Además, el análisis de los cambios espaciales indicó que existían los siguientes tipos de agua:

Tipo 1: Valores bajos de [Cla] y turbidez. Este tipo de agua se considera el estado natural del agua en la laguna, y esa situación correspondió al 15 de mayo de 2015.

- Tipo 2: Valores altos de turbidez y bajo de [Cla], como se observa en los mapas del 7 de junio de 2015.

- Tipo 3: Valores altos de [Cla] y de turbidez, como se ve en la imagen del 1 de enero de 2016.

Las fechas en las que los valores de turbidez y [Cla] fueron máximos coinciden. Sin embargo, el comportamiento de los valores mínimos fue diferente, como se puede observar en el período del 28/01/2017 al 09/04/2017. El comportamiento durante este período de los valores máximo, mínimo y promedio difirió entre la turbidez y [Cla]. Una clara ausencia de una relación entre estos dos parámetros hizo necesario analizar los datos de campo; esto reveló dos tipos de relación entre la turbidez y [Cla] (Figura 4-34).

3) Fase de análisis (marzo-junio). El monitoreo con sensores remotos se extendió a todas las imágenes disponibles, ya que Landsat 8 pasa a través del área de estudio cada siete o nueve días. A partir de esta información espacial, se observó una evolución que confirmó los resultados de la fase de desarrollo en el mes de marzo de 2017: después de la floración a mediados de enero de 2017, [Cla] disminuyó, pero la turbidez fue alta a fines de enero. No hubo imágenes de Landsat 8 sin nubes en febrero; por lo tanto, no hay información disponible sobre la laguna.

Sin embargo, las condiciones atmosféricas fueron muy dinámicas, lo que promovió el movimiento vertical en la columna de agua y mantuvo los valores de turbidez y [Cla] bajos a principios de marzo de 2017. La imagen del 8 de marzo de 2017 muestra que los valores de [Cla] y la turbidez eran bajos, lo que indica que la sustancia que había producido la alta turbidez a principios de marzo había

desaparecido o se había depositado en el fondo. A mediados de marzo se observaron algunas dinámicas atmosféricas en las imágenes debido a las nubes que aparecieron sobre la laguna. La imagen del 17 de marzo de 2017 muestra un aumento en la turbidez en el área sur de la laguna, que no fue causada por la biomasa. Las imágenes indican que, además del fitoplancton, había algo en el fondo de la laguna que se disolvía en el agua y realizaba un movimiento vertical con dinámicas ascendentes y descendentes en la columna de agua, ya que el satélite observaba el primer espesor óptico que, en el caso del Mar Menor, coincide con el primer metro de la columna de agua. La existencia de más fitoplancton en el primer metro de la columna de agua se observa claramente en las imágenes del 1 de abril de 2017, cuando el valor de la turbidez era mucho más alto que el de [Cla]. A mediados de abril, la situación se revirtió y la turbidez fue causada principalmente por [Cla]. Durante el mes de abril prevaleció esta situación, y grandes especies de fitoplancton, principalmente dinoflagelados, predominaron en el agua. Durante mayo de 2017, los valores de ambos parámetros volvieron a ser bajos, lo que provocó un aumento de la turbidez a principios de ese mes. La idea del depósito en el fondo y su movimiento vertical se consolidó, ya que en la imagen del 5 de junio se observaron nubes sobre la laguna, ambos parámetros disminuyeron nuevamente durante este mes. La relación entre turbidez y [Cla] se analizó utilizando los datos obtenidos en las diversas campañas, y concluimos que hay varios comportamientos: uno que evidencia una clara relación entre la turbidez y [Cla] (cuando [Cla] aumenta, también lo hace la turbidez) y dos en los que disminuir [Cla] aumenta la turbidez. Estos comportamientos sugirieron la existencia de un compuesto tóxico en el agua y se llevaron a cabo las pruebas pertinentes, pero los resultados de las sustancias tóxicas fueron negativos. Una vez descartada esta posibilidad más peligrosa, se consideró la existencia de cianobacterias, por lo que se llevó a cabo un estudio de fitoplancton; este grupo de algas no fue encontrado. Después del estudio de fitoplancton, para determinar qué había en el agua, fue necesario estudiar sus propiedades ópticas aparentes. Esto revelaría las propiedades inherentes del agua del Mar Menor y proporcionaría información sobre los compuestos presentes en él. A partir de los espectros de reflectancia y el coeficiente de atenuación difusa, el agua del Mar

Menor se clasificó en cuatro tipos: agua pura de la laguna; agua en la que predomina el fitoplancton; agua con predominio de materia orgánica amarilla; y agua en la que predomina otro tipo de materia. Del análisis espectral se obtuvo el espectro de absorción de la sustancia amarilla disuelta – **CDOM** en el agua del Mar Menor, así como una sustancia indeterminada, que denominaremos- **NAP**. La determinación de los elementos que forman NAP no es una tarea fácil, debido a la interacción entre los múltiples elementos presentes en la columna de agua y el fondo de la laguna (Figura 4-39).

Figura 4-39. Coeficiente de absorción del agua del Mar Menor (λ).

4) Fase de conclusiones técnicas (julio-septiembre). Durante los meses de julio y agosto de 2017, los valores observados fueron bajos, aumentando en septiembre debido al predominio de fitoplancton reemplazado por el de CDOM y NAP. En estos meses hubo evidencia de la calidad del agua del comportamiento de un cuerpo de agua costera continental, los valores de [Cla] son mucho más altos que los de las aguas marinas. El nombre de la laguna nos recuerda que se trata de una laguna costera con valores que corresponden al comportamiento de este tipo de masa de agua, que es diferente del comportamiento del agua del Mar Mediterráneo. Durante este período, la composición del fitoplancton cambió de cientos de individuos de especies grandes a nanoplancton presente en miles (por mililitro).

5) Fase de evaluación (octubre-diciembre). Se evaluaron los resultados obtenidos y se constató la efectividad de la teledetección como herramienta de seguimiento del efecto de medidas o eventos singulares con gran efecto en el Mar Menor combinado con datos in situ.

Un evento de gran trascendencia, fue la clausura el emisario de aguas de desalobradoras (1/8/2016) que aportaba un caudal superior a los 300 l/s con alto contenido en nitratos (Figura 4-40) y que tenía como punto de vertido la desembocadura del El Albuñón. Para estudiar su efecto se planearon dos salidas con el CTD el 11/7/2016 y 2/09/2016 coincidiendo con dos pasadas del satélite Landsat 8 previstas para los días 11/7/2016 y el 28/08/2016.

Figura 4-40. Estudio del efecto de la clausura del emisario en la Rambla del Albuñón

Los efectos de la clausura tuvo un efecto local importante ya que en la zona de la desembocadura del Albuñón el contenido de [Cla] bajo en unos 4 mg/m³ y la turbidez en 6 NTU (Figura 4-41).

Figura 4-41. Diferencia en el contenido de $[Cla]$ y turbidez entre 11/7/2016 y el 2/9/2016

Otro de evento de gran impacto en el Mar Menor fue el episodio de lluvias torrenciales que se inició el 15 y terminó el 19 de diciembre de 2016. En el episodio se registraron en la zona intensidades de 50 l/m² en una hora y precipitaciones acumuladas de 290 l/m² en la estación TP42 de la red del SIAM. Según el estudio hidrológico realizado por (Espín *et al.*, 2017) utilizando el modelo HU SCS, los caudales punta de las ramblas del Albujón y de la Maraña (que desemboca en Los Alcázares) generados por este suceso en dicha zona lo estiman en torno a 820 y 258 m³/s respectivamente (Figura 4-42).

Tabla 4-5. Precipitación en las ramblas vertientes al Mar Menor del 15-19/12/2016

Rambla	(mm)	Área (m2)	Hm3
Aeropuerto	184	92.881.068	17,12
Albujar	291	5.479.559	1,59
Albujón	181	671.822.769	121,51
Atalayón	267	715.168	0,19
Beal	262	6.478.698	1,70
Carrasca	247	15.809.137	3,90
Hondón	211	23.339.907	4,92
Miedo	232	123.130.315	28,58
Mirador	181	53.410.380	9,65
Pescador	231	7.228.846	1,67
Pichorro	262	7.073.022	1,86
Ponce	264	4.286.300	1,13
Maraña	186	106.544.351	19,77
Trujillo	262	8.607.808	2,25
Suma cuenca		1.126.807.328	215,84
Mar Menor	225	135.000.000	30,38
Total			246,22

Episodio: 15-19/12/2016**Imagen Pleiades 1A: 20/12/2016***Figura 4-42. Lluvia acumulada en el episodio del 15-19 de diciembre e imagen del Mar Menor tomadas el día 20/12/2016.*

La lluvia acumulada entre la cuenca vertiente y el Mar Menor se ha estimado en 246 Hm³ (Tabla 4-5), lo que provocó una gran renovación del volumen de agua

y una caída importante de la salinidad del Mar Menor de 45 a 39 PSU según los datos registrados por la Universidad de Murcia (Figura 4-43).

Figura 4-43. Evolución de la salinidad (PSU) entre el 26/02/2016 y el 20/12/2016 registrado por la red de muestreo de la UMU (Pérez-Ruza, 2017)

El descenso de la salinidad provocado por las lluvias torrenciales se fue recuperando de forma progresiva y a partir del 16 de agosto de 2017 volvió a superar los 44 PSU de media (Figura 4-44), este descenso coincide con el valor máximo de clorofila *a* que se da durante los dos meses posteriores a 20/12/2016.

Figura 4-44. Evolución semanal de los 5 parámetros medidos (T^a , Turbidez, $[Cla]$, O y Salinidad) de los 12 puntos por el servicio de pesca entre 02/08/2016 y el 11/09/2018 (CARM, 2018).

4.4. Actualización batimétrica de golos en el Mar Menor

4.4.1. Introducción

El Mar Menor es una laguna costera salina ubicada en el extremo oriental de la Región de Murcia, entre los paralelos 37º 38' y 37º 50' de latitud Norte y los meridianos 0º 43' y 0º 52' de longitud Oeste. Su lámina de agua ocupa en la actualidad 135 km² de superficie, su volumen es de unos 653 hm³ y su profundidad máxima es de 7 metros. Esta laguna de forma triangular está separada del Mar Mediterráneo por una barra arenosa de 20 km de largo y de 100 a 900 m de ancho, que recibe el nombre de "La Manga del Mar Menor". Este cordón de arena presenta discontinuidades o canales (golos) que permiten su comunicación con el Mar Mediterráneo. La denominada actualmente "Encañizadas" forma parte del Parque Regional "Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar" y tiene un gran valor

ecológico y ambiental (Ballesteros, G. 2013, OISMA, 2016). Declarado Lugar de Importancia Comunitaria (LIC ES0000175) el 13 de octubre de 1998. Desde finales del siglo XIX, se tiene constancia topográfica de la existencia de seis golos en el Mar Menor, cuyos nombres de norte a sur son: Ventorrillo, la Torre, el Charco y la Nueva (Encañizadas), el Estacio y Marchamalo (Figura 4-45)

Figura 4-45. Imagen Landsat RGB 432 del Mar Menor el 27/10/2017 y ubicación de sus golos y ramblas influyentes

El objetivo de este trabajo es elaborar un modelo digital de superficies de la zona de Las Encañizadas de alta resolución actualizado, ya que es una zona es muy variable por la dinámica litoral. Los resultados obtenidos se publicaran en el geoportal desarrollado con el proyecto IDEarM que ya integra la información de los diferentes organismos de la administración sobre la zona del Campo de Cartagena y el Mar Menor (IDEE, 2018; IHM, 2018; IEO, 2018 y MAPAMA, 2018), en el marco de la directiva INSPIRE, como marco de referencia, de una Infraestructura de datos espaciales temática basada en los servicios interoperables (OGC, 2004). Para ello, se está desarrollando un visor cartográfico de gran

funcionalidad, que es accesible a través de la web (<https://geoportal.imida.es/agua>). Este visor está basado en la interfaz de programación de aplicaciones (API) de ArcGIS para Adobe Flex, que permite desarrollar aplicaciones web que incorporan herramientas de visualización, geolocalización y metadatos descriptivos.

o) Área de estudio

La zona de las Encañizadas del Mar Menor, con una superficie de estudio de 272 hectáreas, se localiza en el límite sur del Parque Regional de las Salinas de San Pedro y está constituido por un conjunto de pequeños islotes, rodeados de amplias zonas inundables surcadas por una red de canales poco profundos. Por su morfología experimenta encharcamientos periódicos relacionados con los flujos mareales y los cambios de presión atmosférica; su topografía e hidrología ha venido siendo modificada históricamente para el acondicionamiento del arte de pesca conocido como “Encañizada”. Las primeras encañizadas documentadas son del siglo XV (Ballesteros G., 2016) y XVI, según lo describe Gerónimo Hurtado, en 1584: “...Tiene esta albufera en la manga, que digo, doce bocas o golas, que así las nombran los moradores, por donde entra agua de la Mar Mayor a ellas, diferenciadas por la gola menor y por la gola mayor y están una de la otra como dos leguas poco más o menos: por la menor no puede entrar un barco, ni otro navío por el baxio que tiene y en la mayor, que está en término de ciudad de Murcia, hay una torre fuerte para defensa de las pesqueras que allí se hacen con mucha palizadas o cañizadas, que así se llaman, y esta torre se llama la torre de la Cañizada”. (G. Hurtado. Biblioteca histórica de Cartagena. 1890) citado por (Cutillas, B. 2015)

Figura 4-46. Mapa de la entrada al Mar Menor por la torre de la Encañizada en el año 1817

En este mapa del año 1817 (Figura 4-46) se describe la entrada al Mar Menor por la Torre de la Encañizada y se nombran diversas encañizadas que ya no parecen en la toponimia actual como son: La Llaná, la Trabecia y la Goleta Mesana. (Ayuntamiento de San Pedro del Pinatar. Fondos Museo Barón de Benifayó), citado en la web (<http://gestimarglobal.com/las-encanizadas-del-mar-menor/>, 2017).

Ya a finales del siglo XIX, en 1899, se tiene constancia topográfica (Figura 4-45) de la existencia de seis encañizadas instaladas en el Mar Menor en sus respectivas golas, cuyos nombres de norte a sur son: Ventorrillo, La Torre o Encañizada Vieja, Charco y la Nueva en las salinas de Córcolas, El Estacio y Calnegre o La Constancia que actualmente se denomina Marchamalo.

La dinámica hidrológica coincide con los movimientos de agua que experimenta el conjunto del Mar Menor, de manera que estacionalmente los niveles más bajos corresponden al período entre enero y marzo (en el que los fondos pueden quedar parcialmente emergidos) y los máximos entre agosto y octubre. El funcionamiento mareal del área proporciona una gran variedad de hábitats que dan lugar a una gran singularidad ecológica.

Figura 4-47. Planimetría del Instituto Geográfico Nacional de datada el 3/06/1899

En 1956 todavía funcionaban las seis encañizadas del Mar Menor, como puede verse en la ortofoto del vuelo USAF (Figura 4-48), en ella, se puede apreciar el estado de las cuatro golos (Ventorrillo, Torre, Charco y Nueva) en la Zona de la actual “Encañizadas” .

Figura 4-48. Detalle de las encañizadas en el orto del vuelo USAF de 1956

En 1972 todavía funcionaban cinco encañizadas del Mar Menor en el norte (Ventorrillo, La Torre, La Nueva o Charco) y al sur El Estacio y Marchamalo, su descripción y funcionamiento puede verse en el trabajo realizado por María José Valero “Arte y sistemas de pesca del Mar Menor” (Figura 4-47).

Las encañizadas de el Charco y la Nueva desaparecieron a finales de los años setenta, como queda recogido en el Decreto 91/1984 de 2 de agosto de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Comunidad Autónoma de Murcia, en esa época ya solo existían en el Mar Menor tres encañizadas activas: El Ventorrillo, La Torre y La Constancia o de Marchamalo.

La encañizada de la gola del Estacio desapareció por el dragado realizado entre 1974-78 para la construcción del Puerto Tomas Maestre. En el vuelo interministerial de 1981, ya no aparece abierta la gola que daba entrada a la encañizada Nueva debido a la construcción de la urbanización Veneziola y a la creación de canales navegables en su interior (Figura 4 49).

Figura 4-49. Gola de la Encañizada Nueva transformada en canal de la urbanización Veneziaola (Año 1978)

La última en dejar de funcionar fue La Torre en 1986, hasta 1997 que la empresa Hijos de Albaladejo S.L., obtiene la concesión para la recuperación y explotación pesquera tradicional de las encañizadas de La Torre, realizándose un proyecto de recuperación de la explotación pesquera tradicional de las encañizadas, en 1998 se realizó la reconstrucción y reposición de las instalaciones que forman la encañizada de la Torre (Ballesteros, 2016) y resolución de 17 de enero de 2003, BORM, por la que se publica el convenio de colaboración entre la Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente y la empresa Hijos de Albaladejo García, S.L., para la conservación de las encañizadas del Mar Menor en el Parque Regional de Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar.

Los datos batimétricos oficiales de la zona corresponden al Instituto Hidrográfico de la Marina pero al ser esta una zona declarada como no navegable, no se incluye información detallada para las cartas náuticas como en otras zonas navegables. En la zona de la “Encañizada” han tomado datos batimétricos el Instituto Español de Oceanografía-IEO en 1988, el MAPAMA en 2009, la UPCT en 2011, y más recientemente el IEO (Belandó, 2014). La primera planimetría de detalle encontrada sobre la zona corresponde al Instituto Geográfico Nacional-IGN (IDEE, 2018) y está fechada el 3/06/1899 y se realizó a escala 1:25.000 (Figura 4-47).

Conocer con precisión la evolución espacio-temporal de la apertura de la gola, es muy útil para mejorar los resultados de los modelos hidrodinámicos que se están implementando sobre el Mar Menor y su conexión con el mediterráneo. Según los trabajos de la UPCT (López, 2017) realizados en 2011; la gola del “El Estacio” es la más importante a la hora de regular el intercambio de agua del Mar Menor, ya que suponía un 60% del volumen total anual (Figura 4-50), en esa fecha, mientras que las “Encañizadas” aportaban el 33% y la gola de “Marchamalo” el 7% restante. Estos porcentajes tienen fluctuaciones estacionales importantes en función de los depósitos de arenas provocados por los temporales en la zona y por las labores de mantenimiento periódicos que se vienen realizando regularmente en las golas. Los estudios más actuales (IEO, 2018) cifran la tasa de renovación anual del volumen total del Mar Menor en un 1 año, aunque este es muy variable dependiendo de las condiciones meteorológicas.

Figura 4-50. Volumen de agua en el Mar Menor (Hm³) por isobata (m) en el año 2009

4.4.2. Material y métodos

Las batimetrías complementadas con estudios fotogramétricos dan muy buenos resultados y se consideran muy útiles en zonas de poca profundidad, cuando el mar está en calma y si se usan fotografías aéreas con solape mayor del 70 % (Esteban, 1995). Para aumentar la precisión de este tipo de estudios hay que tener en cuenta los efectos de refracción y difracción de la luz al pasar por el agua, así como

el oleaje, la salinidad, la presencia de fitoplancton y la temperatura del agua. Actualmente, con los nuevos programas de aerotriangulación, junto con el uso de receptores GNSS para la toma de datos en campo, se pueden convertir las profundidades aparentes en profundidades referidas al nivel medio del Mar en Alicante y operar con suficiente exactitud como para poder aplicar la fotogrametría a zonas poco profundas.

p) Fuentes de datos

1) **Vuelo fotogramétrico e imágenes de satélite de alta resolución:** Para la zona emergida se podía optar por la fotogrametría con dron aéreo, por su alta resolución temporal y espacial, pero la ley no permite el vuelo en zonas urbanas y aeropuertos, y al estar éstas muy cercanas a la zona de estudio se optó por usar una avioneta que nos permitió obtener un vuelo fotogramétrico a partir del cual se desarrolló un MDS triangulado de 18 centímetros de resolución espacial de Ground Sampling Distance-GSD de la zona emergida. Para dicha triangulación se utilizaron una serie de puntos de apoyo GPS en el terreno y se utilizó como base el vértice geodésico de la Red Regente número 95626, denominado “Encañizada” (Figura 4-51).

Figura 4-51. Avión y plan de vuelo fotogramétrico realizado el 12/03/2017

También se hizo una comprobación de cotas con un total de 29 puntos GPS RTK para el control de calidad y apoyo de ambos modelos digitales de superficie, tanto el emergido como el sumergido. Las batimetrías basadas en imágenes de satélite se suelen basar en la determinación del coeficiente de extinción óptica de una columna de agua mediante la medida del brillo aparente en las diferentes bandas. En este estudio se han utilizado principalmente imágenes de la constelación de Pleiades, equipados con un sensor HiRi de muy alta resolución óptica, que ofrece imágenes con una resolución nominal de captura de 50 cm en el nadir de la banda pancromática y 2 m en las 4 bandas multiespectrales, dando lugar a los 4 canales de color (azul, verde, rojo e infrarrojo cercano). El rango dinámico es de 12 bits por pixel, las principales fechas utilizadas pueden verse en la (Tabla 4-6).

Tabla 4-6. Fechas y características de las imágenes utilizadas para el seguimiento de las golas

Satélite	Sensor	PAN	VIS	IRC	Res (m)	Fecha
Pleiades 1A	HiRi	1	3	1	0,5/2	15/12/2012
Pleiades 1A	HiRi	1	3	1	0,5/2	01/07/2014
Pleiades 1A	HiRi	1	3	1	0,5/2	23/05/2014
SPOT	NAOMI	1	3	1	1,5	04/05/2014
Pleiades 1A	HiRi	1	3	1	0,5/2	10/12/2015
Pleiades 1A	HiRi	1	3	1	0,5/2	01/07/2016
Pleiades 1A	HiRi	1	3	1	0,5/2	15/10/2016
SPOT	NAOMI	1	3	1	1,5	20/12/2016
Pleiades 1A	HiRi	1	3	1	0,5/2	20/12/2016
Avioneta	ILCE-7R	-	3	-	0,18	12/03/2017
Pleiades 1A	HiRi	1	3	1	0,5/2	21/03/2017
SPOT	NAOMI	1	3	1	1,5	21/03/2017
Pleiades 1A	HiRi	1	3	1	0,5/2	28/06/2017
SPOT	NAOMI	1	3	1	1,5	13/09/2017
Deimos II	HiRAiS	1	3	1	0,75	26/10/2017
Pleiades 1A	HiRi	1	3	1	0,5/2	09/11/2017
Deimos II	HiRAiS	1	3	1	0,75	19/11/2017
Pleiades 1A	HiRi	1	3	1	0,5/2	05/12/2017
Deimos II	HiRAiS	1	3	1	0,75	02/12/2017
Deimos II	HiRAiS	1	3	1	0,75	08/12/2017
Pleiades 1A	HiRi	1	3	1	0,5/2	15/04/2018
Pleiades 1A	HiRi	1	3	1	0,5/2	29/04/2018

2) **Datos de campo** (GPS, Ecosondas y apoyo de fotogrametría): En el tema de INSPIRE referentes a las elevaciones se incluye tanto la altimetría de las zonas de tierra, como la batimetría de aguas marinas y continentales. Aunque en la Directiva INSPIRE (IDEE, 2018) no exige expresamente la generación de un MDE continuo “tierra-mar”, se considera importante realizarlo, ya que servirá para tener

comprobación de que los datos obtenidos se adaptan al sistema geodésico de referencia europeo horizontal (ETRS89) como vertical (EVRF2000).

Tabla 4-7. Fechas y características de los datos de campo utilizados en estudio de las golas

Proveedor	GPS	Fotogrametría	Ecosonda	MDS (m)	Fecha
IGN	-	0,5 p/m ²	-	5	04/10/2009
MAPAMA		40 p/m ²	Seabat 8124	1	04/10/2009
UPCT	Leica (1200		ADCP (500 kHz)	-	19/08/2011
IEO	Garmin (GPS72	30 p/m ²	Hondex (PS-7)	-	15/05/2014
IMIDA	Leica (1200)		Airmar (50kHz)		13/03/2017
IEO		40 p/m ²	ADCP (1200 kHz)		2016/2017
IMIDA	Leica (1200)		-	0,2	09/11/2017
IMIDA	Leica (1200)		Airmar (50kHz)		16/04/2018

3) **Datos medidos con ecosondas:** Los datos a utilizar para calibrar y validar las profundidades estimadas por teledetección se obtuvieron (Tabla 4-7) mediante el uso de una ecosonda o sonar (Sound Navigation and Ranging) instalado en un dron flotante (Figura 4). El dispositivo de la ecosonda es un AIRMAR intra-casco bifrecuencia 50/200 kHz de 600w, receptor y antena GNSS RTK (GPS, GALILEO Y GLONASS), batería de polímero de Litio, un autopiloto basado en Ardupilot, un microordenador para almacenar los datos registrados basado en una Rasperi Pi, también dispone de un sistema de Radio Módem UHF de 1 Watt de potencia (+30dBm) para conexión y transmisión de los datos a la estación base (Figura 4-52).

Figura 4-52. Dron equipado con ecosonda mono haz

Figura 4-53. Comprobaciones de calado realizados con el dron flotante en las Encañizadas.

El proceso de medición requirió medir la profundidad con la ecosonda y simultáneamente la posición absoluta con receptor GNSS RTK. De esta forma, todos los datos se pueden integrar para calcular un valor de profundidad con respecto al origen, que en este caso es el nivel medio del mar en Alicante utilizando como referencia el vértice geodésico número 95626 del IGN y ajustándolo al sistema de referencia vertical oficial en España (REDNAP). La velocidad máxima de navegación fue de 2 m/s para obtener una sincronización precisa de datos de ecosonda con el receptor GNSS RTK y así poder transformar las alturas a profundidades con respecto al vértice geodésico de referencia. El proceso de medición está limitado por una profundidad mínima de 50 cm, ya que la sonda necesita al menos esa profundidad para medir con precisión (Figura 4-53).

q) Procesado de los datos

El Real Decreto 1071/2007 establece el nivel medio del mar Mediterráneo en Alicante como Sistema de Referencia Altimétrico para la península Ibérica. Las altitudes así definidas se denominan ortométrica, o altitud sobre el geoide. Cuando

se trabaja con sistemas GNSS se obtienen altitudes elipsoidales, medidas sobre el elipsoide GRS80 (ETRS89). La relación entre ambas altitudes es la ondulación del geoide; es decir la separación entre geoide y elipsoide en un punto tomada sobre la perpendicular al geoide. Esta relación se calcula a nivel mundial, obteniendo un modelo de geoide con la suficiente precisión relativa para convertir altitud elipsoidal en altitud ortométrica que es más práctica en topografía. La transformación es imprescindible cuando se trabaja con GNSS, ya que al tomar como referencia la cota de la altura elipsoidal del vértice geodésico número 95626 en el datos GPS y por otro lado el software utilizado para el tratamiento de los datos ArcGiS 10.6 lleva implementado el modelo de geoide EGM 2008 de la REDNAP lo que nos permitió obtener alturas ortométrica referidas a la red regente, pudiéndose considerar dichas coordenadas como absolutas (Figura 4-54). Por lo tanto la cota cero que se utiliza es la referente al geoide EGM 2008 REDNAP, que es una adaptación del geoide mundial EGM2008 al sistema de referencia vertical oficial en España (REDNAP) en una primera fase. Posteriormente se procederá a adecuarlos al sistema geodésico de referencia vertical (EVRF2000) propuesto por la directiva INSPIRE.

Figura 4-54. Proceso de integración del Modelo Digital de Superficies de las encañizadas

r) Tratamiento de las imágenes de satélite

A través del cálculo del índice NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado) podemos identificar masas de agua y zonas de elevada saturación de humedad del suelo mediante el análisis de imágenes satélite. Con este índice se

puede delimitar las masas de agua, la relación entre bandas permite maximizar la reflectancia del agua al trabajar con longitudes de ondas en el verde, maximiza la reflectancia de la vegetación y minimiza la reflectancia de masas de agua gracias al NIR (McFeeters, 1996). Los valores obtenidos a partir del NDWI oscilan entre 0 y 1 para las superficies de agua y -1 para zonas terrestres.

$$NDWI = \frac{G-IR}{G+IR} \quad (1)$$

Su utilidad está ampliamente probada como puede verse en la comparativa realizada por (Zhou *et al.*, 2017); en este trabajo se compararon 27 algoritmos diferentes para el tratamiento de imágenes Landsat 8 OLI y Sentinel-2 MSI, y los resultados basados en el NDWI fueron los que mejor funcionaron en la delimitación de cuerpos de aguas superficiales.

El procesamiento de datos de teledetección (Figura 4-53) se realizó en cuatro fases:

1.- **Descarga y chequeo de las imágenes:** Cada tipo de imágenes se descargó y se le aplicó un procesamiento específico (Figura 4-55). El primer paso finaliza cuando todas las imágenes han sido corregidas atmosféricamente. En las imágenes de teledetección, la corrección atmosférica puede eliminar la influencia atmosférica (principalmente causada por las moléculas atmosféricas y las partículas que provocan la dispersión de la luz) y los factores de iluminación. El espectro de reflectancia objetivo después de la corrección será similar al espectro medido en el suelo (Liang *et al.*, 2017). En este trabajo, se aplicó el módulo de corrección atmosférica QUICK Atmospheric Correction (QUICK) para la corrección atmosférica de imágenes Deimos-2 (Bernstein *et al.*, 2005), para las imágenes Pleiades se utilizó el producto de AIRBUS ya corregido atmosféricamente por el fabricante del satélite y por último se utilizó el software de corrección atmosférica ACOLITE para la corrección atmosférica de imágenes Sentinel-2 (Vanhellemont y Ruddic, 2016).

Figura 4-55. Proceso para obtener el modelo de extracción de profundidad (Z)

2.- **Área de agua.** La máscara de agua se generó usando el índice de agua normalizada (NDWI) usando las bandas verdes e infrarrojas (McFeeters, 1996) en cada imagen de reflectancia. Si el NDWI es mayor que 1, el píxel es agua y si NDWI es menor que 1, no es agua. A cada imagen se aplicó su máscara de agua y se obtuvieron las imágenes de reflectancia de agua (Castillo-López *et al.*, 2017) como puede verse en la (Figura 4-55). Los niveles digitales del sensor HiRi, tienen un grado de brillo que dependen del ángulo de adquisición, la altura de paso del satélite, el azimut del sol y el tipo de superficie observada, en esta estudio se han utilizado las imágenes con la corrección atmosférica implementada por Airbus.

3.- **Modelo de extracción de profundidad de agua** (Figura 4-56). Las reflectancia de las imágenes de agua próximas a los datos de batimetría fueron seleccionadas para obtener algoritmos lineales (Stumpf *et al.*, 2003). Las operaciones entre bandas y la relación entre los datos ráster y los datos de las sondas se procesó con ArcMap 10.6.

$$Z = m \frac{\ln(B)}{\ln(G)} + n \quad (2)$$

Los valores **m** y **n** del modelo se obtuvieron utilizando mediante regresión lineal.

$$z = 27,647x - 26,422 \quad (3)$$

Dónde:

z =Profundidad del agua en (m)

$x = \frac{\ln(B)}{\ln(G)}$ el cociente entre los **Ln** de las reflectancia de las bandas Blue y

Green de Pleiades

4.- **Obtención de la batimetría** y con la serie temporal de imagen de satélite. El mapeo de batimetría en cada fecha se calculó usando un modelo de extracción de la profundidad del agua obtenido para los diferentes satélites.

Figura 4-56. Modelos de extracción de profundidad de agua para los diferentes sensores

El mapa batimétrico obtenido a partir de imágenes satelitales permite calcular la variación de la superficie y el volumen de agua entre las imágenes Pléiades del 15 de octubre de 2012 y el 5 de Diciembre de 2017 (Figura 4-55).

Figura 4-57. Evolución de la gola utilizando el cociente de las bandas NIR y R donde los colores cálidos indican las zonas emergidas y los tonos azules indican el agua y su profundidad el 15/10/2012 y el 05/12/2017.

s) Integración de los datos de altimetría

El proceso seguido para la integración de los datos altimétricos en una geodatabase de ArcGIS 10.6, es la integración de los datos en campo obtenidos por las ecosondas, los datos GPS tomados en campo y los datos LiDAR del PNOA de 2009 (IDEE, 2018). A partir de ellos se ha generado por interpolación -IDW (inverse distance weighting) un modelo digital continuo de elevaciones del Campo de Cartagena y el Mar Menor, con 1 m de resolución que nos permitirá conocer el volumen de agua de una forma muy precisa para cada metro de profundidad (m) de agua o isobata (Figura 4-59) la suma de los volúmenes por isobata asciende a 653 (hm³) en el año 2009.

4.4.3. Resultados

Los resultados obtenidos demuestran que la amplitud y profundidad de la gola ha ido se ha reducido considerablemente entre el periodo 2009 a 2017 (Figura 4-57) y que este proceso se aceleró con los temporales de finales de 2016 y marzo de 2017, recuperándose una parte de la sección perdida durante Junio de 2017 por los trabajos de mantenimiento de calado realizado en esas fechas.

Figura 4-58. Ortofotos de la gola el 04/10/2009 y el 12/03/2017

La amplitud de la entrada de agua de la gola (Figura 4-58) de la “Encañizada” se ha reducido de los 580 m tomando como referencia la orto del PNOA en la fecha del 4/10/2009 a los 105 m determinados con el vuelo fotogramétrico del día 12/03/2017.

Figura 4-59. Evolución batimetría entre el 04/10/2009 y el 12/03/2017

En las imágenes se aprecia un claro proceso de sedimentación que está dando lugar a una menor conexión entre el Mar Menor y el Mar Mediterráneo. Mediante la resta del cociente NIR/R (Figura 4-60) se seguirá la evolución temporal de los depósitos de arena por los temporales en la zona de estudio.

Figura 4-60. Depósitos de arena (en rojo) mediante la resta del índice NIR/R entre el 15/10/2012 y el 05/12/2017.

La menor amplitud de la entrada de agua de la gola encontrada en la serie estudia corresponde al día 12/03/2017, en esa fecha quedo reducida a 105 m, recuperándose a 270 m después de la restauración de calado realizado en Junio de 2017 para el mantenimiento del arte de pesca de la Encañizada (Tabla 4-8).

Tabla 4-8. Evolución de la entrada en la gola de las encañizadas (2012-2017)

Satélite	Fecha	Tierra (ha)	Agua (ha)	Amplitud (m)	Sección (m2)	Prof. canal (m)
Pleiades	15/10/2012	95	177	610	217	0,75
Pleiades	01/07/2014	104	168	440	125	0,50
Pleiades	21/03/2017	122	150	105	10,4	0,10
Pleiades	05/12/2017	120	152	270	54,3	0,20

Comparando los MDS e imágenes desde 2009 (los datos en la zona de agua con profundidades $< 1\text{m}$ han sido obtenidos con la imagen Pleiades de 15/12/2012) y la de 12/03/2017, se puede resaltar que la parte emergida ha aumentado su volumen en 371.971 m^3 y la superficie se ha visto incrementada en 990.032 m^2 , básicamente formada por depósitos de arena y restos de algas arrastrados por los temporales de levante. También se ha comparado con un modelo digital de superficie generado a partir de datos LiDAR del PNOA 2009 con una resolución espacial de 1 metro y el estudio con ecosondas de tipo multihaz/sonar de barrido Lateral realizado por el MAPAMA en 2009. La cubicación de dicho modelo digital de superficies del año 2009 da un volumen emergido en la zona estudiada de 320.581 m^3 y una superficie de 651.620 m^2 .

Figura 4-61. Visor web con los datos batimétricos obtenidos

Los resultados obtenidos se publican en el geoportal desarrollado con el proyecto IDEarM que ya integra la información de los diferentes organismos de la administración sobre la zona del Campo de Cartagena y el Mar Menor (IDEE, 2018; IHM, 2018; IEO, 2018 y MAPAMA, 2018), en el marco de la directiva INSPIRE, como marco de referencia, de una Infraestructura de datos espaciales temática basada en los servicios interoperables (OGC, 2004). Para ello, se está desarrollando un visor cartográfico de gran funcionalidad, que es accesible a través de la web (<https://geoportal.imida.es/agua>). Este visor (Figura 4-61) está basado en la interfaz de programación de aplicaciones (API) de ArcGIS para Adobe Flex, que ha permitido desarrollar una aplicación web que incorpora herramientas de visualización, geolocalización y sus metadatos descriptivos.

Figura 4-62. Sección de entrada de agua en las encañizadas

En el gráfico de la evolución de amplitud de la gola desde 1997 hasta 2017 puede verse que la disminución fue progresiva pero constante hasta final de 2016 (Figura 4-62), donde el temporal que tuvo lugar en el Campo de Cartagena provocó una súbita caída hasta los 105 m de amplitud, quedando la sección de entrada de agua en la gola (Figura 4-63) reducida a 10,4 m², esta sección se recuperó hasta los 54,3 m² parte mediante los trabajos de mantenimiento de los canales principales iniciados en a mediados de junio de 2017.

Figura 4-63. Evolución de la pérdida de sección (1997-2017)

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES.

La necesidad de difusión y reutilización de la información generada por las administraciones hace necesario el uso de protocolos de estandarización ISO, OGC y W3C, ya que son claves para lograr una interoperabilidad efectiva que permita el desarrollo de servicios encadenados que convertirán a las IDE en verdaderos sistemas de ayuda a la decisión en la gestión administrativa o la planificación estratégica. Mediante el uso de herramientas específicas que permitan metadatos geográficos de forma interoperable como son GeoNetwork (versión > 2.10), Geoportal Server de ESRI con la extensión de INSPIRE (versión 2.10) y CKAN que permite la exportación de archivos RDF y tiene una extensión para datos INSPIRE y para DCAT (Figura 5-1)

Una recomendación importante, es el uso de sistemas que permitan intercambiar datos espaciales estandarizados como el GML, lenguajes de marcado derivado del XML, de esta forma se asegura el intercambio de datos entre los diferentes actores involucradas en la transferencia de información espacial.

Figura 5-1. Arquitectura y tecnología propuesta para IDEarM

Por otro lado, se hace evidente la necesidad de un modelo de datos normalizado como el propuesto por INSPIRE para hacer posible el encadenamiento de la información geográfica en todas áreas temáticas, de forma que esta pueda ser reutilizada por otros usuarios y aplicaciones.

Otro aspecto a destacar es este trabajo es la elaboración de unas recomendaciones tecnológicas y el plan de implementación de la directiva INSPIRE que facilitará la explotación de las bases de datos geográficas disponibles. Las recomendaciones a definir, detallarán los requisitos, la metodología de integración de datos, las barreras técnicas y no técnicas de integración de datos y los aspectos legales. El modelo de integración de datos se basará en los significados de los fenómenos geográficos utilizando modelos de datos conceptuales, metadatos estructurados y legibles vía código, y la especificación de datos espaciales definidas en INSPIRE. Las especificaciones de metadatos, contendrán una descripción conceptual, relaciones lógicas y una descripción de las limitaciones existentes, así como una extracción automática de información que será un paso significativo hacia la integración efectiva de múltiples fuentes heterogéneas de datos espaciales en las IDE temáticas sobre agricultura y agua, al igual que se ha realizado en otros dominios temáticos como el medio ambiente costero o la hidrología superficial.

Los datos generados se publican en un portal regional (<https://idearm.imida.es>), que se puede federar en el portal nacional (<https://www.idee.es>) o el portal Europeo (<http://inspire-geoportal.ec.europa.eu/>).

Otro aspecto importante es la capacidad de generar los datos en formatos no propietarios y poder publicarlos en portales OpenData como el desarrollado en la Región de Murcia (<http://datosabiertos.regiondemurcia.es/>) que está federado con el portal nacional de Opendata (<http://datos.gob.es/es>) y el portal Europeo (<https://data.europa.eu>).

Para el desarrollo de las IDE avanzadas, es necesaria la interoperabilidad tecnológica y jurídica de la información que facilitan las diferentes administraciones para asegurar un buen nivel de servicio y una sólida arquitectura tecnológica que favorezca que el intercambio de la información disponible resulte efectivo y eficiente en el ámbito jurídico y administrativo. La interoperabilidad jurídica es

importante para la coordinación de los datos entre instituciones, destacar en este ámbito los convenios marcos firmados con AEMET y la CHS por su especial interés para el sector agrario regional y por su utilidad en la gestión de emergencia, así como su publicación para que terceros desarrollen nuevas aplicaciones en base a esos datos y servicio.

5.1. Publicación del balance hídrico y el cálculo del K_c en cítricos

Para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos y de la ETo, la conexión entre las bases de datos meteorológicas del SIAM y las geodatabase nos ha proporcionado una herramienta muy productiva en el geoportal que nos permite dotar al sistema de asesoramiento a los regantes de un componente espacial muy útil para la estimación de las necesidades hídricas en grandes zonas, así como una herramienta que nos permite evaluar daños por inclemencias meteorológicas en los cultivos regionales. Esta metodología ya ha sido probada con éxito en muchas especies de herbáceas y leñosas de la Región de Murcia en los últimos 20 años.

5.2. Cambio climático en cítricos

Los resultados del análisis de las sendas representativas de concentración RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5 dan un aumento de las temperaturas medias anuales para los tres escenarios de RCP a medio, corto y largo plazo. Este aumento de las temperaturas es consecuencia de un considerable aumento de las medias esperadas para los meses de invierno y otoño, alcanzándose incrementos de entre 4, 5 y 6°C en sus valores desde el inicio al final del periodo estudiado, coincidiendo con los incrementos esperados por el IPCC. En cuanto a los meses más cálidos del año, si bien el aumento de las temperaturas, a medida que se avance en el tiempo, se darán cada vez con mayor frecuencia, temperaturas máximas por encima, de los 40°C.

En la Región de Murcia se observa también una constante disminución de las precipitaciones y aumento de las necesidades hídricas, lo que, con el consiguiente aumento de las temperaturas, supone una evolución climática hacia periodos cada vez más secos y menos húmedos. Con todos los modelos de los RCP analizados se retrasa el inicio del desverdizado desde 1 semana hasta casi 2 meses en el caso más desfavorable. Y con ninguno de los modelos analizados se consigue alcanzar en el

árbol, el color amarillo comercial. En la actualidad se consiguen limones en árbol, con una coloración comercial a mediados de diciembre, sin necesidad de aplicar técnicas de desverdizado artificial. Según los modelos utilizados, no conseguiríamos una producción de limón que no requiriera de esos tratamientos artificiales. El hecho de retrasarse el inicio del desverdizado natural en el árbol y no conseguirse un color amarillo adecuado para su comercialización, incrementará el uso de las cámaras de desverdizado y con ello los costes de producción.

5.3. Seguimiento de la calidad de aguas del Mar Menor

El análisis multiespectral de imágenes y la toma de datos “in situ” se han mostrado como unas herramientas complementarias y muy útiles para estudiar las causas del cambio en el color del agua en la laguna costera del Mar Menor en el periodo 2015/17 y, en consecuencia, su estado trófico. La metodología desarrollada permite utilizar imágenes de la serie Landsat, por lo que el estudio podría extenderse al pasado utilizando las primeras imágenes del área capturada por esta serie de satélites de observación de la Tierra en la década de 1970, con una periodicidad de entre seis y nueve días y puede ampliarse a los nuevos sensores MSI de los satélites Sentinel de ESA

La teledetección espacial ha detectado que la turbidez en el Mar Menor no es causada solo por el fitoplancton; ya que también hay otros compuestos implicados, como la materia orgánica disuelta coloreada (CDOM) y un compuesto no identificado que se denominó (NAP) y de los que se han obtenido sus firmas de absorción espectral, para que posteriormente puedan ser identificarlos. De estos compuestos no conocemos su origen, aunque, disueltos en el agua, han llegado al fondo en cantidades tales que las corrientes internas causan un desplazamiento vertical en la columna de agua que comenzó a detectarse en junio de 2015. Estas sustancias interactúan con el fitoplancton, causando un aumento excesivo en [Cla], que se observó en una cantidad excesiva por primera vez en la imagen del 1 de enero de 2016. No debemos olvidar que en fechas anteriores a junio de 2015 los valores de [Cla] fueron similares a los del Mediterráneo, pero a partir de junio de 2015 comenzó el cambio de color del azul al verde, siendo relevante para finales de

2015 y principios de 2016 y que causó una gran alarma social, que continua aunque en menor medida, ya que en varias ocasiones el color azul ha cambiado a verde (en esas fechas cuando los valores máximos de [Cla] y la turbidez eran muy bajos). Estos cambios de color se producen debido al movimiento de fitoplancton, (CDOM y NAP) en la columna de agua. Con este trabajo se ha conseguido desarrollar un sistema de monitoreo operacional para la calidad del agua en el Mar Menor mediante técnicas de teledetección y toma de datos “in situ”, que han permitido abordar de manera sinóptica y económica los patrones espacio-temporal de los procesos de turbidez y contenido en clorofila-a de las aguas del Mar Menor. Los resultados de este trabajo se están publicando a través de visores a los que se puede acceder desde el portal (<http://idearm.imida.es>); a través de este geoportal se puede acceder a una colección de imágenes de la serie Landsat, que comprende el periodo de 1975-2017. Los datos específicos del seguimiento del Mar Menor se publican en la web <http://www.marmenor.info>. Los resultados proporcionados con este desarrollo metodológico pueden ser muy útiles para anticipar la toma de decisiones en la gestión ambiental de la laguna.

5.4. Seguimiento batimétrico en las golas del Mar Menor.

Los resultados obtenidos con el uso de drones para la actualización de los MDS y la estimación de la acumulación de arena en las golas concuerdan en magnitud con las pérdidas de arena de la playa situada al sur del Puerto de San Pedro del Pinatar, conocida como la Llana que ha sufrido una gran erosión en los últimos años.

En cuanto al uso de las IDE para la gestión de zonas costeras, se han detectado algunos problemas específicos relacionados con la gestión de datos geográficos costeros y marinos, que dificultan la extensión de las implementaciones de IDE para incluir regiones marinas como el Mar Menor. Algunos de ellos son:

- La definición de la línea de costa litoral: En este tema, el enfoque de IDEarM ofrece la oportunidad de contrastar en un mismo visor las diferentes definiciones de litoral para poner de manifiesto las diferencias existentes.

- El uso de diferentes Sistemas de Referencia Espaciales Terrestres (SRS) en el ámbito terrestre (ETRS89) y en el marino (WGS84).
- Los diferentes tipos de datos a utilizar: Para ciertos usos es más eficiente usar modelos de trama (Grid, mallas de triángulos-TIN) en vez de datos vectoriales ya que representan mejor la información altimétrica.

5.5. Futuras líneas de investigación

El futuro del sector agroalimentario, al igual que la industria, pasa por la transformación digital en el ámbito rural; si deseamos que continúen siendo, respectivamente, un medio vivo y poblado, y un sector competitivo y sostenible económica, social y medioambientalmente. Por lo tanto, la despoblación, la tecnificación de la agricultura, la industria agroalimentaria 4.0, la productividad, la sostenibilidad y la optimización en la utilización de recursos, la competitividad de los mercados, el equilibrio de la cadena agroalimentaria y la adaptación al cambio climático. Estos son algunos de los desafíos a los que la digitalización, entendida como la aplicación del conjunto de nuevas tecnologías (agricultura inteligente, la conectividad (IoT) en las empresas agrarias y el desarrollo del Big Data espacial habrá que incluir en futuros trabajos.

El informe McKinsey-Cotec de 2017, resalta que los sectores digitalizados mejoran su productividad más rápido que los sectores menos digitalizados, y destaca que la agricultura en España tiene un potencial técnico de automatización del 57% (cuarto lugar por detrás de la hostelería, la industria manufacturera y el sector de transporte y logística), sobre todo en actividades vinculadas a la práctica física y a la captura y manejo de datos.

Por otra parte, los recursos hídricos podrían reducirse más de un 15% en la media nacional hasta 2050, debido a la tendencia a la baja de las precipitaciones y la mayor evapotranspiración. La Región de Murcia, y en especial el Campo de Cartagena por su dependencia del ATS son muy "vulnerables" y "frágiles" frente al cambio climático. También son de interés para el sector agrario de la Región y del Campo de Cartagena en especial, disponer de unos sistemas de ayuda a la decisión que permitirán una estimación más precisa del balance hídrico regional y unas

directrices generales para mejorar las prácticas agrícolas y reducir los efectos de la agricultura sobre la calidad del agua en la cuenca vertiente al Mar Menor.

BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA.

- Abadía, R., 2003. Optimización del diseño y gestión de redes colectivas de distribución de agua para riego por goteo de cultivos leñosos. Aplicación al regadío de Mula (Murcia). Tesis Doctoral. Universidad Miguel Hernández. Alicante.
- AEMET, 2016. Evaluación de modelos climáticos - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España. (n.d.). Retrieved from: http://www.aemet.es/es/idi/clima/evaluacion_modelos_climaticos.
- AEMET, 2018. Modelo HARMONIE-AROME - Agencia Estatal de Meteorología -AEMET. Gobierno de España. Retrieved August 20, 2018, Retrieved from: https://www.aemet.es/es/noticias/2017/07/modelo_harmonie-arome
- Aien A., Pal M., Khetarpal S., & Kumar P. S., 2014. Impact of elevated atmospheric CO₂ concentration on the growth, and yield in two potato cultivars. *J. Agr. Sci. Tech.* Vol. 16: 1661-1670
- Alcon, F., De Miguel, M. D., Pellicer-martínez, F., & Marrinez-Paz, J. M., 2017. Valoración de externalidades ambientales de la agricultura: el caso del mar menor. In XI Congreso de la Asociación Española de Economía Agraria. Universidad Miguel Hernández.
- Alexander A., 2013. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). Centro de Investigación y Desarrollo En Información Geográfica Del IGAC -CIAF, 46.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy
- Allen G., R., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M., 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO:Estudios FAO Riego y Drenaje 56, 297.
- Arcidiacono, S., 2013. Implementation of a Web-based NASA World Wind Tool for the Visualization of Climate Data. In G. Jekel, T., Car, A., Strobl, J. & Griesebner (Ed.), *GI_Forum 2013. Creating the GISociety* (pp. 239–242). ÖAW Verlag, Wien. <https://doi.org/10.1553/giscience2013s239.240>
- Asante, K., Verdin, J., & Crane, M., 2007. Spatial data infrastructures in management of natural disasters. *Research and Theory i Advancing Data Infrastructure Concepts*, 5, 279–293. Retrieved from <http://gsdidocs.org/gsdiconf/GSDI-9/papers/TS55.1paper.pdf>
- Ayen, J. A. , 2012. Modelo de inventario para regadíos: Aplicación a la huerta de Murcia. Universidad Miguel Hernandez.

- Ávila C., Guardiola J.L., & Nebauer S.G., 2012. Response of the photosynthetic apparatus to a flowering-inductive period by water stress in Citrus, *Trees* 26, 833–840.
- Ballesteros, G., 2013. Aspectos económicos, sociales y ambientales relacionados con la gestión y conservación del Parque Regional de las Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Brotons, J.M. , Manera J., Conesa, A., & Porras, I., 2013. A fuzzy approach to the loss of green colour in lemon (*Citrus lemon* L. Burm. f.) rind during ripening, *Comput. Electron. Agr.* 98, 222–232.
- Bastiaanssen, W.G.M., Molden, D.J., & Makin, I.W., (2000). Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management* 46, 137-155.
- Basso, B., Cammarano, D., & Carfagna, E., 2013. Review of Crop Yield Forecasting Methods and Early Warning Systems. The First Meeting of the Scientific Advisory Committee of the Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics, 1–56.
- Bea, M., & Montesinos S., 2008. Caso Práctico Aplicaciones Operativas de la Teledetección en la Planificación y Gestión del Medio Hídrico Operational Applications of Remote Sensing in Water Resources Management, 91–100.
- Bea, M., 2011. Delimitación de superficies regadas a partir de técnicas geográficas: aplicación en la cuenca alta del Guadiana. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid
- Bea, M., Rodríguez, J. A., & Montesinos, S., 2013. Uso de tecnicas de información geografica para la discriminacion de superficies regadas. *Geofocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnologia de La Informacion Geografica*, 13(1), 220–245.
- Belando, M.D., Ruiz, J.M., García R., Ramos A., & García P., 2014. Cartografía de la vegetación sumergida del enclave natural de las Encañizadas del Mar Menor. Instituto Español de Oceanografía (Centro Oceanográfico de Murcia) y Asociación de Naturalistas del Sureste. Murcia, 17 p.
- Bellvert, J., 2014. El uso de la teledetección de alta resolución como herramienta para realizar un manejo eficiente del riego en viñedos. Tesis doctoral. Universidad de Cordoba.
- Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., & Heynen, M., 2004. Multiresolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 58, 239–258.

- Bernabé-Poveda, M. A., & López-Vázquez, C. M., 2012. Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE). Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
- Bhat, M. A., & Ahmad, B., 2011. Cloud Computing : A solution to Geographical Information Systems (GIS). *International Journal*, 3(2), 594–600.
- BORM, 2018. Ley 1/2018, de 7 de febrero, de medidas urgentes para garantizar la sostenibilidad ambiental en el entorno del Mar Menor. Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente de Murcia.
- BOE, 2004. Real Decreto Legislativo 1/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario. BOE, 10137–10153. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- BOE, 2018. Núm. 136, de 5 de junio de 2018. Estudio de Impacto Ambiental del “Análisis de soluciones para el objetivo del vertido cero al Mar Menor proveniente del Campo de Cartagena.” Madrid: MAPAMA.
- Bröring, A., Beltrami, P., Lemmens, R., & Jirka, S., 2012. Automated Integration of Geosensors with the Sensor Web to Facilitate Flood Management. Assessing Hazards, Emergencies and Disaster Impacts. <https://doi.org/10.5772/30472>
- Bröring, A., Echterhoff, J., Jirka, S., Simonis, I., Everding, T., Stasch, C., & Lemmens, R., 2011. New generation Sensor Web Enablement. *Sensors* (Vol. 11). <https://doi.org/10.3390/s110302652>
- Brunet, M., Casado, M. J., Castro, M. De, Galán, P., López, J. a., Martín, J. M., & Torres, L., 2009. Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. IPCC. 165.
- Budhathoki, N., & Nedović-budić, Z., 2007. Expanding the Spatial Data Infrastructure Knowledge Base. *Research and Theory in Advancing Spatial Data Infrastructure Concepts*, 5, 7–31.
- Calera, A., Castaño Fernández, S., Quintanilla, A., Odi, M., Belmonte, M., Arellano, I., & Jiménez-Martínez, N., 2011. Estudio sobre la Evapotranspiración y el agua de Riego aplicada sobre las superficies de regadío mediante teledetección en los acuíferos sobreexplotados del Alto Guadiana. Años 2005, 2009 y 2010. Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), Albacete, p. 131.
- Calera, A., Campos, I., & Garrido-Rubio, J., 2016. Determinación de las necesidades de agua y de riego mediante estaciones meteorológicas y series temporales de imágenes multiespectrales. Jornada técnica de innovación en gestión del regadío mediante redes agroclimáticas, teledetección y sistemas de información. Madrid.

- Campos, I., Neale, C., Calera, A., Balbontín, C., & González-Piqueras, J., 2010. Assessing satellite based basal crop coefficients for irrigated grapes (*Vitis vinifera* L.). *Agricultural Water Management* 98, 45-54.
- Campos, M., 2017. Development of an earth observation processing chain for crop biophysical parameters at local and global scale. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia. Retrieved from <http://roderic.uv.es/handle/10550/59170>
- Camps-Valls, G., Tuia, D., Gómez-Chova, L., Jiménez, S., & Malo, J., 2011. Remote sensing image processing. *Synthesis Lectures on Image, Video, and Multimedia Processing*, 5, 1–192.
- CARM, 2017. Informe integral sobre el estado ecológico del Mar Menor. Comité de Asesoramiento Científico del Mar Menor: Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente. Oficina de Impulso Socioeconómico del Medio Ambiente. Espacios Naturales Región de Murcia.
- Carreño, M., 2015. Seguimiento de los cambios de usos y su influencia en las comunidades y hábitats naturales en la cuenca del Mar Menor, 1988-2009, con el uso de SIG y teledetección. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Casas, A., & Mallent, D., 1988. El colour de los frutos cítricos. I. Generalidades. II. Factores que influyen en el colour. Influencia de la especie, de la variedad y de la temperatura, *Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment.*, 28(2), 184-202.
- Castillo-López, E., Domínguez, J. A., Pereda, R., de Luis, J. M., Pérez, R., & Piña, F., 2017. The importance of atmospheric correction for airborne hyperspectral remote sensing of shallow waters: application to depth estimation, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 3919-3929, <https://doi.org/10.5194/amt-10-3919-2017>.
- Collins, W. J., Bellouin N., Doutriaux-Boucher M., Gedney N., Halloran P., Hinton T. , Hughes J., Jones C. D., Joshi M., Liddicoat S., Martin G., O'Connor F., Rae J., Senior C., Sitch S., Totterdell I., Wiltshire A., & Woodward S., 2011. Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2, *Geosci. Model Dev.* 4, 1051–1075
- Conesa, A., Brotons J.M., Erena M., Manera F.J., Castañer R., & Porras I., 2016. La floración del pomelo, ante el cambio climático. *Revista horticultura*. 2016. ISSN 2340-2903
- Conesa-García, C., Sánchez-Tudela, J. L., Pérez-Cutillas, P., & Martínez-Capel, F., 2018. Spatial variation of the vegetative roughness in Mediterranean torrential streams affected by check dams. *Hydrological Sciences Journal*, 0(0), 1–22. <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1414384>
- Contreras, S., Hunink, J., Alcolea, A., & Jimenez-Martinez, J., 2017. Cuantificación de la descarga subterránea al Mar Menor mediante modelización

hidrogeológica del acuífero superficial cuaternario. Comunidad de regantes Arco Sur. Cartagena.

- Correal, E., Erena, M., Rios S., & Robledo A., 2008. Agroforestry Systems in Southeastern Spain. *Agroforestry in Europe: Advances in Agroforestry*. Springer. Volume 6, 2008, DOI: 10.1007/978-1-4020-8272-6
- Craglia, M. & Annoni, A., 2007. INSPIRE: An innovative approach to the development of spatial data infrastructures in Europe. In *Research and Theory in Advancing Spatial Data Infrastructure Concepts* (Vol. 5, pp. 94–105). ESRI Press, 2007.
- Cuesta, A., Montoro, A., Jochum, A. M., López, P., & Calera, A., 2005. Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. *ITEA. Informacion Tecnica Economica Agraria*, 101(3), 212–224.
- Cutillas, B., 2015. Proteger y defender la Manga del Mar Menor: Estudio histórico-arqueológico de la Torre de San Miguel del Estacio y la Torre de la Encañizada. In *Defensive Architecture of the Mediterranean. XV to XVIII centuries* Rodríguez-Navarro (Ed.).
- Davis, Jr., Fonseca, F. T., & Camara, G., 2011. Environmental Sustainability: The Role of Geographic Information Science and SDI in the Integration of People and Nature. *The SAGE Handbook of GIS and Society*, 123–137. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4135/9781446201046.n7>
- Di Luzio, M., Srinivasan, R., & Arnold, J. G., 2004. A GIS-coupled hydrological model system for the watershed assessment of agricultural nonpoint and point sources of pollution. *Transactions in GIS*, 8(1), 113–136. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2004.00170.x>
- Díaz, A. R., Pedraza, A. C., & Morales A. P., 2017. Expansión urbana y turismo en la Comarca del Campo de Cartagena-Mar Menor (Murcia). *Impacto en el sellado del suelo. Cuadernos de Turismo* 2017, 39: 521-546.
- Díaz, L., Costa, S., Granell, C., & Gould, M., 2007. Migrating geoprocessing routines to web services for water resource management applications. 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper No. 24*, FAO, Rome, Italy.
- D’Urso, G., 2001. Simulation and Management of on-demand irrigation systems: A combined agrohydrological and remote sensing approach, 194. Retrieved from <http://library.wur.nl/WebQuery/clc/1611747>
- Dublin Core, 2006. Dublin Core Metadata Initiative. Making it easier to find information. 2006. Retrieved from <http://www.dublincore.org/>

- Emmen, D. A., 2004. La agricultura de precisión: Una alternativa para optimizar los sistemas de producción. *Invest. Pens. Crit.*, 2, 68–74.
- Erena, M., Navarro E., Rincón L. & Garrido, R., 1998. Los sistemas de información geográfica como herramientas en la caracterización agroclimática. *Riegos y drenajes XXI*. N° 103. Elsevier Prensa. Barcelona.
- Erena, M., Rincón L., Navarro E., López J. A., Caro M., Fontes C. & Soler M^a D., 1999. La gestión de usuarios y el cálculo de necesidades hídricas en el SIAM. XVII Congreso Nacional de Riegos y Drenajes. Murcia.
- Erena, M., García, P., Toledano, F., Cox, J. P., Mazzeo, S., Tirelli, L., & Fernández, L., 2005. M3Flood: an Integrated System for Forecasting, Alerting and Managing Hydraulic Emergency. *Managing*, (July), 11–16.
- Erena, M., Porras, I., García, P., Atenza, J. F., Ochoa, J., & Jover, A. J., 2007. Primeros resultados del SIG citrícola de Murcia: Proyecto SIGEAM. XI Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. UCLM. Albacete.
- Erena, M., López J.A., García P., Caro M., Belda F., Palenzuela J.E., Toledano F., Torralba P., González-Barbera G., & García-Pintado J., 2012. Estimación de precipitación combinada radar-pluviómetros y publicación mediante servicios OGC. XV CNTIG. CSIC. 2012.
- Erena, M., Gris J. & Correal, E. (Eds.), 2013a. Gestion Integrada del agua en la region de Murcia: El caso del Campo de Cartagena. IMIDA Serie técnica: Depósito legal: MU 332-2013 (p. 164).
- Erena, M., García P., López J.A., Caro M., Sánchez D., Paya D., Hernández Z., García R.M., & García R.P., 2013b. Application of OGC services to water management on large irrigation areas. INSPIRE Conference 2013. June 2013 Florence (Italy).
- Erena, M., & García, S., 2014. Diseño y puesta en marcha de una Infraestructura de Datos Espacial sobre Agricultura y Agua. In *Actas del III Workshop en Investigación Agroalimentaria* (p. 400).
- Erena, M., Garcia, R.P., Alcón, F., García P., & Lorenzo L. (Eds.), 2015a. Geoportal del Agua de la Region de Murcia. IMIDA Serie técnica: Depósito legal: MU-829-2014 (p.440).
- Erena, M., López J.A., Quest B. & Dupke S., 2015b. INSPIRE Compliant Provision of Metrological Sensor Data at the IMIDA, INSPIRE-Geospatial World Forum Conference, 25-29 May 2015. Lisbon.
- Erena, M., Montesinos, S., Portillo, D., Alvarez, J., Marin, C., Fernandez, L., & Ruiz, L. A., 2016. Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle for precision agriculture. *International Archives of the Photogrammetry*,

- Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 2016–Janua, 809–816. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B1-809-2016>
- Erena, M., Domínguez, J. A., Soria, J., Aguado-Giménez, F., García-Pintado, J., Melendreras, R., Atenza, J. F., & López, J. A. 2017. Análisis multisensor de la variabilidad espacio temporal de diversos parámetros biofísicos en el Mar Menor. Nuevas plataformas y sensores de teledetección. XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. (Eds. Luis A. Ruiz, Javier Estornell, Manuel Erena). Murcia 3-7 Octubre 2017).
- Erena, M., Brotons, J. M., Conesa, A., Manera, F. J., Castañer, R., García, P., Sánchez, D., & Porras, I., 2017. Desarrollo de un geoportal para el inventario y la evaluación de daños por heladas en los cítricos de la Región de Murcia. Nuevas plataformas y sensores de teledetección. XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. (Eds. Luis A. Ruiz, Javier Estornell, Manuel Erena). Murcia 3-7 octubre 2017).
- Erena, M., & Atenza, J. F., 2018. Uso de drones para el seguimiento topo-batimétrico de los embalses de la cuenca del segura. In Pablo X. & Vázquez G. (Eds.), III Symposium Nacional de Ingeniería Hortícola: Uso de drones y satélites en Agricultura (pp. 188–191). SECH. Lugo.
- Erena, M., Atenza J. F., Villa G., García P., López J. A., Soria J. M., Domínguez J. A., & García S., 2018. Aplicaciones de los drones en problemas hidroambientales: Actualización batimétrica en embalses y zonas costeras. (Eds. López García, M.J., Carmona, P., Salom, J. y Albertos, J.M. Tecnologías de la Información Geográfica: perspectivas multidisciplinares en la sociedad del conocimiento, Universitat de València), pp. 47-56. Valencia. 20-22 de Junio 2018.
- Espín, D., García, R., Ruiz, V., & Conesa, C., 2017. Las lluvias torrenciales e inundaciones de los días 17 y 18 de diciembre de 2016 en la Región de Murcia con particular incidencia en el área vertiente del Mar Menor. Ingeniería del Agua, 21.4(December 2016), 213–229.
- ESRI, 2017. Web AppBuilder for Image Services. Retrieved from <https://github.com/Esri/WAB-Image-Services-Widgets>. Updated July 7, 2017.
- Esteban, V., Aguilar, J., Serra, J., & Medina, J. R., 1995. Levantamientos y seguimientos topo-batimétricos en ingeniería de costas. Ingeniería Del Agua, 2 (5), 181–200.
- European Community, 2001a. Commission Regulation (EC) No. 1799/2001 of 12 September 2001 laying down the marketing standard for citrus fruit.

- European Community, 2001b. Commission Regulation (EC) No. 1148/2001 on checks on conformity to the marketing standards applicable to fresh fruit and vegetables.
- European Community, 2017. Directiva (UE) 2017/845 de la Comisión de 17 de mayo de 2017 por la que se modifica la Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que se refiere a las listas indicativas de elementos que deben tomarse en consideración a la hora de elaborar estrategias marinas. <http://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3381>
- FCGD, 2008. Cadastral Data Content Standard for the National Spatial Data Infrastructure. Version 1.4. Federal Committee Geographic Data Retrieved from https://www.fgdc.gov/standards/projects/cadastral/index_html.
- Ferreira, J. G., Andersen, J. H., Borja, Á., Bricker, S. B., Camp, J., Cardoso da Silva, M., & Claussen, U., 2010. MSFD Task Group 5 Report Eutrophication. JRC Scientific and Technical Reports. <http://doi.org/10.2788/86830>
- Fitchett J.M., Grab S.W., Thompson D.I., & Roshand G., 2014. Spatio-temporal variation in phenological response of citrus to climate change in Iran: 1960–2010, *Agri. Forest Meteorol.* 198–199, 285–293.
- Gallego, M., 2017. Aplicación de los fundamentos de las infraestructuras de datos espaciales en la construcción de sistemas de información geográfica corporativos. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10366/135813>
- García-Ayllón, S., 2017. Diagnosis of complex coastal ecological systems: Environmental GIS analysis of a highly stressed Mediterranean lagoon through spatiotemporal indicators, *Ecological Indicators* 2017, 83: 451–462, doi: 10.1016/j.ecolind.2017.08.015.
- García-Lidón, A., Del Río, J.A., Porras, I., Fuster, M.D., & Ortuño, A., 2003. El limón y sus componentes bioactivos. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Serie Técnica N° 25. 127 pp.
- García, S. G., Giraldo, J. D., & Olmos, P., 2015. Drought Hazard Mapping from Regional Climate Multimodel Ensemble over Spain. *Modern Applied Science*, 10(2), 17. <https://doi.org/10.5539/mas.v10n2p17>
- García-Mora, T. J., & Mas, J. F., 2011. Evaluación de imágenes del sensor MODIS para la cartografía de la cobertura del suelo en una región altamente diversa de México. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 63(1), 83–94.
- García-Pintado, J., Barbera, G. G., Erena, M., & Castillo, V. M., 2009a. Calibration of structure in a distributed forecasting model for a semiarid flash flood: Dynamic surface storage and channel roughness. *Journal of Hydrology*, 377(1–2), 165–184. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.024>

- García-Pintado, J., Barberá, G. G., Erena, M., & Castillo, V. M., 2009b. Rainfall estimation by rain gauge-radar combination: A concurrent multiplicative-additive approach. *Water Resources Research*, 45(1). <https://doi.org/10.1029/2008WR007011>
- García-Pintado, J., G. Barberá, G., Martínez-Mena María, Erena M., Albadalejo J. & Castillo V. M., 2010. El Mar Menor: Caracterización y evaluación de fuentes antrópicas de nutrientes transportados por la Rambla del Albuñón hacia el Mar Menor. Estado actual del conocimiento científico. Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua.
- García-Pintado, J., Barbera, G. G., & Erena, M., 2011. Radar-aided understanding of semiarid flash floods: maximum depression storage and storm motion. In *The use of remote sensing and geographic information systems for irrigation management in Southwest Europe* (Vol. 239, pp. 231–239).
- Gilabert, M.A., Conese, C., Maselli, F., 1994. An atmospheric correction method for the automatic retrieval of surface reflectances from TM images. *Int. J. Remote Sens.* 1994, 15, 2065–2086.
- Gilabert, J., 1992. Análisis del ecosistema plactónico del Mar Menor: Ciclo anual, distribución de tamaños y red trófica. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Gilabert, J., 2001. Seasonal plankton dynamics in a Mediterranean hypersaline coastal lagoon: the Mar Menor. *Journal of Plankton Research*, 23(2), 207–218. <http://doi.org/10.1093/plankt/23.2.207>
- Gómez, F. J., 2015. Evaluación del estado de eutrofización del Mar de Alboran mediante el empleo combinado de imagenes de satelite y de muestreos in situ. Tesis doctoral.Universidad de Málaga.
- González, M. E., 2012. Las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) como un recurso educativo TIC. Estrategias de formación y difusión para el profesorado de la Educación Secundaria Obligatoria. Retrieved from <http://oa.upm.es/11015/>
- Gourmelon, F., 2012. Towards a Spatial Data Infrastructure (SDI) responsive to the needs of Integrated Coastal Zone Management: The GéoBretagne experience (France). *Global Geospatial Conference: Spatially Enabling Government, Industry and Citizens*, 1–16. Retrieved from <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00705072/>
- Grannell, C., Diaz, L., & Gould, M., 2008. Geospatial Web service integration and mashups for water resource applications. *Proceedings of the XXI Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS 2008) XXXVII Part B4, XXXVII(B4)*, 661–666. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.158.9833&rep=rep1&type=pdf>

- Grus, L., 2010. Assessing Spatial Data Infrastructures. Tesis doctoral. Universidad de Wageningen. (p 171)
- GSDI, 2004. The SDI Cookbook, Version 2.0. Global Spatial Data Infrastructure Association, Technical Working Group Report, (November), 157. Retrieved from http://gsdiassociation.org/images/publications/cookbooks/SDI_Cookbook_from_Wiki_2009.pdf
- Gustavsson, M., Seijmonsbergen, A. C., & Kolstrup, E., 2008. Structure and contents of a new geomorphological GIS database linked to a geomorphological map - With an example from Liden, central Sweden. *Geomorphology*, 95(3–4), 335–349. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.014>
- Gutierrez-Corea, F.V., Manso-Callejo, M. Á., Moreno, F.J., & Soler, C., 2010. Rayman: Interoperability use of Meteorological Observation, In: 1st International WebMSG 2010, Como, Italia
- Gutierrez-Corea, F. V., Manso-Callejo, M. A., & Vázquez-Hoehne, A., 2013. Assessment of the availability of near-real time open weather data provided by networks of surface stations in Spain. *Earth Science Informatics*, 6(3), 145–163. <https://doi.org/10.1007/s12145-013-0120-8>
- Han, J.H., Cho, J. G.; Son, In-C. Kim, S.H., & Lee, In-B., 2012. Effects of Elevated Carbon Dioxide and Temperature on Photosynthesis and Fruit Characteristics of ‘Nīitaka’ Pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai), *Hort. Environ. Biotechnol.* 53(5), 357-361.
- Heinemann, A. B., Hoogenboom, G., & De Faria, R. T., 2002. Determination of spatial water requirements at county and regional levels using crop models and GIS: An example for the State of Parana, Brazil. *Agricultural Water Management*, 52(3), 177–196. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00137-8](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00137-8).
- Hejmanowska, B., Nowak J., Angileri V., & Devos W., 2008. Geomatics in support of the Common Agricultural Policy. In 15th GeoCAP Annual Conference. JRC IES. <https://doi.org/10.2788>.
- Hernández, Z., Sánchez, D., Pecci, J., Intrigiolo, D. S., & Erena, M., 2012. Use of remote sensing for the calculation of biophysical indicators. *Otions Méditerranéennes. Series B: Studies and Research*, 67(67), 55–63.
- Herwitz, S. R., Johnson, L. F., Dunagan, S. E., Higgins, R. G., Sullivan, D. V., Zheng, J., & Brass, J. A., 2004. Imaging from an unmanned aerial vehicle: Agricultural surveillance and decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44(1), 49–61. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.02.006>

- Horsburgh, J. S., Tarboton, D. G., Hooper, R. P., & Zaslavsky, I., 2014. Managing a community shared vocabulary for hydrologic observations. *Environmental Modelling and Software*, 52, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.10.012>
- Horsburgh, J. S., Tarboton, D. G., Maidment, D. R., & Zaslavsky, I., 2008. A relational model for environmental and water resources data. *Water Resources Research*, 44(5), 1–12. <https://doi.org/10.1029/2007WR006392>
- Hsu, K.L., Gao, X., Sorooshian, S., & Gupta, H.V., 1997. Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks, *J. Appl.Meteor.*, 36, 1176-1190.
- Hunink, J. E., Contreras, S., Soto-García, M., Martin-Gorriz, B., Martinez-Álvarez, V., & Baille, A., 2015. Estimating groundwater use patterns of perennial and seasonal crops in a Mediterranean irrigation scheme, using remote sensing. *Agricultural Water Management*, 162(March 2016), 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.003>
- Hutchings, J.B., 1994. Food colour and appearance. Univ. Press. Cambridge, Great Britain. 513 pp.
- Hunter, R.S., 1967. Development of the Citrus colourimeter. *Food Technol.*, 21, 100-105.
- Ibarra D., 2016. Análisis y Evolución de las Playas de la Región de Murcia (1956-2013). Tesis Doctoral Universidad de Murcia. 351 pp.
- IDEE, 2018. Infraestructura de Datos Espaciales de España. Instituto Geográfico Nacional. <http://www.idee.es/>. Madrid.
- IEEE, 1990. Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. New York, NY: 1990.
- IEO, 2018. Estudio oceanografico integral de alta resolucion de la laguna costera del Mar Menor, Murcia. Informe final (noviembre 2016 - septiembre 2017). Instituto Español de Oceanografía.
- IEO, 2018: Infraestructura de Datos Espaciales del Instituto Español de Oceanografía. Instituto Español de Oceanografía. <http://www.ieo.es/>. Madrid.
- IGN, 2007. SDIGER: A cross-border inter-administration Spatial Data Infrastructure to support WFD information access for Adour-Garonne and Ebro River Basins. Retrived from <https://www.iaaa.es/>
- IHM, 2018. Infraestructura de Datos Espaciales del Instituto Hidrográfico de la Marina, Instituto Hidrográfico de la Marina. <http://www.ihm.es/>. Madrid.

- Imran, M., Zurita-milla, R., & By, R. A. De., 2011. Integrated Environmental Modeling - An SDI-based Framework for Integrated Assessment of Agricultural Information. 14th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 1–9. Retrieved from http://www.gams.com/docs/contributed/sp_100.pdf
- INSPIRE, 2013a. D2.8.II/III.7 INSPIRE Data Specification on Environmental Monitoring Facilities – Technical Guidelines” version 3.0. INSPIRE Thematic Working Group Environmental Monitoring Facilities. European Commision. Joint Research Centre.
- INSPIRE, 2013b. D2.8.II.1 Data Specification on Elevation – Technical Guidelines. INSPIRE Thematic Working Group Elevation. European Commision. Joint Research Centre.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ISO, 2009. UNE-EN ISO 19115:2006/AC. UNE-EN. Ccomité técnico AEN/CTN 148 Información geográfica digital. AENOR.
- Jensen, A. M., Han, Y., & Chen, Y., 2004. AggieAir: Towards Low-cost Cooperative Multispectral Remote Sensing Using Small Unmanned Aircraft Systems.
- Jiménez-Martínez, J., Candela, L., García-Aróstegui, J. L., & Aragón, R. (2012). A 3D geological model of Campo de Cartagena, SE Spain: Hydrogeological implications. *Geologica Acta*, 10(1), 49–62. <http://doi.org/10.1344/105.000001703>
- Jiménez-Martínez, J., García-Aróstegui, J. L., Hunink, J. E., Contreras, S., Baudron, P., & Candela, L., 2016. The role of groundwater in highly human-modified hydrosystems: a review of impacts and mitigation options in the Campo de Cartagena-Mar Menor coastal plain (SE Spain). *Environmental Reviews*, 24(4), 377–392. <http://doi.org/10.1139/er-2015-0089>
- Recio, J. A., 2009. Técnicas de extracción de características y clasificación de imágenes orientada a objetos aplicadas a la actualización de bases de datos de ocupación del suelo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia..
- Jorrín, S., Guinea de Salas, A., & Aramburu, D., 2010. La Infraestructura de datos espaciales de la Agencia Vasca del Agua (IDE - URA) - Proyecto temático basado en tecnología ESRI. I Jornadas Ibéricas de Infra-Estruturas de Dados Espaciais, 1–9.
- Justice, C. O., Vermote, E., Townshend, J. R., Defries, R., Roy, D. P., Hall, D. K., Salomonson, V. V., Privette, J. L., Riggs, G., & Strahler, A., 1998. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): Land remote

- sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, 1228–1249.
- Kamble, B., & Irmak, A., 2011. Remotely Sensed Evapotranspiration Data Assimilation for Crop Growth Modeling. *Evapotranspiration*, Prof. Leszek Labedzki (Ed.), ISBN: 978-953-307-251-7.
- Keller, J.; Bliesner, R.D., 1990. *Sprinkle and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Klemas, V. V., 2015. Coastal and Environmental Remote Sensing from Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. *Journal of Coastal Research*, 315(5), 1260–1267. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00005.1>
- Kumar, M., Bhatt, G., & Duffy, C. J., 2010. An object-oriented shared data model for GIS and distributed hydrologic models. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(7), 1061–1079. <https://doi.org/10.1080/13658810903289460>
- Kun, X. U., 2007. Developing Sustainable Geo-information Service in the Context of SDI (Shaanxi Bureau of Surveying and Mapping). *Geo-Information Science*.
- Latre, M., Zarazaga-Soria, F., Béjar, R., Muro-Medrano, P., & Nogueras-iso, J., 2005. SDIGER: A cross-border inter-administration SDI to support WFD information access for Adour-Garonne and Ebro River Basins. *Proceedings of the 11th EC-GI & GIS Workshop: ESDI: Setting the Framework*, (January). Retrieved from http://iaaa.cps.unizar.es/curriculum/09-Otras-Publicaciones-Congresos/cong_2005_ECGIS_Sdiger.pdf
- León, V.M., & Bellido-Millán, J.M. (eds.). 2016. *Mar Menor: una laguna singular y sensible. Evaluación científica de su estado*. Instituto Español de Oceanografía. 343 pp. 2016.
- Lillo M. J., 1978. Geomorfología litoral del Mar Menor. *Papeles del Departamento de Geografía*, ISSN 0210-5241, N° 8, 1978-1979, págs. 9-48
- López F., 2017. Caracterización de la hidrodinámica del Mar Menor y los flujos de intercambio con el Mediterráneo mediante datos in situ y modelado numérico. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena. 223 pp.
- MacDougall, D.B., 2002. Colour measurement of food: principles and practice. In: *Colour in Food. Improving quality*. Ed. Douglas B. MacDougall. Woodhead Publishing Limited. Cambridge England. 3: 33-63.
- Mahabot, M. M., Jaud, M., Pennober, G., Le Dantec, N., Troadec, R., Suanez, S., & Delacourt, C., 2017. The basics for a permanent observatory of shoreline evolution in tropical environments; lessons from back-reef beaches in La

- Reunion Island. *Comptes Rendus - Geoscience*, 349(6–7), 330–340.
<https://doi.org/10.1016/j.crte.2017.09.010>
- MAPAMA, 2018. Infraestructura de Datos Espaciales del MAPAMA, <http://www.mapama.gob.es/es/>, Madrid.
- Man, W. H. E. De., 2007. Are Spatial Data Infrastructures Special? Research and Theory in Advancing Spatial Data Infrastructures Concepts, 5, 33–54.
- Manera, F.J., Brotons, J.M., Conesa, A., & Porras, I., 2012a. Influence of temperature on the beginning of degreening in lemon peel, *Sci. Hortic.* 145, 34–38.
- Manera, F.J, Brotons, J.M., Conesa, A., Porras, I., 2012b. Relationship between air temperature and degreening of lemon (*Citrus lemon* L. Burm. f.) peel colour during maturation, *Aust. J. Crop Sci.* 6(6), 1051–1058.
- Manisa, M., & Nkwae, B., 2007. Developing Botswana Spatial Data Infrastructure: From Concept to Reality. In *FIG Working* (pp. 13–17).
- Manso, M A., 2009. El uso de los metadatos para el desarrollo de un modelo de interoperabilidad para las Infraestructuras de Datos Espaciales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Martín, M P.; Chuvieco, E., & Domínguez, L., 1994. Cartografía , evaluación y seguimiento de grandes incendios forestales a partir de imágenes NOAA-AVHRR. *Revista de Teledetección*, 1–9.
- Martinez-Álvarez, V., & Martinez, B., 2018. Informe sobre el Proyecto Informativo y Estudio de Impacto Ambiental del “Análisis de soluciones para el objetivo del vertido cero al Mar Menor proveniente del Campo de Cartagena”. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Más J., 1994. El Mar Menor: Relaciones, diferencias y afinidades entre la laguna costera y el Mar Mediterráneo adyacente. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- Matese, A., Primicerio, J., Di Gennaro, F., Fiorillo, E., Vaccari, F. P., & Genesio, L., 2013. Development and application of an autonomous and flexible unmanned aerial vehicle for precision viticulture. *Acta Horticulturae*, 978, 63–69. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.978.5>
- Matese, A., & Di Gennaro, S. F., 2015a. Technology in precision viticulture: A state of the art review. *International Journal of Wine Research*, 7(1), 69–81. <https://doi.org/10.2147/IJWR.S69405>
- Matese, A., Toscano, P., Di Gennaro, S. F., Genesio, L., Vaccari, F. P., Primicerio, J., & Gioli, B. 2015b. Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote

- sensing platforms for precision viticulture. *Remote Sensing*, 7(3), 2971–2990. <https://doi.org/10.3390/rs70302971>
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qiu, G., 2007. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density Cypress Forest. *Sensors*, 7(11), 2636–2651. <https://doi.org/10.3390/s7112636>
- McDougall, K., 2006. A Local-State Government Spatial Data Sharing Partnership Model to Facilitate SDI Development. University of Melbourne.
- McDougall, K., Rajabifard, A., & Williamson, I., 2007. A Mixed-Method Approach for Evaluating Spatial Data Sharing. In *Research and Theory in Advancing Spatial Data Infrastructure Concepts* (Vol. 5). ESRI Press, 2007
- McFeeters, S. K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 17:7, 1425-1432, DOI: 10.1080/01431169608948714
- Mechlia N., & Carrol J.J., 1989. Agroclimatic modeling for the simulation of phenology, yield, and quality of crop production. 1. Citrus response formulation, *Int. J. Biometeorol.* 33, 36–51.
- Medina-Pasaje, J. L., 2005. Metodología y herramientas UML para el modelado y análisis de sistemas de tiempo real orientados a objetos, 382. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10803/10633>
- Meneses-Tovar, C. L., 2011. El índice normalizado diferencial de la vegetación. *Revista de Teledetección*, 62, 39–46. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/015/i2560s/i2560s07.pdf>
- Moclan, C., 2017. Teledetección espacial : De los métodos clásicos al " BIG DATA ". Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid.
- Mohammadi, H., 2008. The Integration of Multi-source Spatial Datasets in the Context of SDI Initiatives. Department of Geomatics, School of Engineering, Centre for SDI and Land Administration, PhD Thesis(December), 261 pages. Retrieved from <http://www.csdila.unimelb.edu.au/publication/thesis/hosseini-PhD.pdf>
- Molina, J., 2004. Caracterización y modelización de la evaporación en tanques evaporímetros y embalses de riego. Evaluación de los efectos de mallas de sombreado., 234.
- Montesinos, S., 1996. Teledetección: su utilización en la cuantificación y seguimiento de recursos hidráulicos aplicados al regadío. *Proceso digital de imágenes Landsat TM de la Mancha Occidental*. En *Informaciones y Estudios* 51. MOPU. Madrid.

- Montesinos, S., & Garcia. C., 2003. An Improved Methodology for Detecting Irrigation in Plastic-Covered Crops by Using EO Data. In 6th Inter-Regional Conference on Environment-Water (pp. 1–12). Albacete.
- Montesinos, S., Almagro, F., & Urrea, M., 2009. Estimación de superficies en regadío en la Cuenca del Segura mediante teledetección y SIG. En Montesinos, S. y Fernández, L. Eds. (2009). Teledetección. Agua y Desarrollo Sostenible. Actas del XIII Congreso de Asociación Española de Teledetección. Calatayud.
- Moss R.H., Edmonds J.A., Hibbard K.A., Manning M.R., Rose S.K., Van Vuuren D.F., Carter T.R., Emori S., Kainuma M, Kram T, Meehl G.A., Mitchell J.F. Nakicenovic N., Riahi K., Smith S.J., Stouffer RJ, Thomson AM., Weyant JP., & Wilbanks TJ., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment, *Nature* 463, 747-756.
- Muro-Medrano, P. R., Zarazaga-soria, F. J., & Luna, C. M. De., 2013. Aproximación geosemántica para detectar inconsistencias en los metadatos de servicios web geoespaciales. *GeoFocus*, 154–176. Retrieved from www.geo-focus.org.
- Najar, C. R., 2006. A Model-Driven Approach To Management of Integrated Metadata - Spatial Data in the Context of Spatial Data Infrastructures. Tesis Doctoral. University of Rostock.
- Nebert, D., Reed, C., & Wagner, R. M., 2007. Proposal for a Spatial Data Infrastructure Standards Suite: SDI 1.0. In *Research and Theory in Advancing Spatial Data Infrastructure Concepts* (Vol. 5). ESRI Press, 2007.
- Nebiker, S., Annen, A., Scherrer, M., & Oesch., D., 2008. A light-weight multispectral sensor for micro uav – opportunities for very high resolution airborne remote sensing. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII, 1193–1200.
- Nikkil, R., Seilonen, I., & Koskinen, K., 2010. Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70 (2), 328–336. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.08.013>
- Norlund, P., 2010. Automatic and semi-automatic methods for metadata creation and maintenance: long term implementation of the INSPIRE directive. Gavle. Retrieved from <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:383048>
- Lemmens R., 2006. Semantic interoperability of distributed geo-services. PhD Thesis. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. ITC. Holanda
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J., 2014. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons.

- OGC, 2012. Sensor Observation Service Interface Standard. Retrieved from <http://www.opengeospatial.org/standards/sos>.
- Olfat, H., 2013. Automatic spatial metadata updating and enrichment. Retrieved from <http://minerva-access.unimelb.edu.au/handle/11343/37835>
- Olmos P., 2015. Evaluación de la variabilidad hidrológica desde modelos climáticos regionales a escala de cuenca. Tesis Doctoral. UPCT. Cartagena.
- Owusu-banahene, W., Mensah, F., Coetzee, S., Cooper, A. K., Rautenbach, V., Sinvula, K. M., & Hippondoka, M., 2013. A Description of Spatial Data Infrastructure Stakeholders in Ghana Using the ICA Model. Spatial Enablement in Support of Economic Development and Poverty Reduction: Research, Development and Education Perspectives, 63–84.
- Pascual, A. F. R., Alonso, J. L. S., Jiménez, J. Á. A., Power, P. A., Maganto, A. S., Blázquez, L. M. V., & Emilio J., 2007. How to deal with terrestrial and oceanic information using SDI technologies. 8th International Symposium on GIS and Computer Mapping for Coastal Zone Management (CoastGIS'07), 1, 1–10. Retrieved from http://oa.upm.es/5150/2/Rodriguez_et_al_CoastGIS07_paper.pdf
- Pasquier, H., & Verheyden, A., 1998. The Vegetation Programming Center, a new subsystem in the Spot4 ground segment. In DASIA 98-Data Systems in Aerospace (p. 367). volume 422.
- Paudyal, D. R., McDougall, K., & Apan, A., 2009. Building SDI Bridges for Catchment Management. In J. A. Z. B. van Loenen, J.W.J. Besemer (Ed.), SDI Convergence: Research, Emerging Trends, and Critical Assessment (pp. 265–270). Nederlandse Commissie voor Geodesie Netherlands Geodetic Commission.
- Peig, E., 2003. Interoperabilidad de metadatos en sistemas distribuidos. Tesis Doctoral. Universitat Pompeu Fabra.
- Pérez-Ruzafa, Á., Gilabert J., Bel-Lan, A., Moreno, V., & Gutierrez, J. M., 1996. New approach to chlorophyll a determination in shallow coastal waters by remote sensing. *Scientia Marina*, 60(11), 19–27.
- Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., & Gilabert, J., 2005. The ecology of the Mar Menor coastal lagoon: a fast changing ecosystem under human pressure. In: Coastal lagoons. Ecosystem processes and modeling for sustainable use and development. Gönenc, I.E. & Wolflin, J.P. Eds. CRC Press Boca Ratón.
- Pérez-Ruzafa, A., De Pascalis, F., Ghezzi, M., Quispe-Becerra, J. I., Hernández-García, R., Muñoz, I., & Marcos, C., 2018. Connectivity between coastal lagoons and sea: Asymmetrical effects on assemblages' and populations' structure. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.02.031>

- Perni, A., Martínez, F., & Martínez, J. M., 2011. Economic valuation of coastal lagoon environmental restoration: Mar Menor (SE Spain). *Ciencias Marinas*, 37(2), 175–190. <http://doi.org/10.7773/cm.v37i2.1889>
- PHDS, 2016. Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura. 2015-2021. Confederación Hidrográfica del Segura, Real Decreto 1/2016 del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, BOE. Madrid.
- Domingo-Pinillos, J., Senent-Aparicio, J., García-Aróstegui, J., & Baudron, P., 2018. Long Term Hydrodynamic Effects in a Semi-Arid Mediterranean Multilayer Aquifer: Campo de Cartagena in South-Eastern Spain. *Water*, 10(10), 1320. <http://doi.org/10.3390/w10101320>
- Poláková, J., Farmer, A., Berman, S., Naumann, S., Frelih-Larsen, A., & von Toggenburg, J., 2013. Sustainable management of natural resources with a focus on water and agriculture Study - Study summary. <https://doi.org/10.2861/17436>
- Powers, R. P., Hermosilla, T., Coops, N. C., & Chen, G., 2015. Remote sensing and object-based techniques for mapping fine-scale industrial disturbances. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34(1), 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.06.015>
- Prieto, E., 2010. El modelo fao - 56 asistido por satélite en la estimación de la evapotranspiración en un cultivo bajo estrés hídrico y suelo desnudo. Tesis Universidad de Castilla-La Mancha.
- Rajabifard, A., 2002. Diffusion of Regional Spatial Data Infrastructures: with particular reference to Asia and the Pacific. PhD Thesis, University of Melbourne, Australia.
- Rajabifard, A., 2005. Diffusion of regional spatial data infrastructures: with particular reference to Asia and the Pacific. Retrieved from <http://minerva-access.unimelb.edu.au/handle/11343/38958>
- Redó, M. N., Galindo, P. A., Negre, P. V., Canut, C. ., & Guijarro, J., 2010. Asistente para la publicación de información de sensores mediante la especificación SOS de OGC. I Jornadas Ibéricas de Infra-Estructuras de Datos Espaciais, 1–8.
- Richards, J. A., 1986. Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer-Verlag. New York 281 p.
- Robledano, F., Esteve, M.A., Calvo, J.F., Martínez-Paz, J.M., Farinós, P., Carreño, M.F., Soto, I., Avilés, M., Ballesteros, G.A., Martínez-Baños, P., & Zamora, A., 2017. Multi-criteria assessment of a proposed ecotourism, environmental education and research infrastructure in a unique lagoon ecosystem: The

- Encañizadas del Mar Menor (Murcia, SE Spain), *Journal for Nature Conservation*, 2018, 43: 201-210. Doi; 10.1016/j.jnc.2017.10.007.
- Rosenzweig, C., & Hillel, D., 1998. *Climate Change and the Global Harvest: Potential Impacts of the Greenhouse Effect on Agriculture*. Oxford University Press.
- Rossini, M., Panigada, C., Cilia, C., Meroni, M., Busetto, L., Cogliati, S., & Colombo, R., 2015. Discriminating Irrigated and Rainfed Maize with Diurnal Fluorescence and Canopy Temperature Airborne Maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(2), 626–646. <https://doi.org/10.3390/ijgi4020626>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., & Harlan, J. C., 1974. Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Final Report, Greenbelt, MD, USA, 1–137. Retrieved from http://scholar.google.com/scholar?q=related:kfZY0xukQScJ:scholar.google.com/&hl=en&num=20&as_sdt=0,5%5Cnpapers2://publication/uuid/FB22B85B-B2F9-442E-AF63-58F3517012FC
- Roy, D., 2011. Towards Spatially Enabled Society. *Geospatial World*. Retrieved from http://www.geospatialworld.net/index.php?option=com_content&view=article&id=23290
- Santhi, C., Srinivasan, R., Arnold, J. G., & Williams, J. R., 2006. A modeling approach to evaluate the impacts of water quality management plans implemented in a watershed in Texas. *Environmental Modelling & Software*, 21(8), 1141–1157. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.05.013>
- Sheikheslami S., 2010. Building a Seamless SDI Model for Land and Marine Environments. Doctoral Thesis. University of Melbourne.
- SIAM, 2016. Sistema de Información Agraria de Murcia. Retrieved February 14, 2016, from <http://siam.imida.es/apex/?p=101:1:660234344143629>.
- Smith, M., 1993. *Cropwater: A computer program for irrigation planning and management*. Food and Agricultural Organisation (FAO), Irrigation and Drainage Paper 46. Roma. 126 pp.
- Snyder, R., JP, M.-A., & Matulich, S., 2010. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. FAO. Retrieved from <http://www.fao.org>
- Soto-Garcia, M., Del-Amor-Saavedra, P., Martin-Gorriz, B., & Martínez-Alvarez, V., 2013. The role of information and communication technologies in the modernisation of water user associations' management. *Computers and*

- Electronics in Agriculture, 98, 121–130.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.005>
- Sterckx, S., Benhadj, I., Duhoux, G., Livens, S., Dierckx, W., Goor, E., Adriaensen, S., Heyns, W., Van Hoof, K., & Strackx, G., 2014. The PROBA-V mission: Image processing and calibration. *International Journal of Remote Sensing*, 35, 2565–2588.
- Stocker, T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., , Xia Y., Bex V., & Midgley P.M. (eds.). (2013). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, 2013: *Climate Change 2013*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324
- Sugiura, T., Ogawa, H., Fukuda, N., Moriguchi, T., 2013. Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change, *Sci. Rep.* 3(2418), 1-7.
- Sutanta, H., 2012. *Spatial Planning Support System for an Integrated Approach to Disaster Risk Reduction*. Retrieved from <http://minerva-access.unimelb.edu.au/handle/11343/37854>
- Tarboton, D. G., Maidment, D., Zaslavsky, I., Ames, D., Goodall, J., Hooper, R. P., Schreuders, K., 2011. Data Interoperability in the Hydrologic Sciences, 132–137. Retrieved from <https://eim.ecoinformatics.org/eim2011/eim-proceedings-2011/view>
- Teye, F., 2011. *A Conceptual Model for Collaboration-Based Farm Management Information Systems*. (Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, Ed.).
- Titov, A., & Gordov, E., 2013. Architecture of the local spatial data infrastructure for regional climate change research. *EGU General Assembly 2013*, 15, 8345.
- Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., De Castro, A. I., & Peña-Barragán, J. M. 2013. Configuration and specifications of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for early site specific weed management. *PloS One*, 8(3), e58210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058210>
- Townshend, J. R., 1994. Global data sets for land applications from the Advanced Very High Resolution Radiometer: an introduction. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3319–3332.
- Tóth, K., Portele, C., Illert, A., Lutz, M., & Lima, M. N. De., 2012. Interoperability Specifications in Spatial Data Infrastructures. <https://doi.org/10.2788/21003>

- Tubiello, F.N , Rosenzweig C., Goldberg R. A., Jagtap S., & Jones J. W., 2002a. Effects of climate change on US crop production: simulation results using two different GCM scenarios. Part I: Wheat, potato, maize, and citrus, *Clim. Res.* 20, 259–270.
- Tubiello, F.N, & Ewert, F., 2002b. Simulating the effects of elevated CO₂ on crops: approaches and applications for climate change, *Eur. J. Agron.* 18, 57–74.
- Tuppad, P., Winchell, M. F., Wang, X., Srinivasan, R., & Williams, J. R., 2009. ARCAPEX: Arcgis interface for agricultural policy environmental extender (APEX) Hydrology/water quality model. *International Agricultural Engineering Journal*, 18(1–2), 59–71.
- USDA, 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. USDA. <https://doi.org/10.1007/BF01574372>
- USGS, 2015. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, 8(June), 97. Retrieved from <http://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>
- Valencia, J., 2017. Infraestructuras de datos espaciales tridimensionales: hacia un modelo real de la información geográfica. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10366/137170>
- Velasco, A. & Salzmann, M., 2009. The Establishment of the Cadastral Parcel as a Core Element in the European SDI - Lessons Learned and View Towards Inspiring Applications. *Spatial Data Infrastructure Convergence: Building SDI Bridges to Address Global Changes*. Retrieved from <http://www.gsdi.org/gsdiconf/gsdi11/papers/pdf/74.pdf>
- Velasco, J., Lloret, J., Millan, A., Marin, A., Barahona, J., & Abellan, P., 2006. Nutrient and particulate inputs into the Mar Menor agricultural watershed, 37–56. <https://doi.org/10.1007/s11270-006-2859-8>
- Vilches, L. M., 2011. Metodología para la integración basada en ontologías de información de bases de datos heterogéneas en el dominio hidrográfico. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Volodin, E. M., Dianskii, N. A., & Gusev, A.V., 2010. Simulating Present Day Climate with the INMCM4.0 Coupled Model of the Atmospheric and Oceanic General Circulations. *Izv. Atmos. Ocean. Phy.* 46(4), 414–431.
- Watanabe, Y., & Kawahara, Y., 2016. UAV Photogrammetry for Monitoring Changes in River Topography and Vegetation. *Procedia Engineering*, 154, 317–325. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.482>
- Williamson, I., Rajabifard, A., & Binns, A., 2007. The Role of Spatial Data Infrastructures in Establishing an Enabling Platform for Decision Making in

- Australia. Research and Theory in Advancing Spatial Data Infrastructure Concepts, 5, 121–132. Retrieved from <http://www.gsdi-docs.org/gsdiconf/GSDI-9/papers/TS40.4paper.pdf>
- Wright, D., Rasmussen, V., Ramsey, R., Baker, D., & Ellsworth, J., 2004. Canopy Reflectance Estimation of Wheat Nitrogen Content for Grain Protein Management. *GIScience & Remote Sensing*, 41(4), 287–300. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.41.4.287>
- Wu, T., 2012. A mass-flux cumulus parameterization scheme for large-scale models: description and test with observations, *Clim. Dyn* 38, 725–744.
- Yang, C., Xu, Y., & Nebert, D., 2013. Redefining the possibility of digital Earth and geosciences with spatial cloud computing. *International Journal of Digital Earth*. Taylor & Francis Group. <http://doi.org/10.1080/17538947.2013.769783>
- Yuan, Z., & Shen, Y., 2013. Estimation of Agricultural Water Consumption from Meteorological and Yield Data: A Case Study of Hebei, North China. *PLoS ONE*, 8(3), 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058685>
- Zeiler, M., 2009. Modeling Our World: The ESRI Guide to Geodatabase Concepts.
- Zepeda S., L., 2008. Metodología para el diseño donceptual de almacenes de datos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Zhang, C., & Kovacs, J. M., 2012. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>
- Zhou, Y., Dong, J., Xiao, X., Xiao, T., Yang, Z., Zhao, G., & Qin, Y., 2017. Open surface water mapping algorithms: A comparison of water-related spectral indices and sensors. *Water (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/w9040256>
- Zhao, S., Wang, C., Bordovsky, J. P., Sheng, Z., & Gastelum, J. R., 2011. Estimating the Spatial Distribution of Groundwater Demand In the Texas High Plains. *Agricultural & Applied Eco- Nomics Association's 2011 AAEE & NAREA Joint Annual Meeting*, 1–20. Retrieved from <http://purl.umn.edu/103931>
- Valero, M. J., 1972. Artes y sistemas de pesca del Mar Menor. *Papeles del Departamento de Geografía*, n° 4, p. 74-101.

ÍNDICES

7. Índices gráficas y tablas.

7.1. Índice de figuras e imágenes

Figura 2-1. Ejemplo de tratamiento de imágenes con SIG de escritorio	18
Figura 2-2. Satélites de órbita polar y satélites geoestacionarios (Montesinos, 1996).....	24
Figura 2-3. Los satélites del programa Copernicus (ESA, 2018).....	26
Figura 2-4. Evolución de la resolución espectral y espacial (Camps-Valls, 2011).	28
Figura 2-5. Comparativa de bandas Sentinel II y Landsat 8 (USGS, 2016)	28
Figura 2-6. Esquema inicial de interoperabilidad de IDEarM, adaptado de (FGDC, 2012).....	36
Figura 2-7. Esquema de reutilización de información en el portal de Opendata de España	38
Figura 2-8. Datos abiertos necesarios para la gestión del agua (De Stefano, 2018)	39
Figura 2-9. Estructura jerárquica de las IDE (Adaptado de Rajabifard, 2002).....	45
Figura 2-10 Relación entre las reglas de implementación y las guías técnicas (INSPIRE, 2007).....	46
Figura 2-11. Arquitectura de tres capas de una IDE (Gallego, 2017)	47
Figura 2-12. Esquema de observación para servicio SOS adaptado (OGC, 2007).....	49
Figura 2-13. Modelo de datos OGC para un servicio SOS (OGC, 2007)	50
Figura 2-14. Pantalla inicial del catálogo de metadatos del proyecto Telerieg.	53
Figura 2-15. Visor del proyecto Telerieg (http://iderm.imida.es/telerieg/).....	55
Figura 2-16. Integración de servicios WMS y REST en un visor del Campo de Cartagena	57
Figura 2-17. Arquitectura de una plataforma SIG en la nube (GIScloud, 2018).....	59
Figura 2-18. Nube privada desarrollada en IMIDA para IDEarM.....	60
Figura 2-19. Previsión de los impactos del cambio climático en España (CEDEX).....	62
Figura 2-20. Tendencias de precipitación media anual en Murcia (%)	63
Figura 2-21. Tendencias del incremento de la temperatura máxima anual en Murcia (°C).....	64
Figura 2-22. Esquema del balance hídrico (2000-2010) (Jiménez-Martínez et al., 2016).....	66
Figura 2-23. Altimetría y delimitación del Campo de Cartagena.....	68
Figura 2-24. Concesión de agua de la CRCC (CRCC, 2018).....	69
Figura 2-25. Usos SIGPAC en la zona piloto el Campo de Cartagena (2017)	70
Figura 2-26. Espacios naturales en el área del Mar Menor (CARM, 2017).....	75
Figura 2-27. Modelo general de la eutrofia en la DMEM (Ferreira et al., 2010).	77
Figura 2-28. Autopiloto Pixhawk basado en Arduino.....	78
Figura 2-29. Portales de descarga de imágenes de satélites de ESA, NASA y AIRBUS	79
Figura 2-30. Servicio de visualización personalizada de Sentinel Playground	80
Figura 2-31. Servicios WMS de Sentinel II de Sinergise.....	80
Figura 2-32. Servicio Geostore para la programación y acceso a los satélites de AIRBUS	81
Figura 3-1. Geodatabase de IDEarM y versión GDB adaptada a INSPIRE (IDEarM-I)	90
Figura 3-2. Vista de la estructura de la geodatabase de IDEarM	91

<i>Figura 3-3. Flujo de trabajo para la creación y mantenimiento de la geodatabase de IDEarM.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 3-4. Descripción de los usos del parcelario de Catastro (Ayen, 2012).....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 3-5. Descripción de los usos del SIGPAC.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 3-6. Descripción de las agrupaciones de usos del SIGPAC.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 3-7. La arquitectura de tres capas de la CRCC (Soto, 2013).....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 3-8. Escena Landsat 8 (199/34) del 08/09/2014.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 3-9. Escenas de Sentinel II que cubren la Región de Murcia.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 3-10. Efecto de la topografía en el cálculo del NDVI (Montesinos, 1996).....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 3-11. Modelo de interoperabilidad de una IDE nacional (FGDC, 2015).....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 3-12. Arquitectura de la tecnología ESRI utilizada (ESRI, 2018).....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 3-13. Esquema de procesamiento de las imágenes Landsat 8.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 3-14. Esquema de procesamiento de las imágenes Pleiades 1A/B y Deimos II.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 3-15. Equipos desarrollados para fotogrametría y batimetría.</i>	<i>114</i>
<i>Figura 3-16. Tecnologías utilizadas para el almacenamiento y publicación de los datos.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 4-1. Integración de datos meteorológicos de diversas fuentes en un visor interoperable.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 4-2. Sistema de procesamiento automático de imágenes de satélite en Telerieg.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 4-3. Arquitectura para publicación de datos meteorológicos mediante un servicio SOS.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 4-4. Redes de estaciones hidrometeorológicas en el Campo de Cartagena.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 4-5. Zonas delimitadas por la ley 1/2018 del Mar Menor.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 4-6. Visor de imágenes Landsat 8 (25/04/2017).....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 4-7. Superficie regada en cada fecha (22/07/2014).....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 4-8. Usos SIGPAC en el Campo de Cartagena en el año 2.017.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 4-9. Usos agrícolas de la CRCC en el año 2.017.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 4-10. Usos agrícolas en regadío en el CC según catastro en el año 2.017.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 4-11. Ejemplo de Kc (limonero Verna) en el Campo de Cartagena (Rincón, 1997).....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 4-12. Esquema balance de agua en una parcela.....</i>	<i>133</i>
<i>Figura 4-13. Distribución de los cítricos en el Campo de Cartagena.....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 4-14. Ejemplo de las necesidades netas mensuales $Ne=ETc-Pe$ (mm) en una parcela de limonero utilizando la estación TP42 de la red SIAM en Torrepacheco.....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 4-15. Evolución de los NDVI en una parcela.</i>	<i>138</i>
<i>Figura 4-16. Metodología para actualizar la superficie regable en un periodo.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 4-17. Precipitación media anual en las zonas agrícolas de Murcia (mm/año).....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 4-18. Distribución mensual de las precipitaciones del 2017 respecto a la media (l/m^2).....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 4-19. Evapotranspiración anual de referencia según el método de Penman-Monteith (mm).....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 4-20. Previsiones del incremento de temperaturas mínimas. (AEMET, 2016).....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 4-21. Evolución de la coordenada colorimétrica a en la corteza del limón, de las temperaturas mínimas diarias y de las temperaturas mínimas promedio de los 14 días anteriores a la toma de datos.</i>	<i>148</i>

<i>Figura 4-22. Relación de la coordenada colorimétrica a con las temperaturas mínimas promedio de los 14 días anteriores en la campaña 2008-2013</i>	<i>149</i>
<i>Figura 4-23. Temperaturas campaña 2014_15 y previsión para la campaña 2099/100 de las temperaturas mínimas diarias y temperaturas promedio de 14 días para los diferentes modelos.....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 4-24. Evolución en el tiempo del inicio del proceso de desverdización para los modelos (Inmcm4_RCP4.5, BCCCSM-1-m RCP6.0 y HadGEM2-CCRCP8.5) y el promedio de 10 años para cada modelo.</i>	<i>151</i>
<i>Figura 4-25. Estimación de la evolución durante el otoño e invierno de la coordenada a según los modelos (Inmcm4_RCP4.5, BCCCSM-1-m RCP6.0 y HadGEM2-CCRCP8.5) con medias de 10 años hacia atrás, de los distintos años.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 4-26. Estimation of the evolution during the autumn and winter of the coordinate a according to the models Inmcm4_RCP4.5, BCCSM-1-m RCP6.0 and HadGEM2-CCRCP8.5.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 4-27. Estimación de la evolución durante el otoño y el invierno de la coordenada a de acuerdo con los modelos (Inmcm4_RCP4.5, BCCSM-1-m RCP6.0 y HadGEM2-CCRCP8.5) y utilizando los valores medios del procedimiento de 10 años para diferentes años (2020/21, 2030/31, 2050/51, 2075/76 y 2099/100)</i>	<i>154</i>
<i>Figura 4-28. Fechas de las imágenes seleccionadas para el estudio.....</i>	<i>158</i>
<i>Figura 4-29. Imágenes Landsat 8 de 15/05/2015-05/03/2016 y del 27/05/2017</i>	<i>158</i>
<i>Figura 4-30. Batimetría y ubicación de los perfiles muestreo con el CTD el 11/07/2016</i>	<i>159</i>
<i>Figura 4-31. Equipos de campo radiómetro HidroRad-1 y CTD (Turner-C3/ SBE19).</i>	<i>160</i>
<i>Figura 4-32. Relación de la reflectancia y la turbidez en los puntos de muestreo con el CTD</i>	<i>162</i>
<i>Figura 4-33. Mapas de turbidez (NTU).....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 4-34. Relación de la reflectancia y la clorofila-a en los puntos de muestreo con el CTD</i>	<i>163</i>
<i>Figura 4-35. Mapas de contenido en clorofila a [Cla]</i>	<i>164</i>
<i>Figura 4-36. Relación entre turbidez (FTU) y [Cla]</i>	<i>165</i>
<i>Figura 4-37. Evolución del contenido en clorofila en las fechas de imágenes</i>	<i>165</i>
<i>Figura 4-38. Puntos de muestreo (clorofila-a y radiometría) y perfiles de clorofila-a para calibración de imágenes de satélite el 18/04/2017</i>	<i>166</i>
<i>Figura 4-39. Coeficiente de absorción del agua del Mar Menor (λ).</i>	<i>169</i>
<i>Figura 4-40. Estudio del efecto de la clausura del emisario en la Rambla del Albuñón</i>	<i>170</i>
<i>Figura 4-41. Diferencia en el contenido de [Cla] y turbidez entre 11/7/2016 y el 2/9/2016</i>	<i>171</i>
<i>Figura 4-42. Lluvia acumulada en el episodio del 15-19 de diciembre e imagen del Mar Menor tomadas el día 20/12/2016.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 4-43. Evolución de la salinidad (PSU) entre el 26/02/2016 y el 20/12/2016 registrado por la red de muestreo de la UMU (Pérez-Ruzafa, 2017)</i>	<i>173</i>
<i>Figura 4-44. Evolución semanal de los 5 parámetros medidos (T°, Turbidez, [Cla], O y Salinidad) de los 12 puntos por el servicio de pesca entre 02/08/2016 y el 11/09/2018 (CARM, 2018).</i>	<i>174</i>

<i>Figura 4-45. Imagen Landsat RGB 432 del Mar Menor el 27/10/2017 y ubicación de sus golos y ramblas influentes</i>	175
<i>Figura 4-46. Mapa de la entrada al Mar Menor por la torre de la Encañizada en el año 1817</i>	177
<i>Figura 4-47. Planimetría del Instituto Geográfico Nacional de datada el 3/06/1899</i>	178
<i>Figura 4-48. Detalle de las encañizadas en el orto del vuelo USAF de 1956</i>	179
<i>Figura 4-49. Gola de la Encañizada Nueva transformada en canal de la urbanización Veneziola (Año 1978)</i>	180
<i>Figura 4-50. Volumen de agua en el Mar Menor (Hm³) por isobata (m) en el año 2009</i>	181
<i>Figura 4-51. Avión y plan de vuelo fotogramétrico realizado el 12/03/2017</i>	182
<i>Figura 4-52. Dron equipado con ecosonda mono haz</i>	184
<i>Figura 4-53. Comprobaciones de calado realizados con el dron flotante en las Encañizadas</i>	185
<i>Figura 4-54. Proceso de integración del Modelo Digital de Superficies de las encañizadas</i>	186
<i>Figura 4-55. Proceso para obtener el modelo de extracción de profundidad (Z)</i>	188
<i>Figura 4-56. Modelos de extracción de profundidad de agua para los diferentes sensores</i>	189
<i>Figura 4-57. Evolución de la gola utilizando el cociente de las bandas NIR y R donde los colores cálidos indican las zonas emergidas y los tonos azules indican el agua y su profundidad el 15/10/2012 y el 05/12/2017</i>	190
<i>Figura 4-58. Ortofotos de la gola el 04/10/2009 y el 12/03/2017</i>	191
<i>Figura 4-59. Evolución batimetría entre el 04/10/2009 y el 12/03/2017</i>	191
<i>Figura 4-60. Depósitos de arena (en rojo) mediante la resta del índice NIR/R entre el 15/10/2012 y el 05/12/2017</i>	192
<i>Figura 4-61. Visor web con los datos batimétricos obtenidos</i>	193
<i>Figura 4-62. Sección de entrada de agua en las encañizadas</i>	194
<i>Figura 4-63. Evolución de la pérdida de sección (1997-2017)</i>	194
<i>Figura 5-1. Arquitectura y tecnología propuesta para IDEarM</i>	197
<i>Figura 8-1. Herramientas para transformación al modelo de datos unificado de INSPIRE</i>	246
<i>Figura 8-2. Vértices geodésicos (IGN) y estaciones GNSS permanentes (CARM)</i>	247
<i>Figura 8-3. Cuadrículas Mapas Topográficos Nacionales (MTN50, MTN25) y MTR05</i>	247
<i>Figura 8-4. Nombre geográficos y toponimia Mapa Topográfico Nacional 1:200000</i>	248
<i>Figura 8-5. Límites municipales Mapa Topográfico Regional 1:5000</i>	248
<i>Figura 8-6. Direcciones postales (IGN/Navteq) 1:5000</i>	249
<i>Figura 8-7. Polígonos catastrales MH 1:5000</i>	249
<i>Figura 8-8. Redes de transporte Mapa Topográfico Regional 1:5000</i>	250
<i>Figura 8-9. Red hidrográfica Mapa Topográfico Nacional 1:25000</i>	250
<i>Figura 8-10. Espacios naturales protegidos (ENP) 1:5000</i>	251
<i>Figura 8-11. Mapa de altimetría (PNOA) 1:25000</i>	251
<i>Figura 8-12. Mapa de pendientes (%) obtenidas el Lidar (PNOA, 2009)</i>	252
<i>Figura 8-13. Mapa de cultivos y aprovechamientos (Pastos, 2001) 1:50000</i>	252

<i>Figura 8-14. Orto PNOA de 2013 1:25000</i>	253
<i>Figura 8-15. Mapa geológico IGME 1:50000</i>	253
<i>Figura 8-16. Mapa litológico del IGME 1:200000</i>	254
<i>Figura 8-17. Mapa hidrogeológico del IGME 1:200000</i>	254
<i>Figura 8-18. Mapa de permeabilidad (IGME) 1:200000</i>	255
<i>Figura 8-19. Polígonos de muestreo para las encuestas ESYRCE 1:5000</i>	255
<i>Figura 8-20. Edificaciones del catastro de rustica y de urbana MEYH 1:5000</i>	256
<i>Figura 8-21 Mapa de suelo predominante (Lucdeme) 1:200000</i>	256
<i>Figura 8-22. Mapa de texturas de suelo predominante (Inuama) 1:200000</i>	257
<i>Figura 8-23. Mapa SIOSE año 2005 (IGN/CARM) 1:25000</i>	257
<i>Figura 8-24. Zonas y medios sanitarios (Geosalud) 1:5000</i>	258
<i>Figura 8-25. Red de saneamiento y depuración EDAR- 1:200.000</i>	258
<i>Figura 8-26. Redes de estaciones automáticas (IMIDA, AEMET, CHS) 1:25000</i>	259
<i>Figura 8-27. Polígonos industriales (INFO/CARM) 1:25000</i>	259
<i>Figura 8-28. Explotaciones agrícolas y usos SIGPAC 1:5000</i>	260
<i>Figura 8-29. Explotaciones agrícolas dedicadas a cítricos 1:5000</i>	260
<i>Figura 8-30. Explotaciones ganaderas clasificadas por tipo 1:25000</i>	261
<i>Figura 8-31. Perímetro de los colectivos de riego, redes y embalses de riego 1:5000</i>	261
<i>Figura 8-32. Núcleos de población y secciones censales del INE 1:25000</i>	262
<i>Figura 8-33. Zonas Ley 1/2018 y Zona vulnerable a la contaminación por nitratos 1:25000</i>	262
<i>Figura 8-34. Láminas de inundación del SNZI (CHS) 1:25000</i>	263
<i>Figura 8-35. Precipitación media anual (mm) AEMET (Periodo 1971-2000) 1:200000</i>	263
<i>Figura 8-36. Temperatura media anual (°C) AEMET (Periodo 1971-2000) 1:200000</i>	264
<i>Figura 8-37. Temperatura mínima media anual (°C) AEMET (Periodo 1971-2000) 1:200000</i>	264
<i>Figura 8-38. Temperatura mínima abs. anual (°C) AEMET (Periodo 1971-2000) 1:200000</i>	265
<i>Figura 8-39. Número de días anual de heladas AEMET (Periodo 1971-2000) 1:200000</i>	265
<i>Figura 8-40. Información cartas náuticas 1:25000</i>	266
<i>Figura 8-41. Bionomía (OISMA) 1:50000</i>	266
<i>Figura 8-42. Regiones biogeográficas de España (MAPAMA) 1:1000000</i>	267
<i>Figura 8-43. Habitat prioritarios, humedales y corredores ecológicos (OISMA) 1:50000</i>	267
<i>Figura 8-44. Árboles monumentales y zonas de protección de aves 1:50000</i>	268
<i>Figura 8-45. Centros de producción y líneas de distribución de energía 1:200000</i>	268
<i>Figura 8-46. Registro minero de la CARM 1:200000</i>	269
<i>Figura 8-47. Composición RGB (4,3,2) de verano de la serie Landsat (1975-1984)</i>	270
<i>Figura 8-48. Composición RGB (4,3,2) de verano de la serie Landsat (1990-1995)</i>	271
<i>Figura 8-49. Composición RGB (4,3,2) de verano de la serie Landsat (2000-2005)</i>	272
<i>Ilustración 8-50. Composición RGB (4,3,2/2010) y 543/2016) de la serie Landsat</i>	273
<i>Figura 8-51. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 03/01/2017</i>	274

<i>Figura 8-52. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 04/02/2017.....</i>	<i>275</i>
<i>Figura 8-53. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 08/03/2017.....</i>	<i>276</i>
<i>Figura 8-54. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 02/04/2017.....</i>	<i>277</i>
<i>Figura 8-55. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 27/05/2017.....</i>	<i>278</i>
<i>Figura 8-56. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 21/06/2017.....</i>	<i>279</i>
<i>Figura 8-57. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 14/07/2017.....</i>	<i>280</i>
<i>Figura 8-58. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 24/08/2017.....</i>	<i>281</i>
<i>Figura 8-59. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 25/09/2017.....</i>	<i>282</i>
<i>Figura 8-60. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 13/10/2017.....</i>	<i>283</i>
<i>Figura 8-61. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 19/11/2017.....</i>	<i>284</i>
<i>Figura 8-62. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 05/12/2017.....</i>	<i>285</i>
<i>Figura 8-63. Imágenes Pleiades RGB del 15/10/2016 y del 05/12/2017</i>	<i>336</i>
<i>Figura 8-64. Imágenes Pleiades RGB del 20/12/2016 y del 21/03/2017</i>	<i>336</i>
<i>Figura 8-65. Imágenes Pleiades NDVI del 15/10/2016 y del 05/12/2017</i>	<i>337</i>
<i>Figura 8-66. Imagen Pleiades RGB y NDVI sobre MDS del 28/06/2017</i>	<i>337</i>
<i>Figura 8-67. Imagen Pleiades RGB y NDVI del 15/04/2018</i>	<i>338</i>
<i>Figura 8-68. Imagen Pleiades NDVI y profundidad de agua (Z) del 15/04/2018.....</i>	<i>338</i>
<i>Figura 8-69. Imagen Pleiades RGB y NDVI del 29/04/2018</i>	<i>339</i>
<i>Figura 8-70. Detalles vuelo fotogramétrico del 12/03/2017.....</i>	<i>339</i>
<i>Figura 8-71. Detalle del vuelo fotogramétrico del día 12/03/2017.....</i>	<i>340</i>
<i>Figura 8-72. Detalle del perfil topográfico (m) del día 12/03/2017.....</i>	<i>340</i>
<i>Figura 8-73. Vehículo aéreo no tripulado desarrollado en colaboración con Droning.....</i>	<i>343</i>
<i>Figura 8-74. Vehículo 3DR con camera Kodak PixPro 4K 360º</i>	<i>344</i>
<i>Figura 8-75. Ala fija Parrot Disco Pro con cámara multiespectral Sequoia.....</i>	<i>345</i>
<i>Figura 8-76. Vehículo acuático no tripulado desarrollado por Inntelia.....</i>	<i>346</i>
<i>Figura 8-77. Vehículo submarino desarrollado con la empresa Nido Robotics</i>	<i>347</i>

7.2. Índice de tablas

<i>Tabla 2-1. Características espectrales de Landsat 7 y 8 (USGS, 2018),</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 2-2. Bandas espectrales del Sentinel II- MSI (ESA, 2016) ,</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 2-3. Comparativa de bandas de Landsat 8 y Sentinel II (USGS, 2016),</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 2-4. Datos de referencia y temáticos (INSPIRE, 2007),</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 2-5. Valores medios de las variables climáticas en el Campo de Cartagena,</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 2-6. Valores medios de las precipitaciones en el Campo de Cartagena,</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 2-7. Superficie municipal dentro del Campo de Cartagena,</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 2-8. Superficie citrícola en la Región de Murcia y del Campo de Cartagena,</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 3-1. Datos integrados en la geodatabadase de IDEarM,</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 3-2. Estructura de campos para datos agronómicos de IDEarM,</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 3-3. Variables climáticas almacenadas en el SLAM,</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 3-4. Ejemplos escenarios PNACC (AEMET, 2018),</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 3-5. Fechas disponibles de Landsat 8 y Sentinel II en 2017,</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 4-1. Superficies regables por UDAs del Campo de Cartagena (PHDS, 2015/21),</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 4-2. Relación de transpiración (TR) para diferentes texturas de suelo (Keller, 1990),</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 4-3. Comparativa superficie agrícola zonas ley 1/2018 en 2017,</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 4-4. Resultados del inventario de cítricos en el Campo de Cartagena (Erena, 2007),</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 4-5. Precipitación en las ramblas vertientes al Mar Menor del 15-19/12/2016,</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 4-6. Fechas y características de las imágenes de satélite utilizados en seguimiento golas,</i>	<i>183</i>
<i>Tabla 4-7. Fechas y características de los datos de campo utilizados en el estudio de las golas,</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 4-8. Evolución de la entrada en la gola de las encañizadas (2012-2017),</i>	<i>192</i>

ANEXOS

8. ANEXOS.

8.1. Anexo I. Catálogo de servicios internacionales de visualización INSPIRE

En esta página se pueden consultar el **Catálogo de Servicios de Visualización Inspire** basados en estándares [OGC](#) (**Open Geospatial Consortium**) y acorde a los requisitos *INSPIRE*, que la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA). La EEA cubre áreas temáticas como el aire, el agua, el cambio climático, la biodiversidad, la tierra y el ruido. Los servicios de mapas están disponibles a través varios portales, como INSPIRE y servicios REST de ArcGIS.

El acceso a los serbios disponibles se puede realizar a través de las siguientes direcciones y servicios REST:

<http://discomap.eea.europa.eu>

<http://water.discomap.eea.europa.eu/arcgis/rest/services>

<http://air.discomap.eea.europa.eu/arcgis/rest/services>

<http://bio.discomap.eea.europa.eu/arcgis/rest/services>

<http://land.discomap.eea.europa.eu/arcgis/rest/services>

<http://noise.discomap.eea.europa.eu/arcgis/rest/services>

<http://discomap.eea.europa.eu/ArcGis/rest/services>

8.2. Anexo II. Catálogo de servicios nacionales de visualización INSPIRE en el tema de agricultura, agua y medio ambiente

En esta página se pueden consultar el **Catálogo de Servicios de Visualización Inspire** basados en estándares [OGC \(Open Geospatial Consortium\)](#) y acorde a los requisitos INSPIRE, que la [IDE del Ministerio](#) – (MAPAMA, IGME, IEO, IHM, IGN,...). Estos servicios han sido implementados con arreglo a las siguientes Reglamentos: [Reglamento sobre interoperabilidad de los conjuntos y datos espaciales](#), [Reglamento sobre servicios de red](#) y el [Reglamento sobre metadatos](#), junto con las guías técnicas que los desarrollan: [Guía Técnica para la implementación de Servicios de Visualización INSPIRE](#). A los servicios nacionales (OGC) de la IDEE se puede acceder desde la siguiente dirección: (<https://idee.es/web/guest/directorio-de-servicios>). Las capas disponibles en el ámbito de la agricultura, agua medio ambiente se estructuran como sigue (<https://www.mapama.gob.es/es/cartografia-y-sig/>):

- Capas generales
 - **Cuencas y subcuencas hidrográficas**
 - Cuencas de los ríos principales
 - Subcuencas de los cauces de la red hidrográfica básica
 - Subcuencas de las masas de agua superficiales de la DMA
 - **Demarcaciones hidrográficas y Organismos de cuencas**
 - Ámbitos de gestión de los organismos de cuenca
 - Demarcaciones hidrográficas (ámbito terrestre)
 - Demarcaciones hidrográficas (ámbito terrestre y marino)
 - **Red Hidrográfica**
 - Red de canales principales
 - Red hidrográfica básica procedente MDT 100x100
 - Ríos principales (superficie de cuenca mayor de 500 km2)
- Concesiones y autorizaciones
 - Aprovechamientos Hidroeléctricos
- Delimitación y restauración del Dominio Público Hidráulico
 - **Cauces con estudios de DPH**
 - Cauces con Dominio Público Hidráulico deslindado (*visible a partir de la escala 1:1.000.000*)
 - Cauces con Dominio Público Hidráulico estimado (*visible a partir de la escala 1:1.000.000*)
 - Zonas de Flujo Preferente
 - Inventario de tramos con estudios
 - Restauración del DPH
 - Caracterización de la vegetación de la ribera
 - Proyectos ejecutados de la estrategia nacional de restauración de ríos
 - Azudes y pequeñas presas obsoletas demolidas en el Marco de la ENRR
 -
- Estado y calidad de las aguas
 - **Aguas subterráneas**
 - Red Piezométrica
 - Catálogo de Sondeos
 - **Aguas superficiales**

- **ID-TAX**
 - Diatomeas
 - Fitoplancton
 - Invertebrados
 - Macrófitos
 - Peces
 - Evaluación de los recursos hídricos
 - **Programa ERHIN**
 - Subcuencas nivales de las cuencas hidrográficas
 - Subcuencas Red de pértigas del programa ERHIN
 - Telenivómetros utilizados en el programa ERHIN
 - Glaciares del Pirineo español incluidos en el programa ERHIN
 - **Red Oficial de Estaciones de Aforos**
 - Red Oficial de Estaciones de Aforos
 - Gestión de los riesgos de inundación
 - **Áreas con riesgo potencial significativo de inundación**
 - Áreas con riesgo potencial significativo de inundación
 - Mapa de riesgos
 - Riesgo de inundación fluvial T=10 años
 - Riesgo a la población(*visible a partir de la escala 1:1.000.000*)
 - Riesgo a las actividades económicas(*visible a partir de la escala 1:1.000.000*)
 - Riesgo en puntos de especial importancia
 - Áreas de importancia medioambiental
 - Riesgo de inundación fluvial T=100 años
 - Riesgo a la población(*visible a partir de la escala 1:1.000.000*)
 - Riesgo a las actividades económicas(*visible a partir de la escala 1:1.000.000*)
 - Riesgo en puntos de especial importancia
 - Áreas de importancia medioambiental
 - Riesgo de inundación fluvial T=500 años
 - Riesgo a la población(*visible a partir de la escala 1:1.000.000*)
 - Riesgo a las actividades económicas(*visible a partir de la escala 1:1.000.000*)
 - Riesgo en puntos de especial importancia
 - Áreas de importancia medioambiental
 - Cartografía de zonas inundables de origen fluvial
 - Zonas Inundables con alta probabilidad (T=10 años)(*visible a partir de la escala 1:1.000.000*)
 - Zonas Inundables frecuente (T=50 años) (*visible a partir de la escala 1:1.000.000*)
 - Zonas Inundables con probabilidad media u ocasional (T=100 años)(*visible a partir de la escala 1:1.000.000*)
 - Zonas Inundables con probabilidad baja o excepcional (T=500 años)(*visible a partir de la escala 1:1.000.000*)
- Planificación hidrológica

- Masas de agua subterránea artículo 5
 - Masas de aguas superficiales (líneas) artículo 5
 - Masas de aguas superficiales (polígonos) artículo 5
 - Sistemas de explotación
- Saneamiento y depuración
 - **Aglomeraciones urbanas**
 - Aglomeraciones urbanas cuestionario 2009
 - Aglomeraciones urbanas cuestionario 2011
 - **Estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas**
 - Depuradoras de aguas residuales cuestionario 2009
 - Depuradoras de aguas residuales cuestionario 2011
- Seguridad de Presas y Embalses
 - Inventario de Embalses
 - Inventario de Presas
 - Zonas inundables en Normas de Explotación (*visible a partir de la escala 1:1.000.000*)
 - Inventario de tramos con Planes de Emergencia
- Zonas protegidas
 - **Zonas sensibles**
 - Zonas sensibles a la eutrofización (líneas)
 - Zonas sensibles a la eutrofización (polígonos)
 - Zonas de captación de las zonas sensibles a la eutrofización
 - **Zonas vulnerables**
 - Zonas vulnerables a nitratos

Algunos de los servicios más utilizados en IDEarM son:

A los servicios OGC del IEO puede acceder desde la siguiente dirección:

<http://barreto.md.ieo.es/arcgis/rest/services/wms/wmsBase/MapServer>

A los servicios OGC del IGME puede acceder desde la siguiente dirección:

<http://info.igme.es/serviciosmapas/>

A los servicios OGC del IHM puede acceder desde la siguiente dirección:

<http://ideihm.covam.es/servicios.html>

A los servicios OGC del catastro puede acceder desde la siguiente dirección:

<http://www.catastro.minhap.gob.es/esp/wms.asp>

8.3. *Anexo III. Catálogo de servicios regionales de visualización OGC*

En esta página se pueden consultar el **Catálogo de Servicios de Visualización Inspire** basados en estándares **OGC** (**Open Geospatial Consortium**) que los servidores del IMIDA (IDERM, GEOPORTAL, IDEArM).

Los servicios OGC y REST regionales están disponibles en las siguientes direcciones:

- Servicios IDEarM <https://geoportal.imida.es/gis/rest/>
- Servicios IDERM: [Servicios OGC - IDERM](#)
- Servicios IDEarM - Web Map Service (WMS):

[WMS 1.1.1:](#)

<http://idearm.imida.es:8080/geoserver/ows?service=wms&version=1.1.1&request=GetCapabilities>

[WMS 1.3.0:](#)

<http://idearm.imida.es:8080/geoserver/ows?service=wms&version=1.3.0&request=GetCapabilities>

- IDEARM - Web Map Tile Service (WMTS)
- IDEARM - Web Feature Service (WFS)
- IDEARM - Web Coverage Service (WCS)

Los datos meteorológicos del IMIDA/SIAM están accesibles mediante un servicio SOS y un visor

<http://sigyt.imida.es:8080/52n-jsClient-1.0.0/#map>

Servicios WMS de sitmurcia

- SITMURCIA

<http://portaleslr.carm.es/web/sitmurcia/wms-ordenacion-del-territorio>

8.4. Anexo IV. Imágenes y datos de la zona piloto (Zonas Ley 1/2018)

Anexo I Tema 1 - Sistemas de coordenadas de referencia A1T01 : I.1 : CRS : Coordinate Reference Systems	
Anexo I Tema 2 - Sistema de cuadrículas geográficas A1T02 : I.2 : GGS : Geographical Grid Systems	
Anexo I Tema 3 - Nombres geográficos A1T03 : I.3 : GN : Geographical Names	
Anexo I Tema 4 - Unidades administrativas A1T04 : I.4 : AU : Administrative Units	
Anexo I Tema 5 - Direcciones A1T05 : I.5 : AD : Addresses	
Anexo I Tema 6 - Parcelas catastrales A1T06 : I.6 : CP : Cadastral Parcels	
Anexo I Tema 7 - Redes de transporte A1T07 : I.7 : TN : Transport Networks	
Anexo I Tema 8 - Hidrografía A1T08 : I.8 : HY : Hydrography	
Anexo I Tema 9 - Lugares protegidos A1T09 : I.9 : PS : Protected Sites	
Anexo II Tema 1 - Elevaciones A2T01 : II.1 : EL : Elevation	
Anexo II Tema 2 - Cubierta terrestre A2T02 : II.2 : LC : Land Cover	
Anexo II Tema 3 - Ortoimágenes A2T03 : II.3 : OI : Orthoimagery	
Anexo II Tema 4 - Geología A2T04 : II.4 : GE : Geology	
Anexo III Tema 1 - Unidades estadísticas A3T01 : III.1 : SU : Statistical Units	
Anexo III Tema 2 - Edificios A3T02 : III.2 : BU : Buildings	
Anexo III Tema 3 - Suelo A3T03 : III.3 : SO : Soil	
Anexo III Tema 4 - Uso del suelo A3T04 : III.4 : LU : Land Use	
Anexo III Tema 5 - Salud y seguridad humanas A3T05 : III.5 : HH : Human Health and Safety	
Anexo III Tema 6 - Servicios de utilidad pública y estatales A3T06 : III.6 : US : Utility and Governmental Services	
Anexo III Tema 7 - Instalaciones de observación del medio ambiente A3T07 : III.7 : EF : Environmental Monitoring Facilities	
Anexo III Tema 8 - Instalaciones de producción e industriales A3T08 : III.8 : PF : Production and Industrial Facilities	
Anexo III Tema 9 - Instalaciones agrícolas y de acuicultura A3T09 : III.9 : AF : Agricultural and Aquaculture Facilities	
Anexo III Tema 10 - Distribución de la población — Demografía A3T10 : III.10 : PD : Population Distribution - Demography	
Anexo III Tema 11 - Zonas sujetas a ordenación/ Restricciones/.. A3T11 : III.11 : AM : Area Management/Restriction/	

Anexo III Tema 12 - Zonas de riesgos naturales

A3T12 : III.12 : NZ : Natural Risk Zones

Anexo III Tema 13 - Condiciones atmosféricas

A3T13 : III.13 : AC : Atmospheric Conditions

Anexo III Tema 14 - Aspectos geográficos de carácter meteorológico

A3T14 : III.14 : MF : Meteorological Geographical Features

Anexo III Tema 15 - Rasgos geográficos oceanográficos

A3T15 : III.15 : OF : Oceanographic Geographical Features

Anexo III Tema 16 - Regiones marinas

A3T16 : III.16 : SR : Sea Regions

Anexo III Tema 17 - Regiones biogeográficas

A3T17 : III.17 : BR : Bio-geographical Regions

Anexo III Tema 18 - Hábitats y biotopos

A3T18 : III.18 : HB : Habitats and Biotopes

Anexo III Tema 19 - Distribución de las especies

A3T19 : III.19 : SD : Species Distribution

Anexo III Tema 20 - Recursos energéticos

A3T20 : III.20 : ER : Energy Resources

Anexo III Tema 21 - Recursos minerales

A3T21 : III.21 : MR : Mineral Resources

Inventario y herramientas de transformación de las capas de la geodatabase

Anexo	Nº Dataset	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	Suma
I	9	3	5	4	20	1	11	9	13	24													9
II	4	3	7	16	10																		3
III	21	19	4	4	19	8	60	6	2	41	7	31	7	10	4	3	1	0	6	2	6	1	24
Reste			5	22						12													3
Satélite				60																			6
Totales								21															49

Satélite/Sensor	Resolución (m)	Periodo	Frecuencia	Nº productos
NOAA / AVHRR	1100	1989-2015	1 día	4.804
SENTINEL II / MSI	10/20/30/60	2015-2018	5 días	206
LANDSAT L1-L7/ MSS-TM	15/30/79/120	1972-2015	16 días	810
LANDSAT L8 / OLI	15/30/60	2013-2018	8/16 días	200
DEIMOS I / SLIM6	22	2010-2017	2 meses	20
SPOT 5-6-7 / NAOMI	2,5/10	2005-2015	1 año	10
QUICKBIRD/ P-MS	0,6/2,4	2003-2005	3 años	2
PLEIADES 1A-1B / HIRI	0,5/2	2015-2018	3 años	2

Figura 8-1. Herramientas para transformación al modelo de datos unificado de INSPIRE

247

Anexo I Tema 3 - Nombres geográficos
A1T03 : I.3 : GN : Geographical Names

Figura 8-4. Nombre geográficos y toponimia Mapa Topográfico Nacional 1:200000

Anexo I Tema 4 - Unidades administrativas
A1T04 : I.4 : AU : Administrative Units

Figura 8-5. Límites municipales Mapa Topográfico Regional 1:5000

Anexo I Tema 5 - Direcciones
A1T05 : I.5 : AD : Addresses

Figura 8-6. Direcciones postales (IGN/Navteq) 1:5000

Anexo I Tema 6 - Parcelas catastrales
A1T06 : I.6 : CP : Cadastral Parcels

Figura 8-7. Polígonos catastrales MH 1:5000

Anexo I Tema 7 - Redes de transporte
A1T07 : I.7 : TN : Transport Networks

Figura 8-8. Redes de transporte Mapa Topográfico Regional 1:5000

Anexo I Tema 8 - Hidrografía
A1T08 : I.8 : HY : Hydrography

Figura 8-9. Red hidrográfica Mapa Topográfico Nacional 1:25000

Anexo I Tema 9 - Lugares protegidos
A1T09 : I.9 : PS : Protected Sites

Figura 8-10. Espacios naturales protegidos (ENP) 1:5000

Anexo II Tema 1 - Elevaciones
A2T01 : II.1 : EL : Elevation

Figura 8-11. Mapa de altimetría (PNOA) 1:25000

Figura 8-12. Mapa de pendientes (%) obtenidas el Lidar (PNOA, 2009)

Anexo II Tema 2 - Cubierta terrestre
A2T02 : II.2 : LC : Land Cover

Figura 8-13. Mapa de cultivos y aprovechamientos (Pastos, 2001) 1:50000

Anexo II Tema 3 - Ortoimágenes
A2T03 : II.3 : OI : Orthoimagery

Figura 8-14. Orto PNOA de 2013 1:25000

Anexo II Tema 4 - Geología
A2T04 : II.4 : GE : Geology

Figura 8-15. Mapa geológico IGME 1:50000

Figura 8-16. Mapa litológico del IGME 1:200000

Figura 8-17. Mapa hidrogeológico del IGME 1:200000

Figura 8-18. Mapa de permeabilidad (IGME) 1:200000

Anexo III Tema 1 - Unidades estadísticas
A3T01 : III.1 : SU : Statistical Units

Figura 8-19. Polígonos de muestreo para las encuestas ESYRCE 1:5000

Anexo III Tema 2 - Edificios
A3T02 : III.2 : BU : Buildings

Figura 8-20. Edificaciones del catastro de rustica y de urbana MEYH 1:5000

Anexo III Tema 3 - Suelo
A3T03 : III.3 : SO : Soil

Figura 8-21 Mapa de suelo predominante (Lucdeme) 1:200000

Figura 8-22. Mapa de texturas de suelo predominante (Inuama) 1:200000

Anexo III Tema 4 - Uso del suelo
A3T04 : III.4 : LU : Land Use

Figura 8-23. Mapa SIOSE año 2005 (IGN/CARM) 1:25000

Anexo III Tema 5 - Salud y seguridad humanas
A3T05 : III.5 : HH : Human Health and Safety

Figura 8-24. Zonas y medios sanitarios (Geosalud) 1:5000

Anexo III Tema 6 - Servicios de utilidad pública y estatales
A3T06 : III.6 : US : Utility and Governmental Services

Figura 8-25. Red de saneamiento y depuración EDAR- 1:200.000

Anexo III Tema 7 - Instalaciones de observación del medio ambiente
A3T07 : III.7 : EF : Environmental Monitoring Facilities

Figura 8-26. Redes de estaciones automáticas (IMIDA, AEMET, CHS) 1:25000

Anexo III Tema 8 - Instalaciones de producción e industriales
A3T08 : III.8 : PF : Production and Industrial Facilities

Figura 8-27. Polígonos industriales (INFO/CARM) 1:25000

Anexo III Tema 9 - Instalaciones agrícolas y de acuicultura
A3T09 : III.9 : AF : Agricultural and Aquaculture Facilities

Figura 8-28. Explotaciones agrícolas y usos SIGPAC 1:5000

Figura 8-29. Explotaciones agrícolas dedicadas a cítricos 1:5000

Figura 8-30. Explotaciones ganaderas clasificadas por tipo 1:25000

Figura 8-31. Perímetro de los colectivos de riego, redes y embalses de riego 1:5000

Anexo III Tema 10 - Distribución de la población — demografía
A3T10 : III.10 : PD : Population Distribution - Demography

Figura 8-32. Núcleos de población y secciones censales del INE 1:25000

Anexo III Tema 11 - Zonas sujetas a ordenación/ Restricciones/..
A3T11 : III.11 : AM : Area Management/Restriction/

Figura 8-33. Zonas Ley 1/2018 y Zona vulnerable a la contaminación por nitratos 1:25000

Anexo III Tema 12 - Zonas de riesgos naturales
A3T12 : III.12 : NZ : Natural Risk Zones

Figura 8-34. Láminas de inundación del SNZI (CHS) 1:25000

Anexo III Tema 13 - Condiciones atmosféricas
A3T13 : III.13 : AC : Atmospheric Conditions

Figura 8-35. Precipitación media anual (mm) AEMET (Periodo 1971-2000) 1:200000

Figura 8-36. Temperatura media anual (°C) AEMET (Periodo 1971-2000) 1:200000

Figura 8-37. Temperatura mínima media anual (°C) AEMET (Periodo 1971-2000)

1:200000

Figura 8-38. Temperatura mínima abs. anual (°C) AEMET (Periodo 1971-2000) 1:200000

Anexo III Tema 14 - Aspectos geográficos de carácter meteorológico
A3T14 : III.14 : MF : Meteorological Geographical Features

Figura 8-39. Número de días anual de heladas AEMET (Periodo 1971-2000) 1:200000

Anexo III Tema 15 - Rasgos geográficos oceanográficos
A3T15 : III.15 : OF : Oceanographic Geographical Features

Figura 8-40. Información cartas náuticas 1:25000

Anexo III Tema 16 - Regiones marinas
A3T16 : III.16 : SR : Sea Regions

Figura 8-41. Bionomía (OISMA) 1:50000

Anexo III Tema 17 - Regiones biogeográficas
A3T17 : III.17 : BR : Bio-geographical Regions

Figura 8-42. Regiones biogeográficas de España (MAPAMA) 1:1000000

Anexo III Tema 18 - Hábitats y biotopos
A3T18 : III.18 : HB : Habitats and Biotopes

Figura 8-43. Habitat prioritarios, humedales y corredores ecológicos (OISMA) 1:50000

Anexo III Tema 19 - Distribución de las especies
A3T19 : III.19 : SD : Species Distribution

Figura 8-44. Árboles monumentales y zonas de protección de aves 1:50000

Anexo III Tema 20 - Recursos energéticos
A3T20 : III.20 : ER : Energy Resources

Figura 8-45. Centros de producción y líneas de distribución de energía 1:200000

Anexo III Tema 21 - Recursos minerales
A3T21 : III.21 : MR : Mineral Resources

Figura 8-46. Registro minero de la CARM 1:200000

Anexo II Tema 3 - Ortoimágenes

Serie de imágenes de satélite del periodo: 1975-2018

Figura 8-47. Composición RGB (4,3,2) de verano de la serie Landsat (1975-1984)

Figura 8-48. Composición RGB (4,3,2) de verano de la serie Landsat (1990-1995)

Figura 8-49. Composición RGB (4,3,2) de verano de la serie Landsat (2000-2005)

Ilustración 8-50. Composición RGB (4,3,2/2010) y 543/2016) de la serie Landsat

Figura 8-51. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 03/01/2017

Figura 8-52. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 04/02/2017

Figura 8-53. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 08/03/2017

Figura 8-54. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 02/04/2017

Figura 8-55. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 27/05/2017

Figura 8-56. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 21/06/2017

Figura 8-57. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 14/07/2017

Figura 8-58. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 24/08/2017

Figura 8-59. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 25/09/2017

Figura 8-60. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 13/10/2017

Figura 8-61. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 19/11/2017

Figura 8-62. Composición RGB (4,5,3) y NDVI de imagen Landsat 8 del 05/12/2017

Dentro del portal se pueden consultar las imágenes y los NDVI del Campo de Cartagena desde el 15/04/2013: https://idearm.imida.es/app_satelite_v2/

8.5. Anexo V. Imágenes y resultados del seguimiento del Mar Menor

Composición Landsat8 RGB-432; Turbidez y Clorofila-a

L8: 07 Junio 2015

L8: 25 Julio 2015

L8: 29 Octubre 2015

L8: 30 Noviembre 2015

L8: 17 Enero 2016

L8: 2 Febrero 2016

L8: 5 Marzo 2016

L8: 27 Julio 2016

L8: 28 Agosto 2016

L8: 06 Septiembre 2016

L8: 15 Octubre 2016

L8: 2 Diciembre 2016

L8: 12 Enero 2017

L8: 28 Enero 2017

L8: 1 Marzo 2017

L8: 8 Marzo 2017

L8: 2 Abril 2017

L8: 27 Mayo 2017

L8: 5 Junio 2017

L8: 12 Junio 2017

(R,G,B) → (4,3,2)

L8: 21 Junio 2017

L8: 28 Junio 2017

$(R,G,B) \rightarrow (1,2,3)$

297

L8: 30 Julio 2017

L8: 15 Agosto 2017

7 Junio 2015

9 Julio 2015

25 Julio 2015

Turbidez(NTU)

29 Octubre 2015

Turbidez(NTU)

30 Noviembre 2015

1 Enero 2016

17 Enero 2016

Turbidez(NTU)

2 Febrero 2016

Turbidez(NTU)

5 Marzo 2016

9 Junio 2016

25 Junio 2016

Turbidez(NTU)

11 Julio 2016

Turbidez(NTU)

27 Julio 2016

5 Agosto 2016

28 Agosto 2016

Turbidez(NTU)

6 Septiembre 2016

Turbidez(NTU)

15 Octubre 2016

2 Diciembre 2016

3 Enero 2017

Turbidez(NTU)

12 Enero 2017

Turbidez(NTU)

28 Enero 2017

1 Marzo 2017

21 Marzo 2017

Turbidez(NTU)

2 Abril 2017

Turbidez(NTU)

9 Abril 2017

18 Abril 2017

25 Abril 2017

Turbidez(NTU)

7 Mayo 2017

Turbidez(NTU)

5 Junio 2017

12 Junio 2017

21 Junio 2017

Turbidez(NTU)

28 Junio 2017

Turbidez(NTU)

11 Julio 2017

23 Julio 2017

30 Julio 2017

Turbidez(NTU)

15 Agosto 2017

Turbidez(NTU)

07 Junio 2015

09 Julio 2015

25 Julio 2015

29 Octubre 2015

30 Noviembre 2015

1 Enero 2016

17 Enero 2016

2 Febrero 2016

5 Marzo 2016

9 Junio 2016

25 Junio 2016

11 Julio 2016

27 Julio 2016

5 Agosto 2016

28 Agosto 2016

06 Septiembre 2016

15 Octubre 2016

16 Noviembre 2016

2 Diciembre 2016

3 Enero 2017

12 Enero 2017

28 Enero 2017

1 Marzo 2017

8 Marzo 2017

21 Marzo 2017

2 Abril 2017

9 Abril 2017

18 Abril 2017

25 Abril 2017

7 Mayo 2017

5 Junio 2017

12 Junio 2017

21 Junio 2017

28 Junio 2017

11 Julio 2017

23 Julio 2017

30 Julio 2017

15 Agosto 2017

8.6. Anexo VI. Imágenes y resultados del seguimiento de la gola del Mar Menor

Figura 8-63. Imágenes Pleiades RGB del 15/10/2016 y del 05/12/2017

Figura 8-64. Imágenes Pleiades RGB del 20/12/2016 y del 21/03/2017

Figura 8-65. Imágenes Pleiades NDVI del 15/10/2016 y del 05/12/2017

Figura 8-66. Imagen Pleiades RGB y NDVI sobre MDS del 28/06/2017

Figura8-67. Imagen Pleiades RGB y NDVI del 15/04/2018

Figura 8-68. Imagen Pleiades NDWI y profundidad de agua (Z) del 15/04/2018

Figura 8-69. Imagen Pleiades RGB y NDVI del 29/04/2018

Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
23	2.4082	2.45531	1.29892	3.43919	3.6763	0.241

Figura 8-70. Detalles vuelo fotogramétrico del 12/03/2017

Figura 8-71. Detalle del vuelo fotogramétrico del día 12/03/2017

Figura 8-72. Detalle del perfil topográfico (m) del día 12/03/2017

8.7. Anexo VII Equipamiento de drones del IMIDA

El IMIDA está colaborando con varias empresas de base tecnológica–EBT para el desarrollo de varios tipos de vehículos no tripulados (drones), todos ellos basadas en ArduPilot (también conocido como ArduPilotMega o APM) que es un autopiloto de vehículos no tripulados (UAV/ROV) de código abierto, capaz de controlar multicopteros autónomos, aviones de ala fija, helicópteros, vehículos terrestres, vehículos acuáticos en superficie y vehículos submarinos.

Ardupilot es una plataforma de robótica que se desarrolló a partir una tecnología que inicialmente liberalizo el Instituto Tecnológico de Massachusetts – MIT, posteriormente en el Interaction Design Institute Ivrea en Italia, se amplió desarrollando la plataforma Arduino. En 2011, se presentó la primera placa Arduino 32 bit que era capaz de realizar tareas con gran requerimiento de cálculos necesarios para los pilotos automáticos de los drones. Las versiones actuales de ArduPilot utilizan Unidades de Medición Inercial –IMU de alta precisión, que combinan acelerómetros, giróscopos y magnetómetros, así como GPS de alta precisión que permiten corrección de diferencial tipo RTK a tiempo real.

El soporte del vehículo –ArduPilot se amplió con el tiempo para diversos los tipos de vehículos con los que estamos trabajando:

- ArduPilot para vehículos aéreos- **UAV**
- ArduBoat para vehículos acuáticos tipo barco –**USV/AAV**
- ArduSub para vehículos submarinos –**ROV**.

<https://github.com/ArduPilot/ardupilot>

Estos desarrollos están siendo financiados por el proyecto FEDER 1520-15: Diseño y puesta en marcha de una infraestructura de datos espaciales sobre agricultura y agua en la Región de Murcia-IDEaRM y por un convenio para la elaboración de batimetrías en los embalses en la Cuenca del Segura

Las versiones más avanzadas de ArduPilot son de la línea Pixhawk- PX4 de la empresa americana 3DRobotics, que desarrolla autopilotos automáticos de bajo costo y de altas capacidades que permiten su uso naves de pequeñas dimensiones.

- **Vehículos aéreo no tripulado - UAV** (Unmanned Aerial Vehicle) tipo multirotor con cámara fotogramétrica para topografía, multispectral y de video de inspección aérea. Basada en ArduPilot.

- **Vehículos acuático no tripulado -USV** (Unmanned Acuatrics Vehicle) tipo barco dotado con sonda batimétrica monohaz para navegación en superficie que permite ejecutar rutas pre programadas automáticamente y que transmite en directo a la estación base la información batimétrica registrada. Basada en ArduBoat.

- **Vehículos submarino operado remotamente - ROV** (Remoted Operated Vehicle) tipo submarino dotado con sonda batimétrica monohaz y sensor de presión para navegación sumergida que puede bajar hasta los 100 m de profundidad, está dotado también de sondas de monitoreo ambiental. El sistema es manejado y alimentado por un cable umbilical, por el cual se puede ver con gran detalle zonas de poca profundidad en las paredes de las presas o los fondos marinos. Basado en ArduSub.

Características del vehículo: IMIDA01-D820

Es un multirotor con multipropósito de alto rendimiento basado en plataformas Open Source con 8 motores, que es capaz de realizar movimientos en todas direcciones y elevar cámaras de 800 gramos de peso.

- Puede trabar hasta los 120 m de altitud
- Peso de 7,5 kg y baterías de 1 hora de autonomía
- Basado en autopiloto: 3DR Pixhawk y GPS
- Cámaras fotogramétrica (Sony DSC-QX100) y multispectral (Tetracam Mini MCA)
- Estructura de fibra de carbono de alta resistencia.

Figura 8-73. Vehículo aéreo no tripulado desarrollado en colaboración con Droning

Se puede usar con seguridad a zonas no sujetas a las limitaciones de tráfico aéreo definida por AESA: Puertos, embalses, pantanos y zonas costeras de poca profundidad.

Utilidades: Fotogrametría en embalses y zonas costeras, seguimiento de cultivos y especies de fauna, labores de inspección en infraestructuras de todo tipo.

Fabricante/desarrollador: DRONING SISTEMAS AEREOS S. L. (Sevilla)

WEB fabricante- <http://www.droning.es/>.

Características del vehículo: IMIDA02-3DR Solo

Es un multirotor con multipropósito de medio rendimiento basado en plataformas Open Source, cuenta con 4 motores, que es capaz de realizar movimientos en todas direcciones y elevar cámaras de has 200 gramos de peso.

- Puede trabajar hasta los 120 m de altitud
- Peso de 2 kg y baterías de 20 minutos de autonomía
- Basado en autopiloto: 3DR Pixhawk y GPS
- Cámaras de captura de video en HD/4K y 360

Figura 8-74. Vehículo 3DR con camera Kodak PixPro 4K 360°

Se puede usar con seguridad a zonas no sujetas a las limitaciones de tráfico aéreo definida por AESA: Puertos, embalses, pantanos y zonas costeras de poca profundidad.

Utilidades: Grabación de video de alta resolución para el seguimiento de especies de fauna o inspección de infraestructuras de embalses, zonas portuarias o marinas.

Fabricante/desarrollador: 3DRobotics y KODAK (USA)

WEB fabricante- <https://3dr.com/>

Características del vehículo: IMIDA03-PARROT

Es un ala con multipropósito de medio rendimiento basado en plataformas Open Source, con 1 motor que va dotado con una cámara multiespectral y otra de video.

- Tipo: Ala fija/avión
- Autonomía: 80 ha a 120 m
- Alcance: Hasta 2 km
- Conexión en directo: Sí, Wi-Fi (2 antenas de banda bi, 2,4 y 5 GHz)
- Planificador de vuelos: Sí, Pix4Dcapture

- Batería: 2700 mAh / 25A 3 células Lipo
- Duración de la batería: 30 minutos
- Dimensiones: 59x41x 28 mm
- Peso: 940 gr (780 g + 107 gr (Sequoia) + soportes)
- Cámara multispectral inferior Parrot Sequoia
- Camera RGB frontal: 12 MP Full HD

Figura 8-75. Ala fija Parrot Disco Pro con cámara multispectral Sequoia

Se puede usar con seguridad a zonas no sujetas a las limitaciones de tráfico aéreo definida por AESA: Puertos, embalses, pantanos y zonas costeras de poca profundidad.

Utilidades: Adquisición de Imágenes multispectrales y grabación de video de alta resolución para el seguimiento de cultivos o inspección de infraestructuras de embalses, zonas portuarias o marinas.

Fabricante/desarrollador: Parrot (<https://www.parrot.com/>)

Características del vehículo: IMIDA04-MAMBO

MAMBO, es un UAV tipo barco con sistema de batimetría multipropósito basado en plataformas Open Source. Con sus 2 motores, es capaz de realizar movimientos en todas direcciones. Algunas de sus características son:

- Trabajo a 100 m de profundidad
- Dimensiones de 120 cm de longitud y gran capacidad de carga
- Peso de 20 kg y baterías de 4 horas de autonomía
- Basado en autopiloto: 3DR Pixhawk y GPS
- Sonda batimétrica mono haz con rango de profundidad de 0,3 a 100 m con precisión de 1 cm

Figura 8-76. Vehículo acuático no tripulado desarrollado por Inntelia

Se puede usar con seguridad a zonas difícilmente accesibles: Puertos, embalses, pantanos y zonas costeras de poca profundidad.

Utilidades: Batimetrías de aguas de poca profundidad, seguimiento de la evolución de los depósitos de sedimentos en embalses y zonas portuarias o marinas.

Fabricante/desarrollador: INNTELIA (<http://www.inntelia.com/>)

Características del vehículo: IMIDA05-SIBIU

SIBIU es un ROV de alto rendimiento basado en plataformas **Open Source** que tiene 6 motores y que es capaz de realizar movimientos en todas direcciones, además de soportar corrientes laterales. Algunas de sus características son:

- Vídeo HD 1080p en tiempo real (con la Electrónica Avanzada, latencia de 200 ms)

- Trabajo a 100 m de profundidad
- Peso de 12 kg y baterías de 4 horas de autonomía
- Basado en autopiloto: 3DR Pixhawk y GPS
- Sonda batimétrica mono haz con rango de profundidad de 0,3 a 100 m con precisión de pocos cm
- Sensores de monitoreo ambiental: Oxígeno, temperatura, profundidad, pH y conductividad eléctrica (Atlas Scientific)

Figura 8-77. Vehículo submarino desarrollado con la empresa Nido Robotics

Se puede usar con seguridad a zonas difícilmente accesibles: Puertos, embalses, pantanos, pantalanes, revisión de cascos de barcos, fosas, tuberías de gran diámetro.

Utilidades: Monitoreo de aguas a diferentes profundidades, Inventariado de fauna y flora, Documentación e identificación de vertidos, seguimiento de la evolución de las jaulas de acuicultura y de arrecifes artificiales, control de estado de canalizaciones sumergidas, apoyo de seguridad de buzos, grabación submarina, búsqueda de objetos o personas, apoyo en rescates submarinos, control de seguridad de zonas portuarias o submarinas.

Fabricante/desarrollador: NIDO ROBOTICS (<https://www.nido.ai/>)

8.8. Anexo VIII. Abreviaturas

AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
API	Application Programming Interface
AR5	Quinto Informe de Evaluación los efectos del cambio climático del PNUMA
AET	Asociación Española de Teledetección
BBDD	Bases de datos
CAD	Computer Aided Design
CDOM	Colored dissolved organic matter
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CGIS	Canada Geographic Information System
CHS	Confederación Hidrográfica del Segura
CIE	Comission Internationale de l'Éclairage
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
CSW	Catalog Service for the Web
DCAT	Data Catalog Vocabulary
DMEM	Directiva Marco de las Estrategias Marinas
EEA	Agencia Europea de Medio Ambiente
EIEL	Encuesta de Infraestructuras y Equipamientos Locales
ENI	Esquema Nacional de Interoperabilidad
EO	Earth observation
EPGS	European Petroleum Survey Group
ETRS89	European Terrestrial Reference System de 1989
EVISA	Aplicación de la teledetección al aprovechamiento de los recursos hídricos en la Cuenca del Segura
EC	European Commission
ETL	Extracción, Transformación y Carga de datos
EU	European Unión
EUROGI	European Umbrella Organisation for Geographic Information
FAO	United Nations Food and Agriculture Organisation
FDO	Feature Data Object
FEGA	Fondo Español de Garantía Agrícola
FGDC	Federal Geographic Data Committee
FME	Feature Manipulation Engine
KML	Keyhole Markup Language
KMZ	Keyhole Markup Zipped
GALILEO	Programa europeo de radionavegación y posicionamiento por satélite
GDAL	Geospatial Data Abstraction Library
GeoJSON	Formato de intercambio de datos geoespaciales en Java Script Object Notation
GeoPackage	Estándar OGC para intercambio de datos basado en SQLite
GIS	Sistema de Información Geográfica (SIG)
GIZC	Gestión Integrada de Zonas Costeras del Mediterráneo
GNSS	Global Navigation Satellite System
GML	Geography Markup Language
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GNSS	Global Navigation Satellite system
GOSYD	Geoportal de la sequía y desertificación de Murcia
GPS	Global Positioning System
GSDI	Global Spatial Data Infrastructure

GUASEEAW	System of economic and environmental accounts for water in Guadiana river basin
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IaaS	Infrastructure as a Service)
ICT	Information and Communication Technology
IDEE	Infraestructuras de datos espaciales de España
IDEarM	Infraestructuras de datos espaciales de la agricultura y agua de la Región de Murcia
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IG	Información Geográfica
IGME	Instituto Geológico y Minero de España
INSPIRE	INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
ITI	Instrumento Territorial Integrado de la EU
LISIGE	Ley 14/2010, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España
MARM	Ministerio de Agricultura, Medio Rural y Marino de España
MAGRAMA	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España
MAPAMA	Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España
MH	Ministerio de Hacienda
MSI	Multispectral Instrument de Sentinel II
NAP	Sustancia disuelta no identificada
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NEM	Núcleo Español de Metadatos
NetCDF	Network Common Data Format
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NSDI	National Spatial Data Infrastructure
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
OECC	Oficina Española de Cambio Climático
OLI	Operational Land Imager
OGC	Open Geospatial Consortium
O&M	Observations and measurements standard (ISO 19156)
LDCM	Landsat Data Continuity Mission
LOD	Linked Open Data
PaaS	Platform as a Service
PNACC	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
PNOA	Plan Nacional de Ortofotografía aérea de España
PNT	Plan Nacional de teledetección de España
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PSU	Practical Salinity Units
RCP	Representative Concentration Pathways- AR5
RDF	Resource Description Framework
REST	Representational State Transfer
RSS	Really Simple Syndication
SaaS	Software as a Service
SIA	Sistema de Información de aguas del MARM
SIAS	Sistema de información de aguas subterráneas del IGME
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIGA	Sistema de Información Geográfica Agraria del MARM
SIOSE	Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España
SEEAW	System of Environmental-Economic Accounting for Water-FAO
SDI	Spatial Data Infrastructure

SDIMED	Spatial Data Infrastructure del proyecto: Observatorio Territorial para las REgiones MEDiterráneas-OTREMED
SOS	Servicio de Observación de Sensores
REDSIM	REmote-sensing based DSS for Sustainable Drought-Adapted Irrigation Management.
TELERIEG	Uso de la teledetección para la recomendación y seguimiento de las prácticas de riego en el espacio SUDOE.
TIRS	Thermal Infrared Sensor
USDA	United States Department of Agriculture
UML	Unified Modelling Language
UN	United Nations
URI	Uniform Resource Identifier
URL	Uniform Resource Locator
UTC	Coordinated Universal Time
WCS	Web Coverage Service
WFS	Web Feature Service
WFD	Water Framework Directive
WMS	Web Map Service
WMTS	Web Map Tile Service
WPS	Web Processing Service
WISE	Sistema de información de Aguas de la EEA
W3C	World Wide Web Consortium
XML	Extensible Markup Language