

UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática



Sistema de Información Geográfica para la
Mejora de la Gestión y la Toma de
Decisiones Difusa en Entornos Oleícolas

DIPLOMA DE ESTUDIOS AVANZADOS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

*Integración de Información,
Toma de Decisiones, DSS y Sistemas Multiagente*

Antonio Araque Ibáñez

Jaén, Enero de 2012

Índice General

1. Introducción	1
1.1. Motivación	2
1.2. Propósito y Objetivos	4
1.3. Estructura	5
2. Sistemas de Información Geográfica	7
2.1. Introducción a los SIG y su Uso en Actividades del Sector Agrícola Olivarero	8
2.2. Sistemas de Información Geográfica	10
2.2.1. ¿Qué es un SIG?	10
2.2.2. Componentes esenciales de un SIG	16
2.2.3. Herramientas SIG	18
2.2.4. Evolución Histórica de los SIG	20
2.2.5. Clasificación de los SIG	26
2.2.6. Aplicación de los SIG	30
2.3. Georreferenciación	31
2.3.1. Recursos Básicos para Realizar Georreferenciación	33
2.3.2. Metodología General de Georreferenciación	33
2.4. El SIGPAC	34
2.4.1. ¿Qué es el SIGPAC?	34
2.4.2. ¿Cómo se Originó?	35
2.4.3. ¿Cómo se Regula?	36
2.4.4. ¿Qué Información Tiene?	37
2.5. GvSIG	37
2.5.1. Introducción	38
2.5.2. Distribuciones de GvSIG	39
3. Sistema Básico de Gestión de los Procesos Agrícolas del Olivar	43
3.1. Introducción	43
3.2. Arquitectura del Sistema	50
3.3. La Componente Espacial como Base del Sistema	52

3.3.1. El Campo Geométrico en las Bases de Datos Espaciales	52
3.3.2. Codificación de Objetos Espaciales Well Known Text	54
3.3.3. Algorítmica Espacial Aplicada al Sistema	56
3.4. Funcionalidades del Sistema	64
4. Métodos de Análisis SIG Basados en Técnicas de Evaluación Multicriterio:	
Revisión	78
4.1. Introducción	78
4.2. Análisis Multicriterio en SIG	81
4.3. Toma de Decisiones y Evaluación	84
4.3.1. Toma de Decisión	84
4.3.2. Clasificación de los Problemas de Toma de Decisiones	84
4.3.3. Análisis de Evaluación y Procesos de Evaluación	87
4.4. Evaluación Multicriterio	88
5. Conclusiones y Trabajo Futuro	91
5.1. Conclusiones	91
5.2. Trabajo Futuro	92
Bibliografía	93

Capítulo 1

Introducción

Desde hace unos años estamos asistiendo al crecimiento exponencial del uso de las tecnologías de la información y la comunicación en todos los ámbitos de la sociedad.

Estas tecnologías, en su mayor parte, han facilitado el desarrollo de la sociedad y nos han dotado de herramientas para afrontar problemas que, hasta entonces, no tenían solución con los medios existentes en ese momento.

En la actualidad, las tecnologías que mas influencia tienen en la sociedad, son las relacionadas con la informática y las comunicaciones, en las que destaca principalmente Internet, ya que desde su irrupción a principios de los años 90 ha producido una autentica revolución social. De hecho se dice que estamos inmersos en un nuevo concepto de sociedad denominada *Sociedad de la información* [1].

En esta sociedad de la información aún existen sectores que son reticentes a entrar a formar parte de este tipo de sociedad *exclusiva*, llegándose a producir lo que se conoce como *brecha digital* entre sectores.

Cuando hablamos de brecha digital nos referimos a las diferencias previas al acceso a las tecnologías (como el ordenador personal, el teléfono móvil, la banda ancha, etc.). Este término también hace referencia a las diferencias que hay entre grupos según su capacidad para utilizar las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) de forma eficaz, debido a los distintos niveles de alfabetización y capacidad tecnológica [2].

La brecha digital puede estar producida por 5 dimensiones perfectamente diferenciadas:

- a) *Tecnológica*, referida a la infraestructura material disponible así como al grado de actualización de dicha infraestructura.
- b) *De conocimiento*, vinculada a las habilidades y saberes que deben poseer los individuos para apropiarse adecuadamente de los nuevos medios y de las TIC.
- c) *De información*, dimensión en la que es posible distinguir dos sectores sociales: uno *sobreinformado*, con acceso a diferentes medios y generaciones tecnológicas; y otro *desinformado*, con acceso limitado a las innovaciones tecnológicas, sus actualizaciones y sus contenidos.

d) *Económica*, por la falta de recursos para acceder a las TIC que se manifiesta tanto a nivel personal, como entre los sectores gubernamentales y algunos privados.

e) *De participación*, que significa que los recursos aportados por las innovaciones tecnológicas puedan emplearse en un contexto democrático, con un marco legal y social adecuado, que permita a los individuos y a las naciones igualdad de oportunidades para expresarse e intervenir en las decisiones de un mundo global.

1.1 Motivación

Si hacemos una profunda reflexión, centrándonos en el sector agrícola y particularmente en el sector del olivar tradicional, de gran interés en esta memoria, observamos que en realidad existe una brecha digital, debida comúnmente a la dimensión de conocimiento, que exponíamos anteriormente. En pleno siglo XXI, dentro de una sociedad desarrollada, existen grandes reticencias en el sector agrícola a emplear las nuevas tecnologías, normalmente por miedo tecnológico o desconocimiento de uso. Además de por el carácter tradicional del olivar en Andalucía y más concretamente en la provincia de Jaén.

Según datos estadísticos proporcionados por el centro de innovación y tecnología del olivar y del aceite, CITOLIVA¹, la producción de aceite de oliva en España, en las últimas campañas viene rondando los 1,1 millones de toneladas (ver tabla 1.1), este hecho supone que el 50% de la producción europea y el 35% de la producción mundial tienen su origen en España. Siendo un sector que potencia el carácter social de la producción, ya que el 55% de las aproximadamente 1.700 almazaras que en España son cooperativas [3].

¹ CITOLIVA es una fundación sin ánimo de lucro, creada para implantar innovadoras metodologías y

	NºAlmazaras	Inicio de Campaña	Aceite Producido	Aceite Adquirido ²	Salidas	Existencias Finales
2004/2005	1.781	203.712,49	989.375,07		1.030.280,11	162.807,45
2005/2006	1.838	97.501,78	823.663,44		736.189,24	184.975,98
2006/2007	1.724	124.079,05	1.109.699,44	154.043,35	1.158.263,71	229.558,13
2007/2008	1.713	121.061,91	1.235.454,66	122.366,77	1.174.343,75	304.539,59
2008/2009	1.738	204.789,94	1.027.296,48	36.726,98	1.020.728,14	248.085,26
Total		751.145,17	5.185.489,09	313.136,03	5.119.804,95	1.129.966,41

Tabla 1.1. Balance de producciones y existencias por campañas en España³.

Fuente: Fundación CITOLIVA

En Andalucía y más específicamente en la provincia de Jaén, la cultura del olivar representa una forma de vida que sobrepasa los límites sociales y que irrumpe con gran fuerza en la economía de los municipios de la provincia, convirtiéndose en la mayor parte de los casos en su principal motor económico.

En el sector del olivar existen en la actualidad dos conceptos claves:

A. Trazabilidad

El concepto de trazabilidad surge en Europa por la desconfianza de los consumidores ante las diversas crisis alimentarias que se dieron en los años 90 (vacas locas, peste porcina, etc.). Según el comité de seguridad alimentaria de la Asociación de Fabricantes y Consumidores de España⁴ (AECOC), se entiende por trazabilidad al conjunto de aquellos procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permiten conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de una cadena de suministros en un

² Aceite adquirido o en depósito.

³ Los datos de Producción, Movimientos y Existencias mostrados son datos acumulados para toda la campaña y están expresados en Toneladas.

⁴ La asociación de fabricantes y consumidores de España nació para impulsar la introducción en España del código de barras, evolucionó para ofrecer a la industria y la distribución un marco de colaboración imprescindible para poder llegar al consumidor de la forma más eficaz posible.(<http://www.aecoc.es>).

momento dado. Por tanto la trazabilidad asegurará la máxima calidad de los procesos productivos y esto repercutirá en una mayor calidad del producto final, en el caso que no ocupa, el aceite de oliva.

B. Condicionalidad.

Sin embargo el concepto de condicionalidad [4], es un concepto más reciente que se remonta a inicios de 2006, cuando se empezó a hablar de condicionalidad o la necesidad de que los agricultores y ganaderos, como requisito para recibir cualquier ayuda de la Política Agraria Común de la Unión Europea (PAC), respeten en sus explotaciones una serie de normas referidas a la buena gestión del entorno natural, al bienestar animal, a la salud pública y a la sanidad animal y vegetal.

En Andalucía estas normas se encuentran recogidas en la Orden de la Consejería de Agricultura y Pesca de 23 de junio de 2005, por la que se desarrollan los requisitos de aplicación de la condicionalidad en relación con las ayudas directas en el marco de la política agrícola común. La Orden establece dentro de las buenas condiciones agrarias y medioambientales [4, 5]:

1. Integrar requisitos básicos en materia de medio ambiente, seguridad alimentaria, salud y bienestar de los animales.
2. Reforzar legitimidad de la PAC.
3. El mantenimiento de los olivares en buen estado vegetativo, mediante las labores de cultivo necesarias y el tratamiento de productos fitosanitarios correcto. Promoviendo una agricultura sostenible.
4. Evitar el abandono de tierras agrarias.

Siendo el sector del olivar nuestro objeto de estudio y dada la existencia de la brecha digital en el mismo. Hemos considerado en esta memoria el estudio e integración de tecnologías, sistemas y métodos que faciliten el cumplimiento de la ley de condicionalidad impuesta a nivel europeo, para conseguir una gestión sostenible del olivar que repercuta en la mejora de la calidad y la producción del aceite de oliva.

1.2 Propósito y Objetivos

El propósito general es la construcción de un Sistema de Soporte a la Decisión para la gestión integrada de los procesos agrícolas del olivar. Para conseguir el propósito general, se plantea como propósito inicial de esta memoria el desarrollo de un sistema básico de gestión basado en Sistemas de Información Geográfica, que facilite la integración de módulos de decisión según las necesidades de la gestión agrícola, que representarán el trabajo futuro.

Para la consecución de lo planteado anteriormente, se proponen una serie de objetivos específicos:

1. Estudio del manejo de los datos que están en posesión de las cooperativas oleícolas para obtener una mejora en el almacenamiento y la gestión de dicha información.
2. Estudio y evaluación de las tecnologías relacionadas con los Sistemas de Información Geográfica que permitan la construcción de un sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar.
3. Disminuir la brecha digital en el ámbito agrícola y más específicamente el sector oleícola, mediante la optimización del uso y la gestión de la información.
4. Estudio y revisión bibliográfica de métodos y casos de éxito de sistemas de toma de decisiones, basados en Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica, integrables en el sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar.

1.3 Estructura

Una vez realizada la introducción, para alcanzar el propósito inicial y los objetivos mencionados anteriormente, la memoria quedará estructurada en los siguientes capítulos brevemente descritos a continuación:

- Capítulo 2: en este capítulo se realiza una revisión de las principales características y conceptos relacionados con los Sistemas de Información Geográfica.

6 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA MEJORA Y LA GESTIÓN DE TOMA DE DECISIONES DIFUSA EN ENTORNOS OLEÍCOLA

- Capítulo 3: en él, se hace una descripción pormenorizada de las metodologías seguidas para la construcción del sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar, así como de las tecnologías y mejoras que ofrece.
- Capítulo 4: para incluir en el futuro la componente analítica en el sistema base, en este capítulo se realiza un estudio y una revisión bibliográfica de las principales técnicas basadas en sistemas de decisión multicriterio apoyadas sobre conjuntos difusos que puedan ser integrables con Sistemas de Información Geográfica.
- Capítulo 5: este capítulo concluye la memoria de investigación presentando las conclusiones más relevantes de la investigación realizada.

Capítulo 2

Sistemas de Información Geográfica

Como hemos visto en el primer capítulo, las tecnologías basadas en los Sistemas de Información Geográfica representan uno de los dos pilares fundamentales en el desarrollo del sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar que se propone en esta memoria, por ello se ha creído conveniente realizar un capítulo dedicado exclusivamente a los SIG y tecnologías relacionadas. En este capítulo haremos una breve introducción al mundo de los SIG que nos permita relacionarlos dentro del objeto de estudio y aplicación de esta memoria, el sector oleícola. Una vez que se haya introducido el concepto de la gestión de cooperativas agrícolas dentro de los Sistemas de Información Geográfica, daremos una serie de definiciones y conceptos claves que den a conocer la base del comportamiento de esta tecnología, presentando una evolución histórica de estos sistemas y haciendo un especial hincapié en las aplicaciones de los SIG y los tipos de datos soportados.

Una vez conocidas las principales características de los Sistemas de Información Geográfica, se revisará brevemente el concepto de georreferenciación, noción que parte de la propia esencia de los SIG y se convierte en elemento central para el modelado geográfico de los datos que están en posesión de las cooperativas oleícolas.

En el ámbito de estudio y aplicación de nuestra investigación la georreferenciación de los datos de las cooperativas se ha realizado mediante un proceso secuencial que permite el cruce de información en posesión de las cooperativas (socios, parcelas, productos fitosanitarios, etc.) con los datos geográficos proporcionados por el Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) de la Junta de Andalucía, por ello se revisará brevemente dicho sistema.

Finalmente se introducirá con brevedad el proyecto gvSIG y sus características principales, ya que sobre su núcleo básico se desarrollarán las nuevas funcionalidades del sistema básico de gestión integral agrícola objeto de esta memoria.

2.1 Introducción a los SIG y su Uso en Actividades del Sector Agrícola Olivarero

Desde la década de los 80, hombres y mujeres se han dedicado a introducir datos geográficos parcelarios, ocupación de suelos, topografía, etc., a pesar de que en esa época no existía una explotación clara de estos datos. Debido a que la toma de datos se convertía en una tarea ardua y complicada, la información recogida tenía la limitación de que sólo podía ser plasmada sobre soporte de papel y en raras ocasiones era tratada con medios informáticos. Con la evolución de las técnicas tanto en instrumental para captar estos datos (satélites, GPS,...) como, en el desarrollo de las nuevas tecnologías aplicadas a la informática se ha conseguido aumentar el rendimiento de dicha información geográfica. La principal metodología automática utilizada para tratar datos geográficos son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) [6].

Los Sistemas de Información Geográfica [6] han invadido discretamente nuestras vidas cotidianas. Se utilizan cada vez más en distintos tipos de aplicaciones que se incrementan día a día. La mayoría de los países han cartografiado su territorio (catastro, redes, etc.), los ministerios han desarrollado proyectos importantes y los organismos especializados han producido numerosos mapas (por ejemplo el Instituto Geográfico Nacional) y han adaptado esta cartografía para que sea totalmente utilizable por los Sistemas de Información Geográfica.

Este incremento en la utilización de los Sistemas de Información Geográfica también está estrechamente ligado con la sencillez de su uso, el abaratamiento de estos y la aparición de servicios gratuitos que se distribuyen por Internet, entre los que podríamos destacar Google Earth⁵ y Google Maps⁶, que han tenido gran calado en la sociedad actual y que han permitido eliminar el desconocimiento que existía por parte del usuario no especializado hacia este tipo de sistemas. Este crecimiento en el uso de los Sistemas de Información Geográfica ha permitido automatizar ciertas tareas habituales que hasta su aparición debían ser realizadas de forma manual por los usuarios. Veamos unos ejemplos de estas tareas [6]:

⁵ <http://earth.google.es>

⁶ <http://maps.google.es>

1. *Memorizar el espacio*: Las administraciones locales utilizan cada vez más los SIG para recopilar la información del territorio existente en la memoria de los técnicos.
2. *Afinar la Gestión*: Optimización de las acciones diarias a partir del análisis y de la explotación de los datos almacenados.
3. *Enlazar la salud y el ambiente*: El enlace de imágenes de satélites con datos de modelos existentes permiten controlar los desarrollos de epidemias, aplicar una Agricultura razonada y de precisión, etc.
4. *Dominar la complejidad del espacio*: Cálculo de la implantación de las antenas en función de las normas de ubicación y de las zonas de “sombra” que pueden crear los montes o los edificios.
5. *Simular el futuro*: Medición del impacto ambiental relacionado con la creación de una nueva carretera y, del cambio del uso del suelo en un barrio concreto. Análisis de la explotación de los recursos naturales en el campo de Gestión de aguas, etc.
6. *Guiar*: Identificación de direcciones para los transportistas o los taxis, localización del vehículo de urgencia disponible más cercano para una intervención.
7. *Integración en redes sociales*: Las principales redes sociales poseen un modulo que integra características SIG, que permiten al usuario localizar elementos que sean de su interés desde su ubicación actual, a través de los dispositivos GPS que están incluidos en la mayoría de smartphones.

Actualmente, los sistemas de información geográfica son valorados muy positivamente por parte de los usuarios finales, ya que presentan la información de forma gráfica y evitan la saturación mental del usuario con listados de datos, a veces interminables. Así, el usuario puede comprobar cualquier característica o realizar cualquier consulta con un simple golpe de vista. Esta es la razón por la que se han elegido tecnologías basadas en SIG para la construcción del sistema básico de gestión objeto de la presente memoria, dicho sistema permitirá gestionar la información de las cooperativas/almazaras olivareras de una manera más visual y eficaz, usando de base recursos gráficos (geometrías) que permitan sacar partido y manejar visualmente las bases de datos.

A continuación se expondrán las principales características que definen a los Sistemas de Información Geográfica, el concepto y proceso de georreferenciación, además de introducir brevemente el sistema SIGPAC y el proyecto gvSIG que representan un pilar importante en la construcción del sistema integral.

2.2 Sistemas de Información Geográfica

En la presente sección se hará una introducción teórica a los Sistemas de Información Geográfica donde se expondrá un esquema general con los componentes principales de un SIG [7] que servirá como referencia en la integración de conceptos relacionados incluidos en la presente memoria: *la georreferenciación, el sistema SIGPAC y el proyecto gvSIG*. Posteriormente realizaremos una revisión de las principales herramientas SIG presentes en el mercado actual, un estudio de la evolución histórica de este tipo de sistemas y una clasificación de los SIG atendiendo al tipo de representación de datos, para concluir con una muestra de las principales aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica.

2.2.1 ¿Qué es un SIG?

Al igual que la propia geografía, es difícil definir el término Sistema de Información Geográfica (SIG) ya que engloba la integración de áreas muy diversas. Por esto no existe una única definición de SIG totalmente consensuada [8]. Una definición de SIG bastante aceptada es la redactada por el NCGIA (National Centre of Geographic Information and Analysis) :

Un Sistema de información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés) es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.

Un Sistema de Información Geográfica funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía [7].

Los datos utilizados en los Sistemas de Información Geográfica se denominan datos geográficos o espaciales. Estos datos constan de dos componentes, una componente espacial y otra temática. La componente espacial tiene dos aspectos en referencia a su localización: la localización absoluta, basada en un sistema de coordenadas y las relaciones topológicas con respecto a otras entidades. Ejemplo: La universidad de Jaén se encuentra en las coordenadas X, Y, o el Corte Inglés de Jaén se encuentra en el cruce entre la avenida de Madrid y la calle virgen de la cabeza. Los SIG son capaces de manejar ambos conceptos mientras que los programas de diseño asistido por ordenador (CAD) sólo utilizan la localización absoluta [9]. La componente temática se corresponde con cualquier información alfanumérica asociada a cada componente espacial.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de la información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.(Figura 2.1).

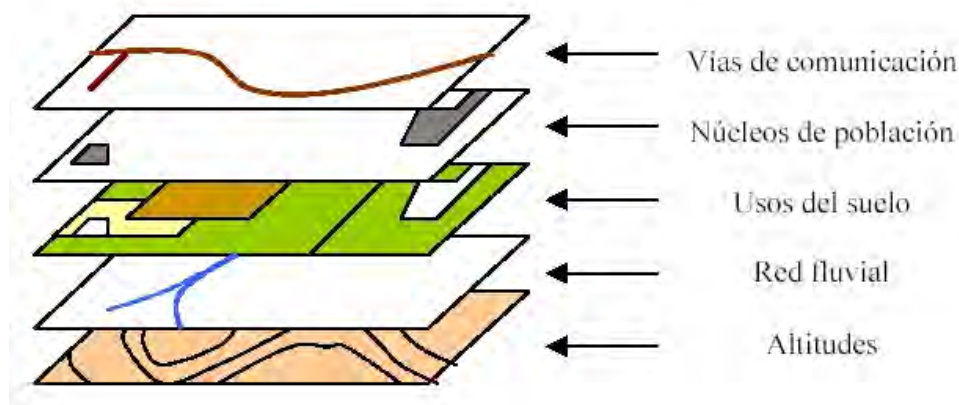


Figura 2.1: Ejemplo de representación por capas.

Fuente: Wikipedia.

A menudo un SIG está asociado con un mapa. Sin embargo, este mapa es sólo un modo en el que un usuario puede trabajar con los datos geográficos. Un SIG puede proporcionar muchas más capacidades que el simple hecho de mostrar elementos sobre un mapa, así, podríamos distinguir tres caminos sobre los que pueden trabajar los Sistemas de Información Geográfica:

1. *Bases de datos Geográficas:* Una base de datos geográfica o espacial (GeoDataBase) es un sistema gestor de bases de datos que maneja datos con información textual y datos existentes en un espacio o datos espaciales. El espacio establece un marco de referencia para definir la localización y relación entre objetos (ver figura 2.2). El que normalmente se utiliza es el espacio físico que es un dominio manipulable, perceptible y que sirve de referencia.



Figura 2.2: Abstracción de una base de datos Geográfica

Fuente: Blog GISTutorial.

La construcción de una base de datos geográfica implica un proceso de abstracción para pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada que pueda ser procesada por el lenguaje de las computadoras actuales. Este proceso de abstracción tiene diversos niveles y normalmente comienza con la concepción de la estructura de la base de datos, generalmente en capas; en esta fase, y dependiendo de la utilidad que se vaya a dar a la información a almacenar, se seleccionan las capas temáticas a incluir.

La estructuración de la información espacial procedente del mundo real en capas conlleva cierto nivel de dificultad.

- a. En primer lugar, la necesidad de abstracción que requieren los ordenadores implica trabajar con primitivas básicas de dibujo, de tal forma que toda la complejidad de la realidad ha de ser reducida a puntos, líneas o polígonos.
 - i. *Puntos:* Se encuentran determinados por las coordenadas terrestres medidas por latitud y longitud. Por ejemplo, representación cartográfica de los olivos milenarios.

- ii. *Polilíneas*: Objetos abiertos que cubren una distancia dada y comunican varios puntos o nodos, aunque debido a la forma esférica de la tierra también se le consideran como arcos. Por ejemplo, la representación cartográfica de una tubería de riego.
 - iii. *Polígonos*: Figuras planas conectadas por distintas líneas u objetos cerrados que cubren un área determinada, como por las parcelas oleícolas pertenecientes a cada socio de una cooperativa.
- b. En segundo lugar, existen relaciones espaciales entre los objetos geográficos que el sistema no puede obviar; la *topología*, que en realidad es el método matemático-lógico usado para definir las relaciones espaciales entre los objetos geográficos. La topología puede llegar a ser muy compleja, ya que son muchos los elementos que interactúan sobre cada aspecto de la realidad.

Las bases de datos geográficas están íntimamente ligadas con el mapa, ofreciendo la posibilidad de obtener la información textual de una zona del mapa almacenada en la base de datos interactuando directamente sobre el mapa. Por ejemplo, haciendo un simple clic sobre la zona del mapa que es motivo de consulta.

2. *Mapas*: Los mapas son el soporte de base de cualquier herramienta que incorpore características SIG. Un Sistema de Información Geográfica se puede ver como conjunto de mapas inteligentes que muestran las características y las relaciones entre estas características almacenadas en una base de datos espacial. En relación a los SIG, se puede considerar a los mapas como ventanas que muestran la información de la base de datos geográfica, y sobre los que se pueden realizar consultas, análisis, y edición de información (figura 2.3).

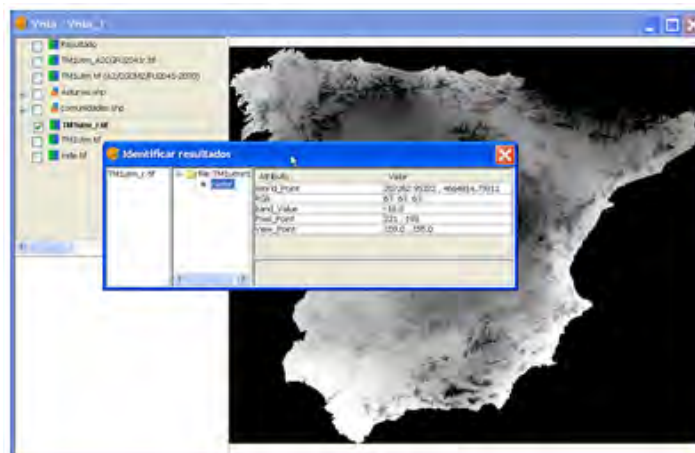


Figura 2.3: Ejemplo de Análisis de información sobre el mapa

Fuente: Elaboración propia

Los mapas pueden tener distinto nivel de detalle, dependiendo de la funcionalidad y el fin para que el que se quiera utilizar el Sistema de Información Geográfica, pudiendo tener mapas a nivel de plano cartográfico (ver figura 2.4), que presentarán un nivel de detalle muy alto y mapas en los que el detalle no es tan importante y sí la visión general de la situación de los distintos elementos sobre el mapa (figura 2.5).



Figura 2.4: Mapa que representa las parcelas de un polígono industrial y que necesita un nivel de detalle alto

Fuente: IMEFE Jaén.



Figura 2.5: Mapa en el que no es importante el nivel de detalle.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

3. *Modelado de datos:* Un sistema de Información Geográfica puede ser visto como un conjunto de herramientas de transformación de información que generan nuevos conjuntos de datos de aquellos existentes en el sistema (ver figura 2.6). Para realizar esta labor de geoprocesamiento se siguen los siguientes pasos:
 - a. *Captación de información existente los almacenes de datos:* Se obtiene la información que se encuentra almacenada en la base de datos.
 - b. *Análisis de los datos:* Se aplican funciones de análisis sobre los datos obtenidos.
 - c. *Obtención de resultados:* A partir del análisis realizado se obtienen una serie de resultados que serán almacenados en la base de datos, creándose un nuevo conjunto de datos.

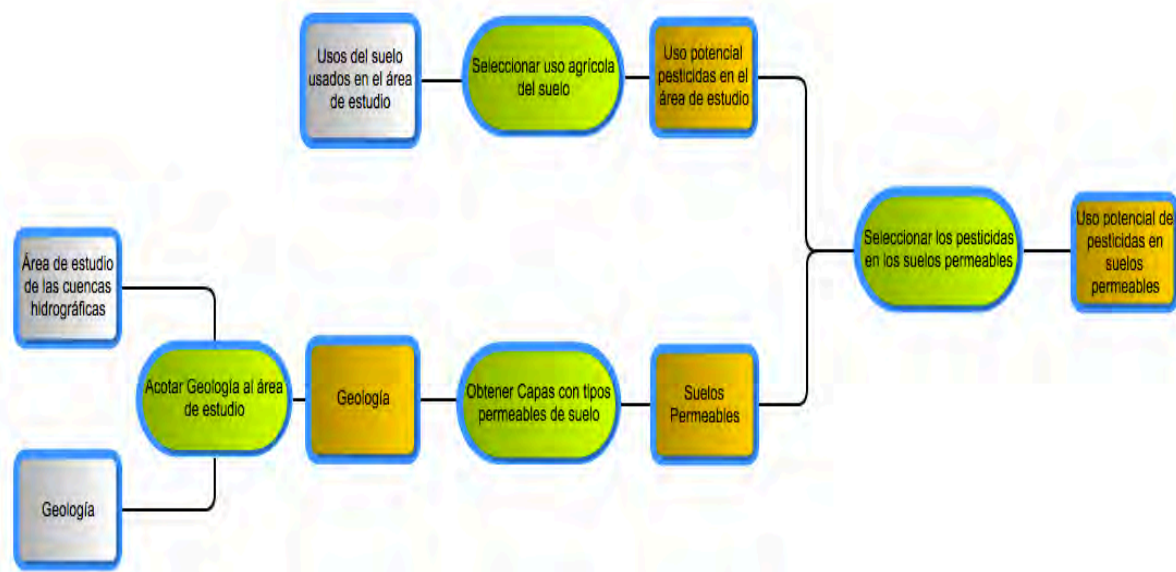


Figura 2.6: Ejemplo del flujo seguido en un análisis de modelado de datos

Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocido el concepto de Sistema de Información Geográfica y las distintas visiones que se pueden tener de un SIG, en las próximas subsecciones mostraremos un esquema con los componentes esenciales que debe tener un Sistema de Información Geográfica que servirá de base para ubicar los conceptos que veremos en las próximas secciones (geolocalización, SIGPAC y gvSIG), haremos un repaso de las principales herramientas SIG existentes en la actualidad, veremos la evolución histórica que han experimentado este tipo de sistemas desde sus inicios hasta hoy en día, una clasificación de estos sistemas atendiendo al tipo de información con la que trabajan y finalizaremos con un repaso general de los principales usos que se le pueden dar a este tipo de sistemas.

2.2.2 Componentes Esenciales de un SIG

Un SIG integra una serie de componentes clave que deben estar presentes para su correcto funcionamiento [7]. En la figura 2.7 se muestra el esquema genérico de los componentes esenciales de un SIG.



Figura 2.7. Esquema genérico de los componentes principales de un SIG

Fuente: María Sonia Perona León.

Siguiendo la figura 2.7, haremos un breve resumen de cada uno de los componentes:

- **Hardware:** Los SIG actuales son capaces de trabajar en distintos ambientes y plataformas ya sea con arquitectura cliente-servidor o monolítica, equipo PC, estaciones de trabajo, impresoras, plotters, etc.
- **Software:** El software actúa como soporte lógico que organiza, dirige y da consistencia a todo el sistema. A través del software SIG podemos llevar a cabo las funciones necesarias para manipular, administrar, almacenar, consultar, analizar y visualizar información geográfica.
- **Datos:** Dentro de la estructura de un SIG los datos son la parte mediante la cual se representa la realidad, a la vez que permiten enlazarla a situaciones y aplicaciones específicas. Comas y Ruiz (1993), para explicar el concepto de datos espaciales, proporcionan una definición concisa y útil: *Los datos son la representación concreta de hechos y constituyen el antecedente necesario para el conocimiento [10]*.
- **Procedimientos:** Para llevar a cabo las distintas tareas relacionadas con el diseño, creación y funcionamiento de los SIG, se requiere de un cuerpo metodológico específico. Los métodos tienen, en última instancia, la finalidad de establecer la estructura de un SIG y, en concordancia con ello, implementar aplicaciones que sustenten la toma de decisiones.

- Usuarios (RRHH): El hecho de que los usuarios formen parte de los componentes de todo SIG explica su claro objetivo de llegar a ser un elemento clave en la propia organización a la que pertenecen los usuarios. Y es que un SIG solamente tiene sentido en el contexto de una organización, entendida como la estructura que establece procedimientos, líneas de información, puntos de control, y otros mecanismos que aseguren el presupuesto, mantengan una elevada calidad de los trabajos realizados y garanticen las necesidades de la organización[11].

2.2.3 Herramientas SIG

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, en los últimos años, se ha producido un incremento considerable en el uso de los Sistemas de Información geográfica [6], de acuerdo a este crecimiento han proliferado gran cantidad de herramientas SIG. Vamos a hacer una revisión concisa de las principales herramientas SIG existentes en la actualidad, atendiendo al tipo de licencia software haciendo una distinción entre las herramientas con licencia propietaria y licencia basada en software libre.

I. *Software propietario*

- *ArcGIS*: Herramienta desarrollada y comercializado por *ESRI* (Environmental Systems Research Institute) que agrupa varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica.
- *AutoCAD Map 3D*: Es la solución ofrecida por *Autodesk* que conecta CAD y GIS. Contiene herramientas para la creación, edición y análisis de GIS, a la vez que permite acceso directo a los principales formatos comerciales. No se necesita transformar la información CAD en GIS y viceversa, por lo que se obtiene una mayor rapidez y precisión en el trabajo [12].
- *Geomedia*: Suite de productos desarrollados por *Intergraph* que se caracteriza por tener un conjunto de aplicaciones integradas, que proporcionan una amplia capacidad de procesamiento geoespacial requerido en el sector industrial, empresas de servicios públicos, gestión de infraestructuras, etc [13].

- *IDRISI*: Es un Sistema de Información Geográfica de estructura raster desarrollado por la Escuela de Post-Grado en Geografía, de la Universidad de Clark, en Worcester, Massetusetts, EE.UU. Es un SIG de bajo costo diseñado para ofrecer herramientas profesionales y geográficas en el análisis espacial [14].
- *MapInfo*: Es una potente herramienta de Sistemas de Información Geográfica desarrollada por Pitney Bowes Software Inc. que permite realizar diversos y complejos análisis geográficos ideales para facilitar la toma de decisiones: Captura, Consulta, Edición, Análisis y Reportes de Información Geográfica Dinámicamente relacionada con Bases de Datos [15].

II. *Software libre*

- *GRASS*: Proyecto que nació en 1982 y fue desarrollado por el *Cuerpo de Ingenieros del Laboratorio de Investigación de Ingeniería de la Construcción del Ejército de Estados Unidos* como herramienta para la supervisión y gestión medioambiental de los territorios bajo administración del Departamento de Defensa al no encontrar ningún SIG en el mercado que satisficiese estas necesidades. Su popularidad se ha ido incrementando en universidades, empresas y agencias gubernamentales. GRASS era uno de los primeros ocho proyectos de la Fundación OSGeo (Open Source Geospatial Consortium)⁷ [16].
- *GvSIG*: Aplicación de escritorio promovida por la *Consejería de Infraestructuras de la Comunidad Valenciana* diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas, la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. Se caracteriza por disponer de una interfaz amigable y la posibilidad de desarrollar aplicaciones en forma de extensiones a partir de su núcleo básico [17].
- *Kosmo*: SIG de escritorio desarrollado por la empresa SAIG S.L. (Sistemas Abiertos de Información Geográfica, S.L.). Es el

⁷ La fundación OsGEO fue creada para promover y construir el *software* geoespacial abierto de la más alta calidad. El objetivo de la fundación es promover el uso y desarrollo colaborativo de proyectos liderados por la comunidad. <http://www.osgeo.org/>

primer componente de una serie de desarrollos que están en marcha y que se irán poniendo a disposición de toda la comunidad. Al igual que gvSIG, Kosmo ofrece la posibilidad de ampliar su funcionalidad basándose en extensiones [18].

- *Quantum GIS*: También conocido como QGIS, es un SIG de código libre multiplataforma. Fue uno de los primeros ocho proyectos de la Fundación OSGeo. Permite manejar formatos raster y vectoriales, así como bases de datos [19].

Las herramientas vistas anteriormente representan al software SIG que tiene un uso más extendido en la actualidad, aunque existen distribuidas otras herramientas SIG, no se ha creído conveniente incluirlas en el inventario de esta memoria debido a su uso minoritario. Todas estas herramientas han sido desarrolladas en base al concepto de los Sistemas de Información Geográfica, así que para tener una visión más amplia de la temática SIG, haremos un breve repaso por la evolución que han seguido los Sistemas de Información Geográfica desde sus inicios hasta la actualidad.

2.2.4 Evolución Histórica de los SIG

Para la geografía, geología, topografía, biología, informática y demás ciencias que pueden hacer uso de la información geográfica, los SIG han constituido una verdadera revolución para el conocimiento de los elementos y fenómenos que tienen lugar en la superficie terrestre. En su evolución histórica está mayoritariamente aceptada la existencia de unos periodos más o menos claros y definidos que engloban las distintas fases por las que ha transcurrido la evolución de los SIG [20] desde su aparición hace casi cuarenta años.

1. Primera etapa

La primera etapa se extendería desde las primeras aproximaciones de los años cincuenta hasta mediados de los setenta y se caracteriza por los esfuerzos individuales en el desarrollo y la aplicación de los sistemas.

El nacimiento de los SIG va ligado al desarrollo de otros sistemas, de los cuales son claros herederos por su similitud, los sistemas de diseño asistido por

computador (CAD). Una característica importante de estos primeros pasos en los SIG es que en todos los casos analizados las personas que iniciaron el desarrollo de estas tecnologías, desconocían realmente que lo que estaban creando eran Sistemas de Información Geográfica.

Por un lado, encontramos instituciones y otras instancias gubernamentales que ponen en marcha sus iniciativas de manera particular para resolver los problemas derivados de sus actividades relacionadas con el tratamiento de la información geográfica. Por otro lado, está el grupo que engloba a las universidades. En ellas también se intentan encontrar nuevos métodos para el tratamiento de la información espacial. Este grupo busca el desarrollo de sistemas automáticos con los que realizar análisis de datos geográficos y no tanto la producción de cartografía. Lo que ambos grupos buscan es conseguir unas aplicaciones que de forma automática resuelvan cuestiones que hasta la fecha se habían solventado de manera manual.

Las iniciativas pioneras se llevaron a cabo en Canadá, Estados Unidos, y Gran Bretaña [20], entre las que podemos destacar, tomándola como referencia, a ESRI (Environmental Systems Research Institute), compañía líder mundial en temática SIG, que nació en 1969 con el fin de ser una empresa de consultoría privada especializada en análisis de suelos. En sus pasos iniciales se dedicó a organizar y analizar la información geográfica [21].

2. Segunda etapa

Siguiendo con las fases de evolución de los SIG, la segunda etapa se solaparía en sus primeros momentos con la primera, iniciándose hacia mediados de los años setenta y extendiéndose hasta principios de los años ochenta.

Esta etapa de desarrollo está caracterizada, en general, por la disminución de la importancia de las iniciativas individuales y un aumento de los intereses a nivel corporativo, especialmente por parte de las instancias gubernamentales y de la administración [20].

Durante esta etapa ESRI dedicó sus recursos a desarrollar modularmente un conjunto de herramientas de aplicación (figura 2.8) que pudieran ser usadas en un ambiente computarizado, para crear un sistema de información geográfica. Esto es lo que hoy es conocido como tecnología de Sistemas de Información Geográfica [21].



Figura 2.8: Personal de ESRI en el año 1981

Fuente: ESRI, www.esri.com.

3. Tercera etapa

Inmediatamente después, también a inicios de los años ochenta, se da lo que se ha venido a conocer como fase comercial. Es en este periodo cuando el interés de distintas grandes industrias relacionadas directa o indirectamente con los SIG crece sobremedida, debido a la gran avalancha de productos en el mercado informático internacional que hicieron generalizarse a esta tecnología [20].

En 1982, ESRI lanzó su primer software comercial SIG llamado Arc/Info. Este combinó elementos geográficos de despliegue computarizado (ver figura 2.9), tales como puntos, líneas y polígonos, con una herramienta de administración de bases de datos para asignar atributos a estos elementos. Con el lanzamiento de Arc/Info ESRI pasó de ser una pequeña compañía de consultoría a una gran organización de desarrollo e investigación dedicada a tecnologías SIG enfocándose en su comunidad de usuarios [21].



Figura 2.9: Sala de computación de ESRI en el año 1982

Fuente: ESRI, www.esri.com.

4. Cuarta etapa

El paso siguiente a la etapa comercial para profesionales, se corresponde con la década de los noventa, donde los Sistemas de Información Geográfica empezaron a difundirse al nivel del usuario doméstico debido a la generalización de los ordenadores personales o microordenadores [20].

En 1986 ESRI creó PC Arc/Info, una estación SIG basada en PC stand alone (ver figura 2.10). Esto convirtió a ESRI en una compañía de un solo producto y le permitió abrir nuevas investigaciones en el desarrollo de productos mucho más novedosos [21].



Figura 2.10: PC Arc/Info en funcionamiento, año 1987

Fuente: ESRI, www.esri.com.

5. Quinta etapa

A finales del siglo XX y en los primeros años del siglo XXI la mejora del rendimiento de los ordenadores debido a los avances tecnológicos y la consolidación, por otra parte, de la necesidad de paquetes informáticos de información geográfica conforman una nueva etapa en la evolución de los Sistemas de Información Geográfica, sobre todo con la generalización del uso de Internet, que permite la distribución a nivel mundial de cartografía y la puesta en marcha de servicios gratuitos, como por ejemplo Google Earth y Google Maps, que han tenido gran éxito en la sociedad actual y que han permitido eliminar el desconocimiento que existía por parte del usuario doméstico hacia este tipo de sistemas [20].

Durante esta etapa ESRI se centra en el desarrollo de ArcView, ArcInfo y ArcGIS y subproductos derivados que actúan como *plugins*⁸ específicos, que la convierten en la compañía de software SIG privativo con más peso en el mundo [21].

Paralelamente en esta época el movimiento de software libre realiza desarrollos intentando crear alternativas al software propietario, muchos de ellos se quedan en el camino por falta de apoyo tanto de las instituciones públicas como de la comunidad, pero algunos consiguen remontar y logran situarse como una alternativa a las costosas licencias impuestas por la utilización de los productos de ESRI, de entre todos los proyectos de SIG libres destacamos gvSIG, ya que se usará como base en el desarrollo del prototipo software presentado en esta memoria, por ello lo veremos con mayor detalle en la sección 2.5 del presente capítulo.

6. Sexta etapa

Podíamos denominar a esta etapa como la era de la *Geolocalización Social: GPS + Movil + Redes Sociales*.

La tendencia de los últimos tiempos está en unir la tecnología GPS al entorno de las redes sociales y más concretamente el uso de dichas redes sociales mediante entornos móviles [22]. El concepto de geolocalización es

⁸ Aplicación que se relaciona con otra para aportarle una función nueva y generalmente muy específica.

sinónimo de georreferenciación y se refiere al posicionamiento con el que se define la localización de un objeto espacial representado mediante (puntos, líneas o polígonos) en un sistema de coordenadas⁹ y un datum¹⁰ determinado. Por ello la geolocalización se convierte en eje central para el modelado de datos realizados por los Sistemas de Información Geográfica [23, 24]. Dada la importancia que tiene la georreferenciación en el modelado de datos de un SIG, repasaremos los aspectos relacionados más relevantes en la sección 2.3 del capítulo actual.

Hay un uso cada vez más extendido de móviles *smartphone*, donde nos encontramos un en fase expansiva. La velocidad cada día mayor en la adaptación del parque de dispositivos móviles a esta realidad se puede apreciar en la tasa de renovación de terminales: el 58% de los consumidores encuestados tienen un móvil con menos de un año de antigüedad. Este aspecto permite acortar el tiempo que se necesita para que una gran mayoría del parque móvil disfrute de terminales con la tecnología hardware apropiada. Y unido a los últimos datos, que revelan un crecimiento del 275% en el uso del móvil como acceso a redes sociales, existen desde hace tiempo proyectos como Foursquare¹¹ o Gowalla¹², redes sociales especializadas en geolocalización, (donde claramente apuestan por esta fórmula de unir GPS, Móvil y Red Social). Estas iniciativas gozan de una relativa popularidad entre los *early adopters*, siendo un dato los 4 millones de usuarios que alcanzó en octubre del 2010 Foursquare [22], quizás la más popular de las redes sociales dedicadas en España.

Incluso el gigante de las redes sociales Facebook¹³, anunció en agosto de 2011 “*Facebook Places*” con un sistema similar a Foursquare o Gowalla [22].

Esto está consiguiendo acercar al usuario doméstico, aún más, a los Sistemas de Información Geográfica.

⁹ Un sistema de coordenadas es un sistema que utiliza uno o más números (*coordenadas*) para determinar unívocamente la posición de un punto o de otro objeto geométrico.

¹⁰ En geodesia un datum es un conjunto de puntos de referencia en la superficie terrestre en base a los cuales las medidas de la posición son tomadas y un modelo asociado de la forma de la tierra (elipsoide de referencia) para definir el sistema de coordenadas geográfico.

¹¹ <https://es.foursquare.com>

¹² <http://gowalla.com>

¹³ <http://www.facebook.com>



Figura 2.11. Redes sociales que hacen uso del geoposicionamiento.

Fuente: Sitios web de las redes sociales.

2.2.5 Clasificación de los SIG

Una vez que tenemos claro los Sistemas de Información Geográfica y las nociones relacionadas, en esta subsección nos centraremos en la clasificación de los mismos. Aunque en la literatura existan distintas clasificaciones de los SIG, la más extendida es la que tiene como criterio el tipo de información que son capaces de almacenar y tratar.

En general, son dos los tipos que normalmente se utilizan a la hora de estructurar la información que puede estar contenida en un SIG. Esta información puede ser almacenada en *formato raster* o *formato vectorial*, cada uno de estos modelos de representación proporcionarán una serie de ventajas y desventajas, dependiendo del uso que se quiera hacer del Sistemas de Información Geográfica [20] (ver figura 2.12).

	raster	vectorial
precisión gráfica	-	+
cartografía tradicional	-	+
volumen de datos	-	+
topología	-	+
operaciones de cálculo	+	-
actualización	+	-
variación espacial continua	+	-
integración	+	-
variación espacial discontinua	-	+

Figura 2.12: Ventajas e inconvenientes de la representación raster y vector.

Fuente: *The GIS Book*. George B. Korte, P.E.

Veamos de una manera pormenorizada cada uno de estos modelos de representación de información geográfica.

A. Modelo Vectorial

El modelo de SIG vectorial se centra en la precisión de localización de los elementos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, con límites definidos [20] (ver figura 2.13). Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres objetos espaciales: el punto, la línea y el polígono, que son codificados y almacenados mediante una colección de coordenadas x,y.

- La localización de un objeto representado como un punto está descrita sólo por una pareja de coordenadas x,y.
- Los elementos lineales, como pudieran ser ríos o carreteras, como un vector de puntos, representados cada uno por un conjunto de coordenadas x e y.
- Los polígonos, por ejemplo parcelas o lagos, se representan de la misma forma que los elementos lineales, pero con la salvedad de que el punto inicial y el punto final coinciden para así conseguir áreas cerradas.

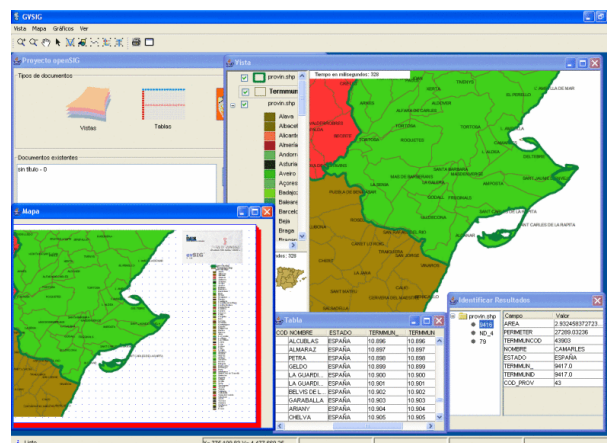


Figura 2.13: Ejemplo de SIG vectorial.

Fuente: gvSIG, www.gvsig.org.

B. Modelo Raster

El modelo de SIG raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización [20]. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Cuanto mayores sean las dimensiones de las celdas (resolución) menor es la precisión o detalle en la representación del espacio geográfico.

En el modelo raster el espacio no es continuo sino que se divide en unidades discretas. Esto le hace especialmente indicado para ciertas operaciones espaciales como por ejemplo las superposiciones de mapas o el cálculo de superficies. Las estructuras raster pueden implicar en ocasiones un incremento del espacio de almacenamiento, ya que almacenan cada celda de la matriz sin tener en cuenta si se trata de una entidad o simplemente de un espacio “vacío”.

Tenemos dos estructuras principales para almacenar la información raster, enumeración exhaustiva (figura 2.14) y codificación por grupos de longitud variable “run-length” (figura 2.15) [9].

1. Enumeración Exhaustiva:

En esta estructura de datos el valor de cada pixel se registra individualmente, de forma que no se aplica ningún método de compresión cuando el mismo valor numérico aparece reiteradas veces seguidas.

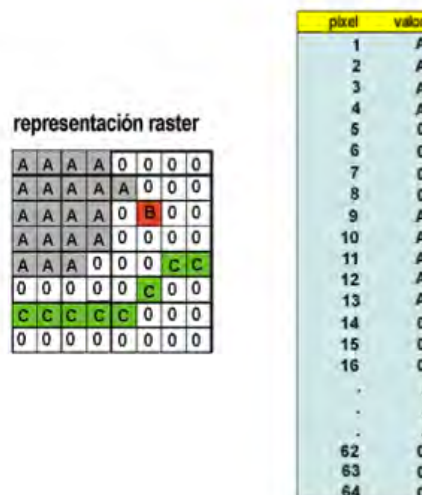


Figura 2.14: Ejemplo de enumeración exhaustiva

Fuente: *The GIS Book*. George B. Korte, P.E.

2. Codificación por grupos de longitud variable “run-length”:

Es un método de compresión de imágenes. En el caso de que existan celdas contiguas con valores numéricos idénticos, esta estructura compacta la información. En vez de registrar el valor de cada celda individualmente, para cada fila se recoge el valor temático que existe y el número de celdas con dicho valor. Si sólo existe una celda con ese valor el tamaño se duplica, pero se reduce considerablemente en el caso de tres o más celdas idénticas. Cuanto mayores y más frecuentes sean las series de datos repetitivos, mayor compresión se logrará. Esta técnica es especialmente útil para codificar imágenes monocromo o binarias.

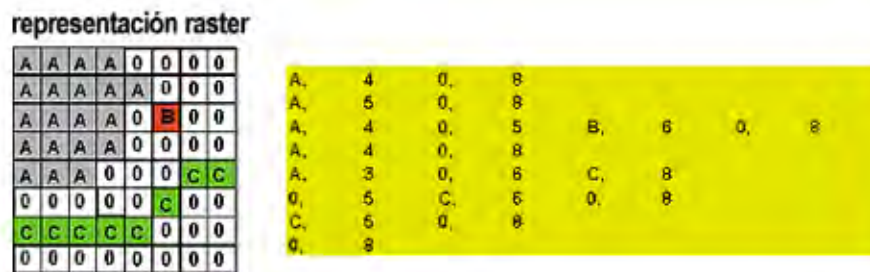


Figura 2.15: Ejemplo de representación raster con codificación por grupos de longitud variable “run-length”

Fuente: *The GIS Book*. George B. Korte, P.E.

Los SIG vectoriales son más populares en el mercado. No obstante, los SIG raster son muy utilizados en estudios que requieran la generación de capas continuas, necesarias en fenómenos no discretos; también en estudios medioambientales donde no se requiere una excesiva precisión espacial (contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc.). En un mismo Sistema de Información Geográfica se pueden mezclar las dos representaciones para conseguir resultados que cumplan al máximo los requerimientos del usuario final del SIG (figura 2.16).

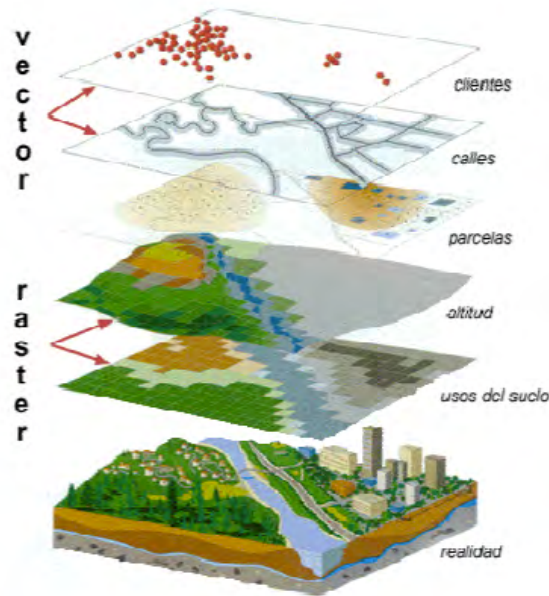


Figura 2.16: Representación de la realidad en distintas capas con datos raster y vector

Fuente: ESRI, www.esri.com.

2.2.6 Aplicación de los SIG

Los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en la última década en herramientas de trabajo esenciales en el planeamiento urbano y en la gestión de recursos. Su capacidad para almacenar, recuperar, analizar, modelar y representar amplias extensiones de terreno con enormes volúmenes de datos espaciales les han situado a la cabeza de una gran cantidad de aplicaciones. Los Sistemas de Información Geográfica ofrecen actualmente un gran abanico de aplicaciones, de entre las que podemos destacar las siguientes:

- *Localización de elementos*

Los SIG permiten situar y localizar elementos sobre un mapa virtual, utilizando para ello georreferenciación y geolocalización [25].

- *Cálculo de rutas*

Los Sistemas de Información Geográfica pueden realizar cálculos que permitan conocer el camino óptimo a seguir entre dos o más puntos. Esta utilidad es bastante utilizada en la actualidad por ejemplo para realizar una planificación de un viaje por carretera [9, 25].

- *Cálculo de distancias*

Los SIG se pueden utilizar para saber qué está pasando en un radio determinado alrededor de una entidad [9, 25].

- *Mapas cuantitativos*

Mapas de población, que se utilizan para localizar lugares que reúnen ciertos criterios demográficos y tomar decisiones, o para ver las relaciones existentes entre diferentes lugares. Esto proporciona un nivel de información adicional más allá de los simples mapas de localizaciones de entidades. Un ejemplo de esta utilidad la podemos encontrar en los SIG dedicados a análisis de impactos visuales, modelado de ecosistemas, gestión de infraestructuras, etc. [20, 25].

- *Mapas de densidades*

Aunque las concentraciones se pueden ver simplemente en un mapa de localización de entidades, en aquellas áreas donde existen muchas de ellas se hace complicado ver qué áreas tienen mayores concentraciones que otras. Un mapa de densidad permite medir el número de entidades en una unidad de área uniforme, tal como el metro o el kilómetro cuadrado, de forma que se puede ver claramente la distribución. Esto podrá ser utilizable para realizar labores de geomarketing, asignación de impuestos, etc. [25].

- *Cartografía y detección del cambio*

Los SIG se pueden utilizar para cartografiar el cambio en una zona para predecir condiciones futuras, tomar decisiones, o evaluar los resultados de una acción o una política concreta. Este tipo de SIG serían utilizables por ejemplo en previsión de la expansión territorial que tendrá una ciudad en el futuro [9, 25].

Por ser tan versátiles, los Sistemas de Información Geográfica presentan un campo de aplicación muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades que tengan una componente espacial.

2.3. Georreferenciación

Como ya comentamos anteriormente, la georreferenciación es un concepto que se refiere al posicionamiento con el que se define la localización de un objeto espacial (representado mediante puntos, líneas o polígonos) en un sistema de coordenadas y un datum determinado [23, 24]. Este proceso es utilizado frecuentemente en modelado de

datos de los Sistemas de Información Geográfica, por tanto si tenemos presente el esquema general de los componentes esenciales de un SIG (figura 2.7), el proceso de georreferenciación estaría encuadrado dentro de dos componentes esenciales, dependiendo de la fase en la que se encuentre la georreferenciación:

- En la fase inicial, se encuadraría dentro de la categoría de “*Procedimientos*”, ya que se correspondería con la metodología a seguir para generar la información espacial que requiere el SIG.
- En la fase final, podríamos categorizarla dentro de “*Datos*”, una vez realizado el procedimiento de georreferenciación obtendríamos la información necesaria para el SIG.

Centrándonos en la teoría, la georreferenciación posee una definición científico-técnica, aplicada a la existencia de las cosas en un espacio físico, mediante el establecimiento de relaciones entre las imágenes raster o vectoriales sobre un mismo sistema de coordenadas geográfico. Por ello la georreferenciación se convierte en un elemento central para los modelados de datos realizados por los Sistemas de Información Geográfica (SIG) [23, 26].

Antes de iniciar el proceso de georreferenciación se deben plantear una serie de cuestiones, que harán que este sea un proceso más entendible y simple. Estas cuestiones son las siguientes [26]:

1. ¿Cuánto esfuerzo nos va a suponer el proceso de georreferenciación?
2. ¿Cuánto tiempo nos va a llevar?
3. ¿Qué proporción de la colección de datos se encuentra ya digitalizada?
4. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de georreferenciar la colección de datos existente?
5. ¿Cómo y por quién serán usados los datos georreferenciados?
6. ¿Qué nuevos conceptos se deben aprender para realizar la georreferenciación?
7. ¿De qué recursos se dispone, para realizar la georreferenciación?
8. ¿Qué herramientas pueden ser usadas para que la georreferenciación resulte más fácil?

Si se pueden responder esas cuestiones, podremos iniciar el proceso de georreferenciación sin problemas.

2.3.1. Recursos Básicos para Realizar Georreferenciación

Para empezar el proceso de georreferenciación deberemos tener a nuestra disposición una serie de recursos básicos:

- Una base de datos, que almacene los datos necesarios para realizar la georreferenciación.
- Mapas Topográficos o recursos cartográficos.
- Acceso a un buen repositorio de servicios remotos de mapas (WMS¹⁴), muchos de ellos están disponibles de forma gratuita vía Web.
- Acceso a los recursos de Internet ya que en momento de duda se podrán realizar consultas técnicas en webs especializadas.
- Y obviamente, un soporte hardware adecuado que permita hacer la georreferenciación.

2.3.2. Metodología General de Georreferenciación

A lo largo del tiempo, los expertos en georreferenciación han desarrollado distintas metodologías a seguir a la hora de situar elementos sobre el mapa. Una de las metodologías mejor acogidas es la desarrollada por el proyecto MaPSTeDI¹⁵, de la universidad de Colorado en Estados Unidos [26].

El proyecto MaPSTeDI recomienda seguir los siguientes pasos, a la hora de realizar cualquier proceso de georreferenciación:

1. Localizar y trazar el punto que es motivo de georreferenciación.
2. Asignar un valor a este punto, de manera que quede identificado de forma unívoca.
3. Registrar los datos que acompañan al punto georreferenciado. Este es un paso importante, pero que a menudo se subestima y se deja un poco de lado. Se ha

¹⁴ El Servicio Web Map Service es un estándar internacional que define un mapa como una representación de la información geográfica en forma de un archivo de imagen digital obtenido a partir de una petición mediante una url.

¹⁵ <http://mapstedi.sourceforge.net/>

comprobado que muchos de los errores en georreferenciación vienen por un almacenamiento incorrecto de los datos. Es importante que todos los campos requeridos en la base de datos queden almacenados con un formato correcto. El administrador de la base de datos deberá poner ciertas restricciones para que el formato de los campos siempre sea el correcto.

4. Documentar la relación de georreferenciación para cada registro de la base de datos. Este paso es crítico porque en caso de que hubiese registros erróneos o confusos, esta información sería muy importante para permitir que, se realicen comprobaciones de calidad que permitan entender la relación que hay entre el punto geolocalizado y la información que lo acompaña, y así resolver los errores que pudieran haber ocurrido en el proceso de registro. Se aconseja que esta documentación se encuentre almacenada en una base de datos, junto con la información georreferenciada, en caso de que no sea posible, se deberá almacenar en documentos electrónicos.

Una vez concluido el proceso de georreferenciación se obtendrán los datos necesarios que hará funcional el Sistema de Información Geográfica y permitirá poner en valor esa información realizando labores de consulta, análisis, manipulación, etc.

En caso de tener una base de datos espacial con la información a georreferenciar, algunos de los pasos propuestos por el proyecto MaPSTeDI en la metodología general se pueden realizar de forma automática mediante comandos. Este es el caso del Sistema SIGPAC que posee una base de datos espacial con el parcelario agrícola, información que se podría reutilizar en la construcción del sistema básico de gestión, objeto de estudio de esta memoria.

2.4. EL SIGPAC

En la actual subsección haremos una breve explicación del SIGPAC, veremos como se originó el proyecto, la normativa que lo regula y la información que almacena, dada la importancia que tiene en la construcción del sistema básico de gestión. El SIGPAC circunscrito al ámbito de la presente memoria, representa un concepto íntimamente ligado con la georreferenciación, de echo en el esquema conceptual de un SIG (figura 2.7), al igual que la georreferenciación en su fase final, estaría encuadrado dentro de la categoría de “*Datos*”, ya que a partir de la información que almacena,

mediante un proceso de georreferenciación, obtendremos la información necesaria para el sistema básico de gestión, objetivo en la memoria vigente.

2.4.1. ¿Qué es el SIGPAC?

El SIGPAC [5] es el Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas, creado a través de la colaboración entre el Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA) y las distintas Comunidades Autónomas, en el ámbito de sus territorios, como elemento del Sistema Integrado de Gestión y Control de los regímenes de ayuda directa. Tiene carácter de registro público de perfil administrativo, y contiene la información actualizada de las parcelas susceptibles de beneficiarse de las ayudas comunitarias relacionadas con la superficie, disponiendo de soporte gráfico de éstas y sus subdivisiones (RECINTOS) con usos o aprovechamientos agrarios definidos. (ver figura 2.17).

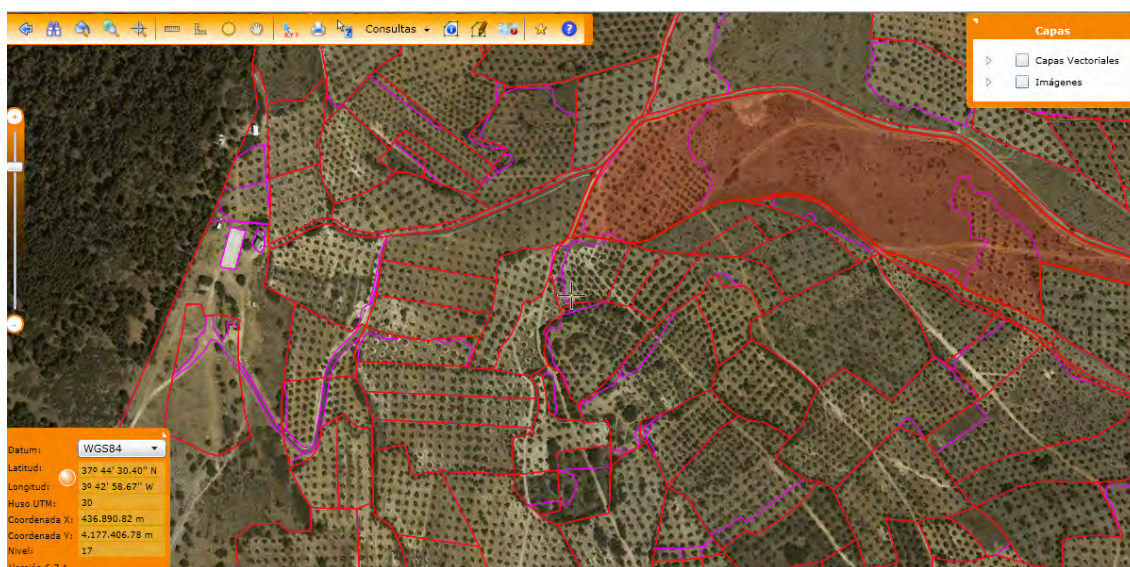


Figura 2.17. Visualización de parcelas del SIGPAC

Fuente: Visor SIGPAC, Consejería de Agricultura y Pesca Junta de Andalucía.

<http://sigpac.mapa.es/fega/visor>

2.4.2. ¿Cómo se Originó?

El Reglamento comunitario (CE) 1593/2000 del Consejo de 17 de julio, que modifica el Reglamento (CE) 3508/92 del Consejo, de 27 de noviembre, impusieron la creación de un Sistema de Información Geográfica como base para el Sistema de

Identificación de Parcelas Agrarias del Sistema Integrado de Gestión y Control de los regímenes de ayuda directa [5].

El Reglamento (CE) núm.73/2009 del Consejo, de 19 de Enero que deroga al Reglamento (CE) núm. 1782/2003 del Consejo, de 29 de Septiembre, obliga a los Estados miembros a que este sistema esté [5]:

1. Elaborado a partir de mapas, documentos catastrales u otras referencias cartográficas,
2. Diseñado en soporte informático, para permitir su utilización como base para la declaración de cualquier tipo de ayuda relacionada con la superficie.

Este Sistema de Identificación para España es conocido con las siglas SIGPAC (Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas).

2.4.3. ¿Cómo se Regula?

En el Real Decreto 2128/2004, de 29 de octubre se estableció para España la Normativa Básica de SIGPAC [5], en la que se constituyen los criterios que garantizan su correcto funcionamiento, como herramienta de obligada utilización en la gestión de las ayudas comunitarias, siendo la base identificativa de cualquier tipo de ayuda relacionada con la superficie.

A primeros de 2005 se publicó el SIGPAC, regulándose por la orden de 31 de enero de 2005 y adaptada por la orden 19 de octubre de 2005, que deroga la orden de 2 de agosto de 2004, por la que se establecían normas para la implantación del Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas.

Desde ese momento el SIGPAC es el sistema de referencia que se utiliza (códigos de parcelas y recintos, usos, superficies, etc.) para las declaraciones de ayudas relacionadas con las superficies cultivadas o aprovechadas por el ganado, integrando además, la base gráfica y alfanumérica del SIG-Oleícola¹⁶ y sustituyéndolo a todos los efectos.

Una vez puesto en funcionamiento el SIGPAC, el mantenimiento y la actualización de sus datos son competencia de las Comunidades Autónomas en su

¹⁶ El Sistema de Información Geográfica Oleícola es una herramienta que puso a disposición de los agricultores el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación y que permite la consulta de las parcelas catastrales oleícolas tras escoger la provincia, el municipio y el polígono catastral deseado.

territorio. Este procedimiento en Andalucía se reguló mediante Orden de 4 de Mayo de 2006, dicha orden fue derogada por la orden de 13 de Abril de 2007 que fue adaptada por las ordenes de 20 de Febrero de 2008 y la del 27 de Enero de 2009. Por último la orden que actualmente regula el procedimiento para el mantenimiento del Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas es la de 20 de Enero de 2010.

A primeros de cada año se publica el SIGPAC andaluz que tendrá vigor a lo largo del mismo, y se regula el período de presentación de alegaciones correspondiente [5].

2.4.4. ¿Qué Información Tiene?

SIGPAC guarda tanto información propia como información integrada y complementaria relacionada con el territorio [5]. La información disponible se muestra a través del VISOR SIGPAC (figura 2.17), que la publica en modo de capas. Para cada una de las capas podemos consultar sus datos (atributos) así como emitir informes que nos relacionen y muestren datos calculados.

2.5. GvSIG

En la sección dedicada a las herramientas SIG existentes en el mercado pudimos comprobar que había gran variedad de software de este tipo. Para la construcción del sistema básico de gestión propuesto como objetivo en la memoria, se ha seleccionado a la herramienta gvSIG como software SIG base. La selección de la herramienta se ha hecho principalmente a 3 criterios:

- Coste de la licencia: gvSIG es software de libre distribución, lo que evita tener que pagar grandes costes por licencia de uso.
- Extensión de nuevas funcionalidades: gvSIG ofrece la posibilidad de desarrollar nuevas extensiones a partir de su núcleo básico.
- Consolidación del proyecto: gvSIG es un proyecto consolidado, apoyado por el gobierno de la comunidad autónoma de Valencia y con una gran comunidad de usuarios y desarrolladores en todo el mundo.

Dentro del esquema general de los conceptos esenciales de un SIG (figura 2.7), situaríamos a gvSIG dentro de la categoría “Software”. GvSIG será el encargado de

organizar y dar consistencia al SIG permitiendo el tratamiento y análisis de la información del sistema.

2.5.1. Introducción

El origen de gvSIG [17] se remonta al año 2004, en el seno del proyecto de migración a software libre de los sistemas informáticos de la Conselleria de Infraestructuras y Transporte (CIT) de la comunidad de Valencia. Inicialmente nace con unos objetivos acordes a las necesidades de la CIT. Estos objetivos se ven rápidamente ampliados, fruto por un lado de la naturaleza del software libre -que facilita enormemente la expansión de la tecnología, del conocimiento y establece las bases sobre la que constituir una comunidad- y por otro de una visión de proyecto materializada en unas líneas de demarcación y un plan acorde para llevarlas a cabo.



Figura 2.18. Logotipo de gvSIG

Fuente: gvSIG, www.gvsig.org.

La visión del proyecto gvSIG nace como respuesta a una serie de preguntas iniciales:

- ¿Cómo Interpretar el modelo del Software Libre?
- ¿Qué hacer para que sea un proyecto duradero, sostenible en el tiempo?
- ¿Cómo construir una Comunidad sólida?

Las respuestas a estas preguntas hay que ubicarlas en la situación que vivía la geomática libre en el año 2004. Se inició un proyecto de Software Libre en unos años donde las soluciones en el campo de la geomática libre no estaban tan maduras como están ahora y donde existían, y siguen existiendo, diversas maneras de interpretar el modelo del Software Libre. Un entorno donde lo normal era ver proyectos de Software

Libre que por determinadas causas casi terminaban antes de empezar o se mantenían con un impacto residual sin provocar cambios significativos en el sistema predominante. Un entorno donde los únicos actores relevantes eran un puñado de multinacionales de software privativo.

De manera estructural, se consideró que se podía clasificar en dos grandes categorías la forma de avanzar en el desarrollo del conocimiento:

- a. Poniendo a diversos grupos rivalizando alrededor de un problema o temática específica, utilizando el conocimiento adquirido como argumento principal y especulando con el mismo
- b. Convirtiendo el conocimiento adquirido en conocimiento compartido, de forma que se puedan sumar cuantos más grupos mejor a la solución del problema o el desarrollo de la temática en cuestión.

Cambiar el modelo dominante en la actualidad, basado en la especulación del conocimiento adquirido para progresar individualmente por un modelo basado en el conocimiento compartido y la colaboración para progresar de manera conjunta, trabajar desde el mundo de la geomática por un modelo mejor y más justo se constituye en la principal misión del proyecto gvSIG.

2.5.2. Distribuciones de GvSIG

El proyecto gvSIG presenta tres distribuciones [17] que son funcionales en distintos ambientes de trabajo:

- gvSIG Desktop.
- gvSIG Mobile.
- gvSIG Mini.

Pasemos a introducir cada uno de los subproyectos de gvSIG.

I. *gvSIG Desktop*

gvSIG Desktop (figura 2.19) es la distribución de gvSIG sobre la que se ha desarrollado el prototipo SIG que es objeto de esta memoria, por este motivo, realizaremos una presentación más extensa.

gvSIG Desktop es un Sistema de Información Geográfica (SIG) [17], esto es, una aplicación de escritorio diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas, la información geográficamente referenciada con el fin

de resolver problemas complejos de planificación y gestión. Se caracteriza por disponer de una interfaz amigable, siendo capaz de acceder a los formatos más comunes, tanto vectoriales como raster y cuenta con un amplio número de herramientas para trabajar con información de naturaleza geográfica (herramientas de consulta, creación de mapas, geoprocésamiento, redes, etc.) que lo convierten en una herramienta ideal para usuarios que trabajen con la componente territorial.

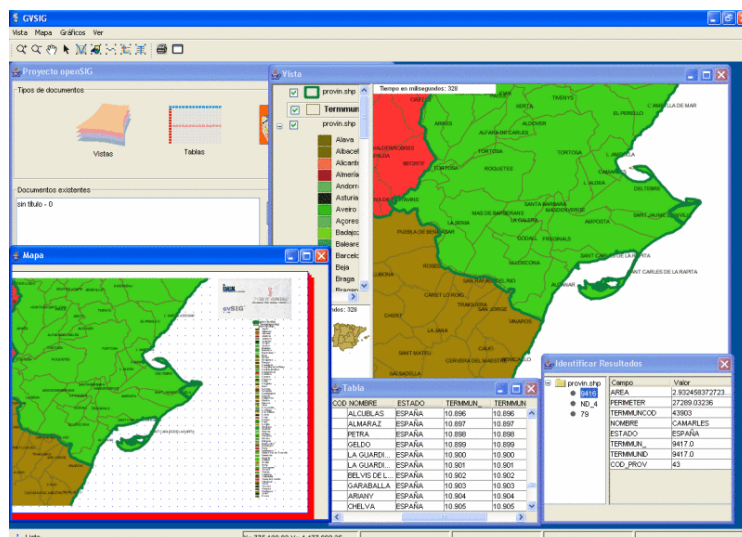


Figura 2.19. Ejemplo de funcionamiento de gvSIG Desktop

Fuente: gvSIG, www.gvsig.org.

Las características más destacables de gvSIG Desktop son:

1. Integrar en una Vista tanto datos locales (ficheros, bases de datos) como remotos a través de estándares OGC.
2. Está diseñado para ser fácilmente extensible, permitiendo una mejora continua de la aplicación, así como su uso para desarrollar soluciones a medida.
3. Es software libre, con licencia GNU/GPL, lo que permite su libre uso, distribución, estudio y mejora.
4. Está disponible en diversos idiomas: español, inglés UK, inglés USA, francés, alemán, italiano, portugués, portugués-brasileño, ruso, chino, serbio, swahili, turco, checo, polaco, rumano, griego, euskera, valenciano, gallego.
5. Está desarrollado con Java y está disponible para plataformas Linux, Windows y Mac OS X.

II. gvSIG Mobile

gvSIG Mobile (ver figura 2.20) es un Sistema de Información Geográfica (SIG) orientado a dispositivos móviles, ideal para proyectos de captura y actualización de datos en campo [17]. Se caracteriza por disponer de una interfaz amigable, siendo capaz de acceder a los formatos más comunes y cuenta con un amplio número de herramientas SIG y GPS ideales para trabajar con información de naturaleza geográfica.

gvSIG Mobile tiene como objetivo ampliar las plataformas de ejecución de gvSIG Desktop a una gama de dispositivos móviles, para dar respuesta a las necesidades de un creciente número de usuarios de soluciones móviles que desean hacer uso de un SIG en diferentes tipos de dispositivos.



Figura 2.20. Ejemplo de funcionamiento de gvSIG Mobile

Fuente: gvSIG, www.gvsig.org.

gvSIG Mobile es tanto un Sistema de Información Geográfica como un cliente de Infraestructuras de Datos Espaciales para dispositivos móviles. Es, además, el primer cliente de estas características licenciado como software libre.

III. gvSIG Mini

gvSIG Mini [17] es un visor de mapas para teléfonos móviles que visualiza servicios de mapas basados en tiles (teselas), como OpenStreetMap, Yahoo Maps, Microsoft Bing y otros.

Además de la visualización de mapas, gvSIG Mini ofrece una serie de funcionalidades interesantes (ver figura 2.21):

- Búsqueda de direcciones.

- Consulta de puntos de interés.
- Cálculo de rutas.
- Descarga directa de mapas desde el teléfono para una posterior visualización en modo desconectado, sin tráfico de datos.

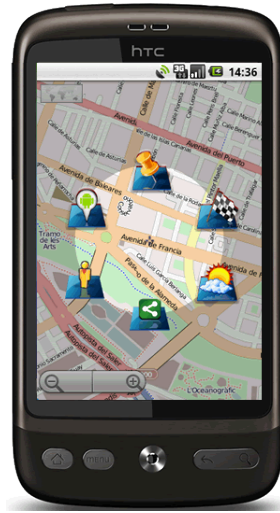


Figura 2.21. Ejemplo de funcionamiento de gvSIG Mini

Fuente: gvSIG, www.gvsig.org

Capítulo 3

Sistema Básico de Gestión de los Procesos

Agrícolas del Olivar

Una vez que se han dado a conocer los aspectos más relevantes de los Sistemas de Información Geográfica, las herramientas que se utilizarán para realizar el proceso georreferenciación de parcelas oleícolas y el software SIG base sobre el que se desarrollará el sistema, estamos en disposición de conocer aspectos relacionados con la construcción del sistema base que representa el propósito inicial de esta memoria.

Como vimos en el primer capítulo, el motivo de esta memoria es el desarrollo de un sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar, por ello en el presente capítulo realizaremos una introducción al sistema base, para posteriormente explicar con más detenimiento las novedades algorítmicas que implican el desarrollo de un SIG, ya que para realizar ciertas operaciones, habrá que trabajar con la componente geométrica asociada a los datos y que se ha obtenido mediante el proceso de georreferenciación definido en el capítulo segundo.

Para una comprensión correcta del sistema, se realizará una subsección dedicada al tipo de arquitectura definida para la aplicación y las tecnologías utilizadas para su desarrollo.

Por último veremos una muestra de las funcionalidades desarrolladas en el sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar que tienen un carácter más innovador y que facilitan la interacción de los usuarios con el sistema, permitiéndoles sacar el máximo partido a la información contenida de una manera visual, usando como referencia el parcelario oleícola.

3.1. Introducción

Como ya se ha comentado en párrafos anteriores, el propósito inicial de la memoria de investigación es la construcción de un sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar basado en Sistemas de Información Geográfica que ofrezca la posibilidad de realizar la gestión de la información que está en posesión de las cooperativas/almazaras de una manera visual, usando como eje central un mapa virtual con el parcelario oleícola.

Para la construcción del sistema objeto de la presente memoria de investigación se ha realizado un estudio pormenorizado de la información que está en posesión de las cooperativas oleícolas y se ha realizado un proceso de optimización de su almacenamiento y gestión, con el fin de que dicha información pueda ser incluida en el sistema base.

En la metodología de construcción del sistema base se ha tenido en cuenta el propósito general de la investigación que es el desarrollo de un sistema de soporte a la decisión para la gestión integrada de los procesos agrícolas del olivar, por ello dicha metodología se ha confeccionado de tal manera que facilite la integración de módulos de decisión según las necesidades de la gestión agrícola.

Teniendo patente el objetivo inicial propuesto en esta memoria, se ha realizado un modelo metodológico que permita cumplir tanto el citado objetivo inicial como los demás objetivos establecidos en el capítulo 1 de la memoria. Para facilitar la comprensión de la sistemática seguida, se ha diseñado un esquema que permita clarificar dicho proceso (ver figura 3.1).

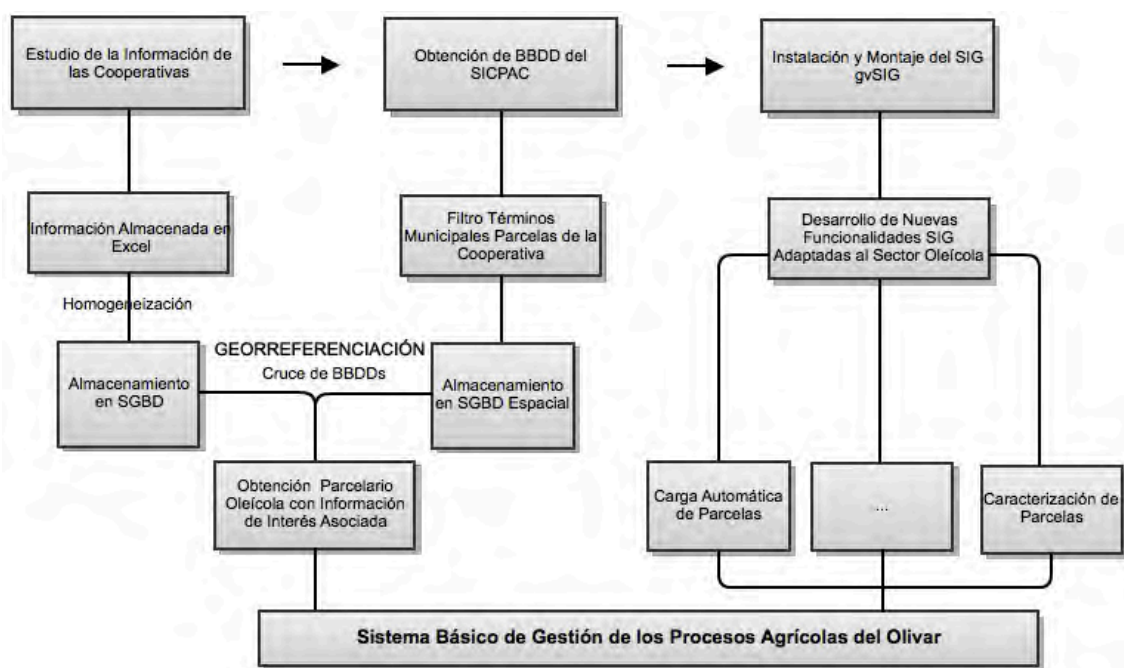


Figura 3.1. Modelo metodológico sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar

Fuente: Elaboración propia

El modelo del sistema se puede clasificar en tres fases generales:

1. Estudio de la información de interés almacenada en las cooperativas

Se ha realizado un estudio de campo pormenorizado en una serie de cooperativas oleícolas de la provincia de Jaén. Por motivos de accesibilidad, nos hemos centrado de una forma más profunda en la Sociedad Cooperativa Andaluza del Campo “San Sebastian” de La Guardia de Jaén.

En el contacto directo con las almazaras observamos que el número de datos que necesita tratar una entidad de estas características es cada vez mayor. A pesar de la gran cantidad de información que se maneja, podemos ver que la mayor parte de estos datos son tratados y están almacenados de forma deficiente, corroborando de esta forma la teoría inicial, expuesta en el capítulo ,1 de la brecha digital existente en el sector. Normalmente los datos están almacenados en formato Excel, y esta información es utilizada para gestionar, de una manera rudimentaria, el cuaderno de explotación de cada agricultor (ver figura 3.2).

MODELO 2: Tratamientos con productos fitosanitarios

TRATAMIENTOS CON PRODUCTOS FITOSANITARIOS								
Fecha	Código (1)	Origen del Tratamiento (2)/ cultivo (3)	Plagas/Enfermedades	Producto fitosanitario				Observaciones
				Nombre comercial	Nº Registro	Cantidad (4)	Volumen de caldo (5)	

(1) Codificación establecida en el modelo 1
 (2) Or: Cultivo Co: Consejero Lt: Local ME: Medio de transporte
 (3) Especificar el cultivo correspondiente
 (4) cantidad en Kg/L
 (5) Volumen de caldo en litros

Modelo: 2/...

Página núm. 48
 BOJA núm. 125
 Sevilla 26 de Junio 2007

Figura 3.2. Modelo 2 del cuaderno de explotación

Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía.

El siguiente paso dentro de esta primera fase ha sido la de homogeneizar toda la información necesaria para exportarla a un Sistema de Gestión de Base de Datos (SGBD) que permita optimizar la seguridad y la eficiencia en la gestión y acceso. En este nivel obtendríamos una serie de tablas:

- Parcela. Con los datos generales de la parcela.
- Socio. Con los datos generales del socio propietario de la parcela.
- Enfermedades. Con los datos de enfermedades sufridas en cada parcela.
- Productos Fitosanitarios. Con los datos de los productos fitosanitarios utilizados en cada parcela.

Después de haber hecho una revisión exhaustiva a la información almacenada en las tablas citadas anteriormente, llegamos a la conclusión de que estos datos se corresponden con información susceptible de ser georreferenciada, por ello se ha creído conveniente añadir una componente geográfica a los datos para que puedan ser explotados mediante tecnologías SIG, de esta forma se conseguirá realizar la gestión de la información agrícola relacionada con el olivar de una manera visual, cumpliendo con el objetivo marcado en primer capítulo de la memoria de facilitar y optimizar el uso y la gestión de esta información.

2. Obtención de la base de datos geográfica del SIGPAC.

Hasta ahora, cuando hemos hecho referencia al SIGPAC, lo hemos asociado al visor web (figura 3.5) que proporciona el Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA) en su página web¹⁷, pero como su nombre indica, la aplicación web sólo nos permite visualizar el parcelario y hacer una serie de consultas. Para la construcción del sistema deberemos obtener la cartografía incluida en la base de datos espacial del SIGPAC de la Junta de Andalucía

La cartografía proporcionada por el SIGPAC es de vital importancia para el desarrollo del sistema base porque representa la base cartográfica sobre la actuará la componente SIG.

¹⁷ <http://sigpac.mapa.es/fega/visor>

Cada parcela o recinto incluido en el SIGPAC tiene asociada información geométrica georreferenciada que está identificada de forma unívoca mediante una correlación de códigos: (figura 3.3)

- Código de provincia.
- Código de municipio.
- Código de polígono.
- Código de parcela.
- Código de recinto (opcional).

Provincia	Municipio	Agregado	Zona	Polígono	Parcela	Superficie (Ha)
23 - JAEN	38 - GUARDIA DE JAÉN (LA)	0	0	6	293	8,1000

Figura 3.3. Ejemplo de codificación de una parcela

Fuente: Elaboración propia

Después de haber realizado el análisis de la información textual almacenada en las cooperativas, fase 1 en el esquema metodológico (ver figura 3.1), observamos que está identificada de forma unívoca usando la misma codificación que utiliza el SIGPAC, con el fin de identificar las parcelas de cada socio. Como hemos visto en el capítulo 2 dedicado a los SIG, la base de este tipo de sistemas es la información geométrica georreferenciada, por esto, llegado este punto se llegó a la conclusión de realizar un proceso de georreferenciación cruzando mediante lenguaje SQL las dos Bases de Datos provenientes de la fase 1 y fase 2 del esquema metodológico (figura 3.1), de esta forma asociaremos la información geográfica del SIGPAC (necesaria para ser gestionada en un SIG) a la información alfanumérica de la cooperativa.

Si en relación al proceso de georreferenciación, como vimos en el capítulo 2, aplicamos el conjunto de preguntas propuestas por Chapman [26], al ámbito específico de las parcelas oleícolas de las cooperativas, responderemos una a una cada cuestión para ver si es posible realizar el proceso de georreferenciación que requiere el sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar, objeto de esta memoria:

1. *¿Cuánto esfuerzo nos va a suponer el proceso de georreferenciación?*

Se ha pensado en desarrollar un proceso de georreferenciación semiautomático a través de script que modele la información y asocie las

geometrías correctas a cada parcela “*textual*” de la cooperativa. Por tanto el esfuerzo estaría imputado al desarrollo de los scripts necesarios.

2. *¿Cuánto tiempo nos va a llevar?*

El tiempo requerido para realizar el proceso de georreferenciación estará íntimamente ligado al número de parcelas que posea la cooperativa, de manera que a mayor número de parcelas, mayor será el tiempo de procesamiento y por consiguiente, mayor será el tiempo necesario para el proceso de georreferenciación

3. *¿Qué proporción de la colección de datos se encuentra ya digitalizada?*

En nuestro caso, como comentamos en la introducción de la presente memoria, según la experiencia de campo en las cooperativas visitadas, existe gran cantidad de información digitalizada aunque los soportes utilizados para su almacenamiento no son los correctos (archivos Excel), esta información se tendrá que homogeneizar y exportarla a una base de datos.

4. *¿Cuáles son las ventajas y desventajas de georreferenciar la colección de datos existente?*

Las ventajas de georreferenciar los datos de las cooperativas son bastante sustanciales, ya que le daremos valor a una información que normalmente está en desuso o se usa de manera ineficaz y deficiente. En nuestro ámbito de actuación las desventajas que pudieran surgir son mínimas en comparación con las ventajas obtenidas.

5. *¿Cómo y por quién serán usados los datos georreferenciados?*

Los datos serán utilizados por las cooperativas oleícolas a través del sistema base.

6. *¿Qué nuevos conceptos se deben aprender para realizar la georreferenciación?*

Para realizar la georreferenciación hay que tener claros una serie de conceptos, como son:

- Conocer la estructura de las dos fuentes de datos (datos de la cooperativa y datos del SIGPAC)
- Lenguaje SQL.

- Manejo de software de conversión de formatos del tipo shp2pgsql¹⁸.

7. *¿De que recursos se dispone, para realizar la georreferenciación?*

Para realizar la georreferenciación se dispone por un lado de los datos textuales de la cooperativa y los datos geométricos almacenados en la base de datos del SIGPAC y por otro lado de una serie de programas de conversión de formatos y de un conjunto de script SQL que se han tenido que desarrollar previamente.

8. *¿Qué herramientas pueden ser usadas para que la georreferenciación resulte más fácil?*

La respuesta a esta pregunta esta directamente relacionada con la anterior, ya que las herramientas utilizadas para optimizar el proceso de georreferenciación y convertirlo en un proceso semiautomático serían tanto los script SQL como los programas de conversión citados anteriormente.

El poder contestar las cuestiones propuestas por Chapman [26] nos indica que podemos iniciar el proceso de georreferenciación de parcelas oleícolas sin ningún problema.

Una vez concluido el proceso de georreferenciación, se obtendrá como resultado una base de datos espacial con una serie de tablas que giran en torno a la entidad parcelas que tendrá la información alfanumérica proveniente de las cooperativas y la información geométrica que representa a cada área poligonal de cada parcela. La información espacial almacenada en la tabla parcela estará representada en forma vectorial mediante polígonos, que representa el área de las parcelas de la cooperativa oleícola.

3. Instalación y montaje del SIG gvSIG.

Como comentamos en la introducción de la memoria, el sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar debe tener capacidades SIG, que facilitaran la gestión y el manejo de la información. En el capítulo 2 vimos una serie de herramientas SIG de entre las que se escogió a gvSIG como software SIG base que permita la construcción del sistema básico objeto de la presente memoria.

¹⁸ Shp2pgsql es un programa gratuito que permite exportar archivos Shp de ESRI (uno de los formatos más comunes usados en SIG) a sentencias SQL que se puedan insertar en una base de datos PostgreSQL.

Una de las cualidades que hicieron que gvSIG fuera el software SIG elegido fue la posibilidad que ofrece de desarrollar nuevas extensiones, esta versatilidad permite desarrollar una serie de funcionalidades específicas para el sector oleícola, que facilite el acceso y la interacción con la información georreferenciada obtenida al finalizar las fases 1 y 2 del esquema metodológico propuesto (figura 3.1). En la subsección 3.4 haremos un repaso de las funcionalidades desarrolladas más destacadas.

3.2. Arquitectura del Sistema

El Sistema desarrollado ha sido diseñado en base a una arquitectura cliente/servidor [27] y una interfaz de escritorio que permita la comunicación con los usuarios (ver figura 3.4).

El funcionamiento genérico de este tipo de arquitectura es sencilla: La base de datos espacial se encuentra en un servidor central al que los usuarios acceden a través del software cliente, en nuestro caso la propia interfaz del software de escritorio, usando como canal de comunicación una red. Una vez que ha accedido a la base de datos, el usuario realiza peticiones que el servidor tiene que atender para generar una respuesta comprensible para el cliente [27] (ver figura 3.4).

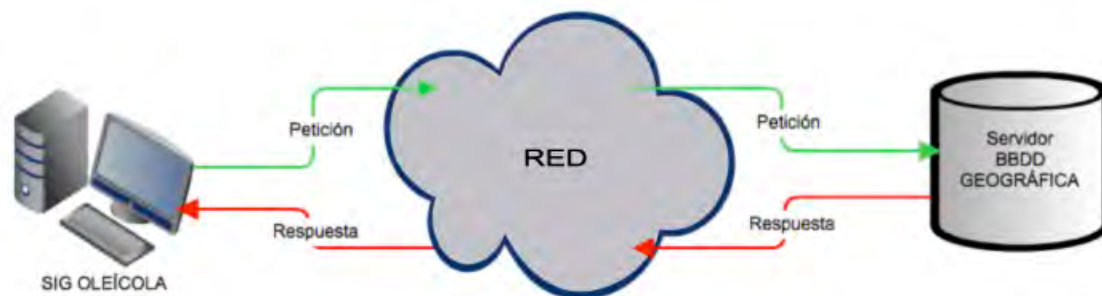


Figura 3.4. Arquitectura del sistema

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de estar desarrollando una aplicación de escritorio, se ha hecho uso de una arquitectura cliente-servidor con el fin de centralizar el servidor de base de datos

espacial para dar la posibilidad de que la aplicación pueda ser instalada en distintas máquinas de la cooperativa y que todas ellas compartan la misma fuente de datos para evitar duplicidades e inconsistencias de información. Este tipo de arquitectura también aligerará el proceso de instalación ya que no hay que preocuparse de instalar un servidor de bases de datos geográficas local.

Teniendo en cuenta la arquitectura del sistema, podremos hacer una clara distinción entre las tecnologías aplicadas para la aplicación cliente y las aplicadas a la parte servidora.

I. Tecnologías aplicadas en la parte cliente

Para el desarrollo de las nuevas funcionalidades oleícolas se ha partido de las bibliotecas y clases proporcionadas por gvSIG, escritas en lenguaje de programación *Java*, lo que implica que para el desarrollo de las nuevas funcionalidades y extensiones oleícolas deberemos seguir desarrollando en este lenguaje de programación.

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos, multiplataforma desarrollado por Sun Microsystem a principios de los años 90 [28].

II. Tecnologías aplicadas en la parte servidora

Como podemos observar en la figura 3.4, en la parte servidora tendremos un servidor de base de datos espacial que almacene la información alfanumérica y la información geográfica asociada a cada parcela de la cooperativa/almazara. Para seleccionar la tecnología más adecuada para el proyecto se han seguido principalmente tres criterios:

- Servidor de BBDD que siga con la filosofía basada en software libre que engloba al proyecto.
- Servidor de BBDD con capacidades geográficas, necesario para almacenar y gestionar información geométrica, que como ya sabemos es la base de todo SIG.
- Servidor de BBDD geográfica soportado por gvSIG.

De acuerdo a estos tres criterios se ha escogido como servidor de BBDD geográfica a *PostgreSQL-PostGIS*.

PostgreSQL es un sistema de gestión de base de datos relacional orientado a objetos y libre, publicado bajo la licencia BSD [29] que ofrece una extensión geográfica denominada *PostGIS*, que convierte a *PostgreSQL* en una base de datos espacial para su utilización en Sistema de Información Geográfica.

Si hacemos una recopilación de las tecnologías utilizadas tomando como base el esquema de la arquitectura del sistema (figura 3.4), observamos que a grandes rasgos para la aplicación cliente se hará uso del lenguaje de programación *Java* que estará conectado con el servidor de base de datos con capacidades espaciales *PostgreSQL-POSTGIS* para enviar/recibir peticiones y respuestas respectivamente.

3.3. La Componente Espacial como Base del Sistema

En el desarrollo del sistema básico basado en SIG tendremos como cimiento principal la información espacial apoyada en geometrías de tipo punto, línea o polígono. Por tanto para el desarrollo algorítmico de las nuevas funcionalidades del sistema se deberán incluir operaciones que pongan en valor la geometría de cada elemento.

Teniendo de referencia el esquema metodológico del sistema básico (figura 3.1), podríamos ubicar a la componente espacial entre las fases 1 y 2, en el momento que se realiza la georreferenciación. Es ese nivel, la información alfanumérica quedaría enlazada con la correspondiente información espacial representada mediante geometrías de tipo polígono.

En la sección actual haremos una revisión de las características más destacables de la componente espacial en un sistema basado en tecnologías SIG y las metodologías que permiten interactuar con la información de la base de datos a través de una interfaz gráfica.

3.3.1. El campo Geométrico en las Bases de Datos Espaciales

La construcción de un Sistema de Información Geográfica implica realizar un proceso que consiga abstraer la propia complejidad del mundo real a una representación simplificada que pueda ser procesada por el lenguaje de las computadoras actuales [30]. Para ello se hace necesario el trabajar con un Sistema de Gestión de Bases de Datos que proporcione capacidades geométricas que permitan realizar las operaciones necesarias

para modelar, con la mayor exactitud posible, el comportamiento real de los elementos incluidos en el sistema. Este proceso de abstracción tiene diversos niveles y normalmente comienza con el diseño de la estructura de la base de datos geográficas, separando la información de interés en capas, de forma que cada tabla de la base de datos represente una capa en el SIG.

La estructuración de la información espacial procedente del mundo real en capas conlleva cierto nivel de dificultad [30]:

1. En primer lugar, la necesidad de abstracción que requieren los computadores implica trabajar con primitivas básicas de dibujo, de tal forma que toda la complejidad de la realidad ha de ser reducida a puntos, líneas o polígonos que como vimos en el capítulo 2 son las representaciones básicas sobre las que se basan los SIG.
2. En segundo lugar, existen relaciones espaciales entre los objetos geográficos que el sistema no puede obviar: *las relaciones topológicas*, que en realidad representan al método lógico-matemático usado para definir las relaciones espaciales entre los objetos geográficos.

Para implementar y modelar las relaciones de topología se utiliza la denominada algebra de ROSE (RObust Spatial Extension) [31] que está basada en los tipos de datos espaciales reales (STD - *spatial data types*), pero en este caso, los objetos no están definidos en el *espacio Euclídeo* continuo sino que en términos de la malla que discretiza el espacio, esto debido a que los cálculos computacionales son discretos. Los operadores espaciales se definen de la siguiente forma:

i. *Consulta por punto (PQ)*

Dado un punto p, encontrar todos los objetos espaciales O que lo contienen.

$$PQ(p) = \{ O | p \text{ pertenece a } O.G \neq \emptyset \}$$

ii. *Consulta por rango o región (WQ)*

Dado un polígono P de consulta, encuentre todos los objetos O que intersecan P. Cuando P es rectangular, se llama window query.

$$WQ(P) = \{ O | O.G \cap P.G \neq \emptyset \}$$

iii. *Agregación espacial*

Es una variante de búsqueda por vecino más cercano. Dado un objeto O', encuentre los objetos o que tiene una mínima distancia de o'.

$$NNQ(o') = \{ o | \text{para todo } o: \text{dist}(o'.G, o.G) \leq \text{dist}(o'.G, o.G) \}$$

iv. *Join espacial*

Es uno de los operadores más importantes. Cuando dos tablas R y S son unidas de acuerdo a un predicado espacial θ , la unión de esas tablas es denominada como espacial. Una variante de este operador en SIG es la *superposición de mapas (map overlay)*. Este operador combina dos conjuntos de objetos espaciales para formar un nuevo conjunto. Las fronteras de este conjunto son determinadas por los atributos no espaciales asignados por la operación de superposición.

3.3.2. Codificación de Objetos Espaciales Well Known Text

Para interactuar con la geometría de una base de datos con capacidades espaciales se hace necesaria la existencia de métodos que permitan trabajar con el campo geométrico de forma similar a la forma con la que se interactúa con un campo de tipo entero o tipo texto. Para ello fue desarrollado WKT (Well Known Text) que según el OGC (Open Geospatial Consortium) se define como la codificación o sintaxis diseñada explícitamente para definir objetos espaciales representados con forma vectorial, es decir: puntos, líneas y polígonos y los subobjetos derivados: multipuntos, multigeometrías, multipolígonos, colecciones de geometría y puntos en 3 y 4 dimensiones [32].

La mayoría de los sistemas de gestión de bases de datos espaciales, y en especial PostgreSQL, utiliza la codificación WKT cuando se carga la extensión POSTGIS [29, 33].

La sintaxis WKT se basa principalmente en la descripción de los vértices que componen la geometría, acompañado del código que representa la referencia espacial o proyección cartográfica utilizada en el objeto geométrico al que se quiere hacer referencia [32].

Veamos unos ejemplos de codificaciones WKT:

- Punto: ('POINT (coordenada1₁,coordenada1₂)', CÓDIGO_PROYECCIÓN). (Figura 3.5).

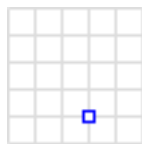


Figura 3.5. Representación WKT de un objeto vectorial tipo punto.

Fuente: Elaboración propia.

- Línea:('LINESTRING(coordenada1₁,coordenada1₂ coordenada2₁, coordenada2₂, coordenada3₁,coordenada3₂)', CÓDIGO_PROYECCIÓN). (Figura 3.6).

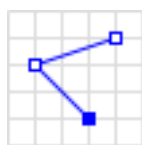


Figura 3.6. Representación WKT de un objeto vectorial tipo línea.

Fuente: Elaboración propia.

- Polígono:('POLYGON((coordenada1₁,coordenada1₂ coordenada2₁, coordenada2₂, coordenada3₁,coordenada3₂, coordenada1₁,coordenada1₂))', CÓDIGO_PROYECCIÓN). (Figura 3.7).

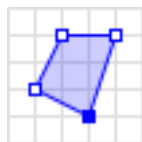


Figura 3.7. Representación WKT de un objeto vectorial tipo polígono.

Fuente: Elaboración propia.

En los ejemplos anteriores podemos observar que la representación WKT va acompañada por lo que hemos notado como código_proyección, que se refiere al sistema de referencia espacial (EPSG) que describe el datum, el geoide, el sistema de coordenadas y la proyección de los objetos espaciales, dicho código permite situar el elemento geométrico de forma correcta en el espacio. Por ejemplo el sistema de referencia espacial representado por el código EPSG 23030¹⁹ tiene asociado la siguiente información:

¹⁹ <http://spatialreference.org/ref/epsg/23030/>

- Datum: European Datum 50 (ED 50).
- Sistema de Coordenadas: UTM.
- Huso: 30 Norte.

Existe una variante de la codificación WKT, que actúa de forma similar pero la sintaxis en lugar de ser expresada de forma binaria, denominada WKB (Well Known Binary), también utilizada por estos gestores espaciales, pero con la ventaja de que al ser compilada en forma binaria la velocidad de proceso es mucho más elevada que la del método de codificación WKT.

Una vez que hemos hecho una breve introducción de la componente geométrica en los sistemas de gestión de bases de datos espaciales y los métodos de codificación que permiten acceder a los objetos geométricos, pasaremos a ver dos metodologías seguidas por los algoritmos espaciales desarrollados en el sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar objetivo de esta memoria.

La característica principal de las metodologías de los citados algoritmos espaciales está en la interacción con la componente geométrica de la base de datos para sacar partido, de una forma particular, a la información incluida.

3.3.3. Algorítmica Espacial Aplicada al Sistema

En el desarrollo de los algoritmos espaciales del sistema no tendremos que interactuar directamente con los objetos espaciales haciendo uso del algebra ROSE [31] directamente, para ello ya existen algoritmos complejos implementados en los Sistemas de Gestión de Bases de Datos con extensión espacial y en las bibliotecas básicas del proyecto gvSIG que nos proporcionarán una serie de métodos que permitan realizar operaciones geométricas con un nivel superior de abstracción.

Las metodologías algorítmicas están basadas dos de los métodos pertenecientes al algebra ROSE, estas son Point Query (PQ), para la metodología denominada *Consulta Punto-Polígono* y Window Query (WQ) para el método designado como *Consulta Polígono-Polígono*. Estas metodologías se han utilizado en otros ámbitos de actuación como por ejemplo en la operación de intersección entre dos capas SIG a la hora de realizar un áreas de influencia²⁰, pero se han modificado para adaptarlas a los

²⁰ La generación de áreas de influencia (*buffering*) implica la creación de una zona alrededor de un punto, línea o polígono, de un ancho especificado. El resultado de esta operación es un nuevo polígono, que se

problemas relacionados con el sector oleícola, con el fin de construir un sistema que facilite el uso a personas que no estén familiarizadas con los SIG.

A continuación expondremos de forma esquemática las dos metodologías principales que se han definido en la aplicación.

I. Consulta Punto-Polígono (PQ) [31]

Como vimos en el capítulo 2, una de las principales características de los SIG es la correlación que existe entre la información geométrica mostrada sobre el mapa y la información alfanumérica asociada. Aplicando este principio a nuestro sistema, tendremos por un lado las geometrías de las parcelas oleícolas georreferenciadas sobre el visor del mapa y por otro la información de la cooperativa relacionada con cada una de las parcelas correspondientes. La información alfanumérica se mantiene oculta por defecto ya que lo interesante es que se muestre una ficha informativa cada vez que se haga clic sobre una parcela válida con la herramienta de información seleccionada. Aunque a nivel de usuario tal cuestión resulta irrelevante, a nivel técnico existen una serie de operaciones geométricas complejas para ofrecer el resultado deseado al usuario final, por ello se ha creído interesante esquematizar las operaciones necesarias para realizar tal operación que relaciona a tres bandas el clic sobre el mapa, el parcelario oleícola y la información alfanumérica almacenada en la base de datos (ver figura 3.8).

puede utilizar para resolver cuestiones como la de definir qué entidades se encuentran dentro o fuera del área de influencia especificada. (Burrough & McDonnell, 1998, p 299)

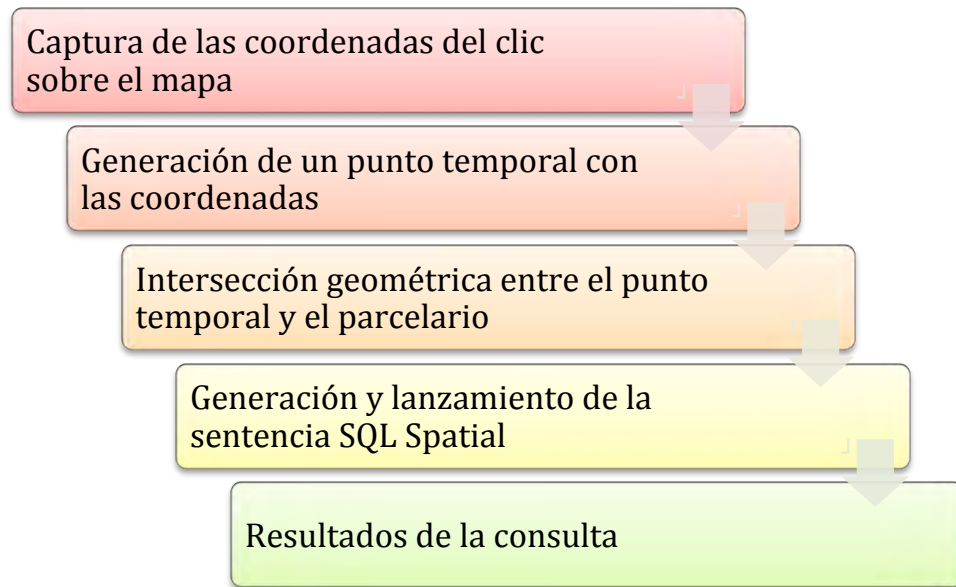


Figura 3.8. Esquema de operaciones internas realizadas para una consulta por punto (PQ) sobre una parcela oleícola

Fuente: Elaboración propia.

Para una correcta comprensión del esquema expuesto en la figura 3.8 vamos a pasar a explicar con mayor detalle cada una de las fases:

1. *Captura de las coordenadas del clic sobre el mapa*

En esta fase se realizará la captura de la posición del puntero del ratón sobre el mapa y se obtendrán las coordenadas teniendo en cuenta la proyección de la vista del mapa del SIG.

2. *Generación de un punto temporal con las coordenadas*

Teniendo en cuenta las coordenadas obtenidas en la fase 1, se creará una entidad geométrica de tipo punto de carácter temporal a la que se asignará un área de influencia alrededor para mejorar la experiencia del usuario, dándole un margen de error evitando los errores que pueden aparecer si al hacer clic sobre el mapa tenemos un nivel de zoom demasiado alto (ver figura 3.9)

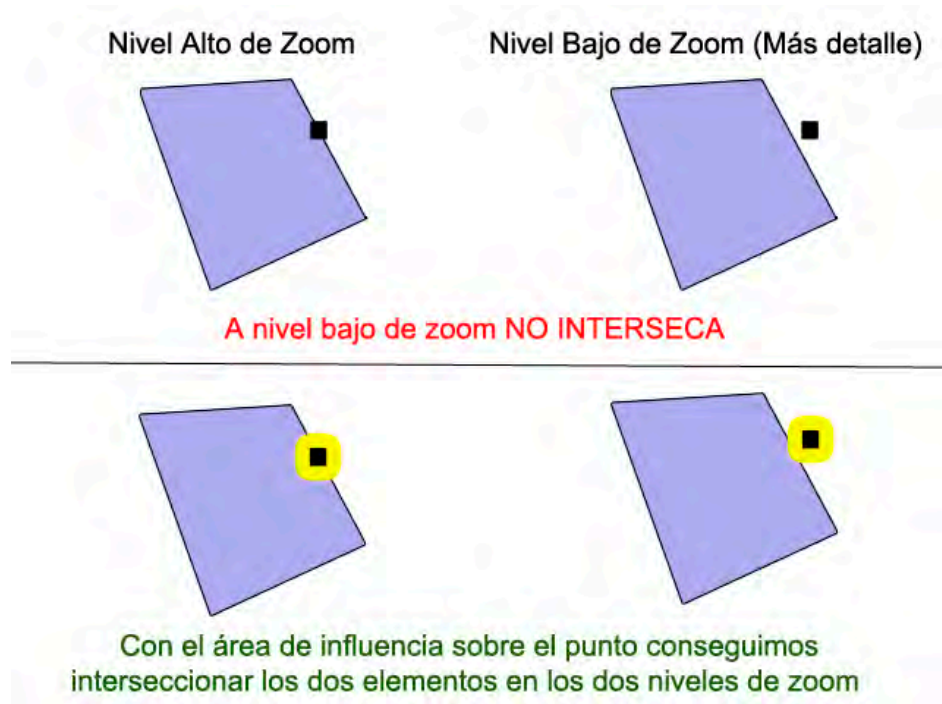


Figura 3.9. Comparativa de la intersección entre el punto temporal y el parcelario entre teniendo en cuenta el nivel de zoom.

Fuente: Elaboración propia.

3. Intersección geométrica entre el punto temporal y el parcelario

Una vez que se haya generado el punto temporal con las coordenadas del clic realizaremos un geoproceto de solape de intersección entre la capa de parcelas y el punto.

4. Generación y lanzamiento de la sentencia SQL Spatial

Si existe intersección entre el punto y la capa de parcelas, se generará automáticamente una consulta geométrica que permita obtener toda la información de la base de datos que esté relacionada con la parcela.

```
SELECT AsEWKB("the_geom", 'XDR'), id FROM "parcelas" WHERE  
"the_geom" && GeometryFromText ('LINESTRING (427387.14  
4216717.67,427552.39 4216717.67, 427552.39 4216882.92,427387.14  
4216882.92)', 23030)
```

Ejemplo de consulta geométrica WKT construida automáticamente por el sistema

5. Resultados de la consulta

Como resultado, si el punto ha interactuado con una parcela válida, esta parcela aparecerá resaltada y se mostrará la ficha con la información alfanumérica relacionada, en caso contrario se mostrará un mensaje de advertencia avisando de que sobre el punto escogido no existe parcelario válido.

II. Consulta Polígono-Polígono (WQ) [31]

Dada la naturaleza de la sistema base construido, en algunas operaciones se deberán realizar operaciones geométricas en las que intervengan dos capas vectoriales de tipo polígono, de las cuales una se corresponderá con la capa de base de datos con las parcelas oleícolas que actúa como cartografía base y la segunda capa estaría representada por un polígono virtual definido por el usuario sobre la capa de parcelas que permitirá realizar una consulta por rango o región (WQ) [31] con el fin de interactuar con la información de las parcelas afectadas por la operación geométrica seleccionada.

Las operaciones de relación geométrica entre dos capas vectoriales comúnmente usadas son las siguientes:

- *Intersect* (Toca): Se seleccionaran las geometrías completas de la capa de base A que coinciden espacialmente con la geometría de la capa B (figura 3.10).

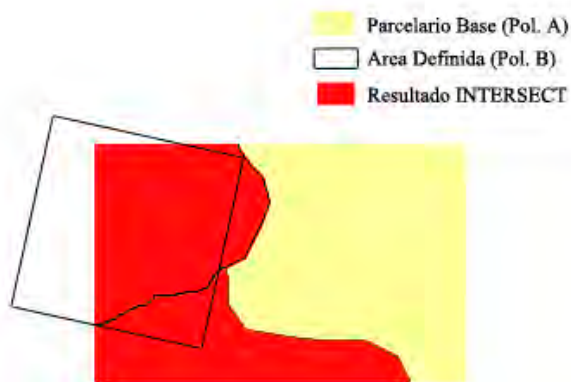


Figura 3.10. Ejemplo gráfico de la operación INTERSECT.

Fuente: Elaboración propia.

- *Disjoint* (No Toca): Operación opuesta a intersect, se seleccionan las geometrías completas de la capa base A que no coinciden espacialmente con la geometría de la capa B (figura 3.11).

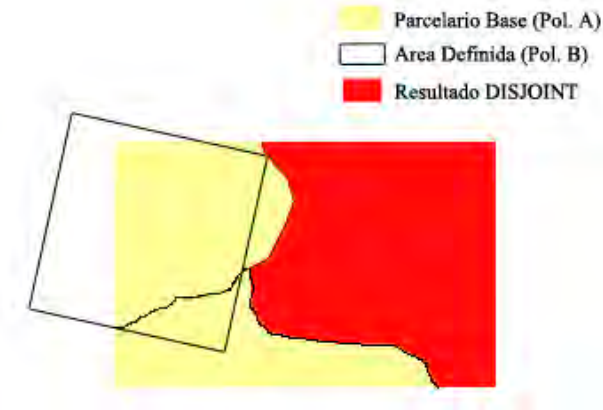


Figura 3.11. Ejemplo gráfico de la operación DISJOINT.

Fuente: Elaboración propia.

- *Within* (Dentro de): Con esta operación se seleccionarán las geometrías de la capa base A en las que el centroide del polígono B está dentro de algún polígono de la capa A (figura 3.12).



Figura 3.12. Ejemplo gráfico de la operación WITHIN.

Fuente: Elaboración propia.

- *Containt* (Esta contenido en): Se seleccionarán las geometrías de la capa base A que están completamente contenidas en el polígono B (figura 3.13).

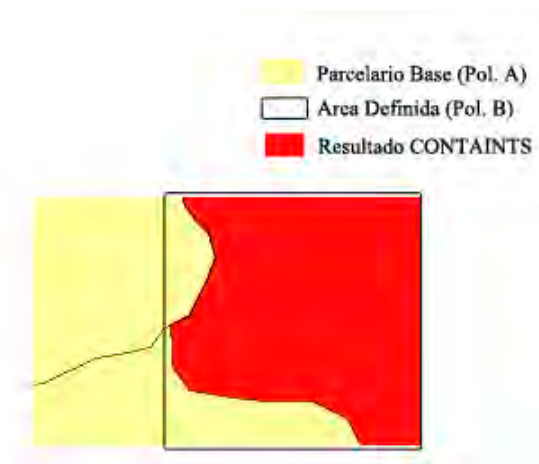


Figura 3.13. Ejemplo gráfico de la operación CONTAIN.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que la operación de consulta punto-polígono, vista anteriormente, el funcionamiento interno de la aplicación es totalmente irrelevante a nivel de funcional de usuario, pero si que resulta interesante a nivel técnico desgranar esquemáticamente las operaciones necesarias para interactuar con la información de la base de datos a través de una consulta polígono-polígono (ver figura 3.14).

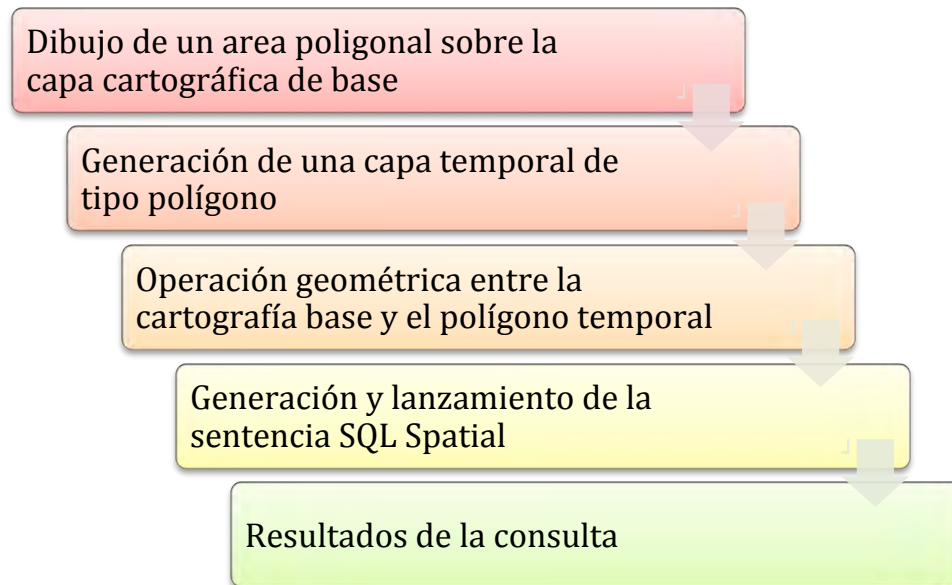


Figura 3.14. Esquema de operaciones internas realizadas para una consulta por polígono (WQ) sobre una capa de parcelas oleícolas

Fuente: Elaboración propia.

Para una correcta comprensión del esquema expuesto en la figura 3.14 vamos a pasar a explicar con mayor detalle cada una de las fases:

1. *Dibujo de un área temporal sobre la capa cartográfica de base*

En esta fase se dibujará por parte del usuario un área poligonal que representa el espacio de interés sobre el parcelario de las cooperativas.

2. *Generación de un área temporal de tipo polígono*

Una vez definida el área de interés, se generará de forma automática una capa vectorial de tipo polígono con carácter temporal, que se situará sobre la capa de parcelas.

3. *Operación geométrica entre la cartografía base y el polígono temporal*

Llegados a esta fase tendremos las dos capas de polígonos situadas sobre el plano virtual, en este momento realizaremos una de las operaciones geométricas de consulta polígono-polígono expuestas anteriormente (Intersect, Disjoint, Within, Containt), dependiendo de la funcionalidad que se quiera desarrollar.

4. *Generación y lanzamiento de la sentencia SQL Spatial*

Dependiendo del área dibujada por el usuario y la operación geométrica seleccionada se generará de forma automática una sentencia SQL con elementos geométricos, al igual que ocurría en la consulta punto-polígono.

```
SELECT AsEWKB("the_geom", 'XDR'), id FROM "parcelas" WHERE  
"the_geom" && GeometryFromText ('LINESTRING (427387.14  
4216717.67,427552.39 4216717.67, 427552.39 4216882.92,427387.14  
4216882.92)', 23030)
```

Ejemplo de consulta geométrica WKT construida automáticamente por el sistema

5. *Resultados de la consulta*

Si el resultado de la consulta geométrica generada ha devuelto algún registro que cumpla con las restricciones establecidas, las parcela o parcelas afectadas por la consulta aparecerán resaltadas sobre el mapa y se permitirá interactuar directamente con su información alfanumérica, en caso contrario, no se resaltaría ninguna parcela.

Las dos metodologías de algorítmica espacial expuestas anteriormente han sido aplicadas en el desarrollo de las funcionalidades del sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar.

3.4. Funcionalidades del Sistema

A continuación pasaremos a realizar una revisión de las funcionalidades más novedosas del sistema, con respecto a las funciones de los SIG convencionales.

Las funcionalidades se han desarrollado teniendo en cuenta uno de los principales objetivos de la presente memoria, facilitar el uso de la herramienta SIG y mejorar los métodos de acceso y consulta de la información de las cooperativas.

I. Carga automatizada de parcelas

Como se ha podido comprobar en párrafos anteriores, la información de las parcelas (alfanumérica y geométrica) estará almacenada en una base de datos geográfica *PostgreSQL-PostGIS*.

Normalmente los gestores SIG permiten conexiones a bases de datos geográficas. En el caso de gvSIG, que es el software de base de nuestro desarrollo, además de otros servicios, se permiten conexiones a BBDD *PostgreSQL-PostGIS*.

Para realizar el proceso de conexión hay que pasarle una serie de parámetros que representa la cadena de conexión a la BBDD (ver figura 3.15).

- Url del servidor.
- Puerto.
- Nombre de la Base de Datos.
- Usuario.
- Clave.



Figura 3.15. Herramienta de conexión a GeoBD de gvSIG

Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecida la conexión, se deberá seleccionar la tabla que se quiere cargar y seleccionar tanto el campo clave de la tabla como el campo que contiene la geometría (figura 3.16).

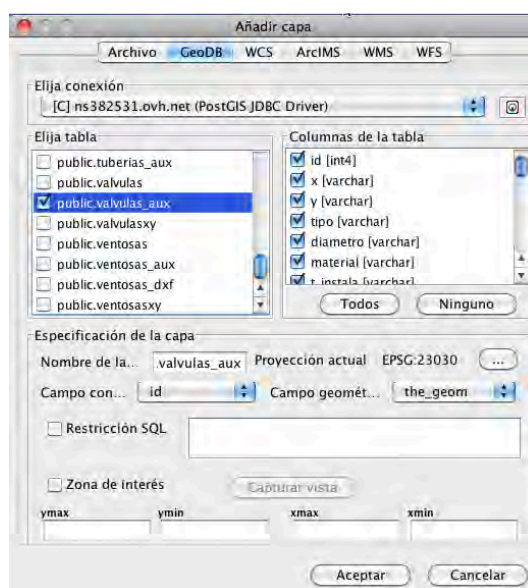


Figura 3.16. Conexión a tabla de una Base de Datos Geográfica

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede comprobar el proceso de conexión a una tabla es bastante tedioso, más aún para usuarios que no están familiarizados con SIG, Bases de datos o que simplemente tienen un conocimiento básico de la informática. Para evitar esto, y teniendo en cuenta el objetivo de esta memoria de facilitar el uso, se ha desarrollado una herramienta que permita cargar las parcelas de la cooperativa de una manera simple, con un simple clic, haciendo una selección en una lista desplegable.

Para dar una mayor versatilidad a la herramienta, se ha realizado un filtro previo con los términos municipales en los que existen parcelas de la cooperativa/almazara. (ver figuras 3.17, 3.18).



Figura 3.17. Selector de parcelas por municipio.

Fuente: Elaboración propia

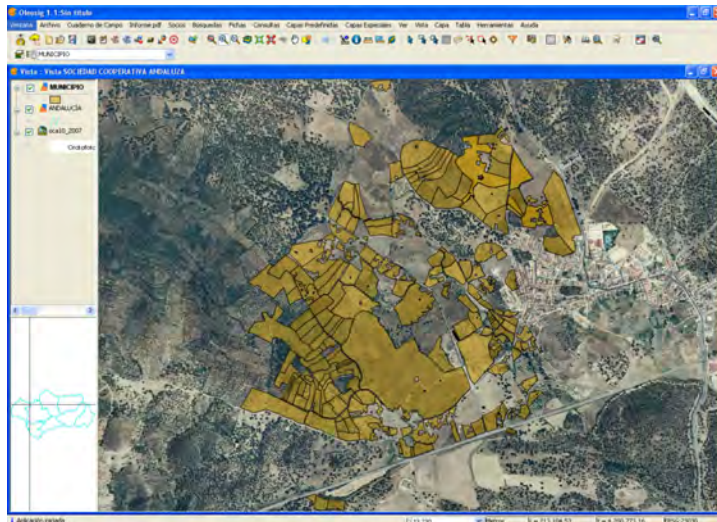


Figura 3.18. Resultado de carga de parcelas de un municipio

Fuente: Elaboración propia

II. Ficha Informativa Personalizada

GvSIG ofrece una herramienta que permite obtener la información alfanumérica asociada a un elemento geométrico (punto, línea o polígono) sobre el que se ha hecho clic previamente (figura 3.19).

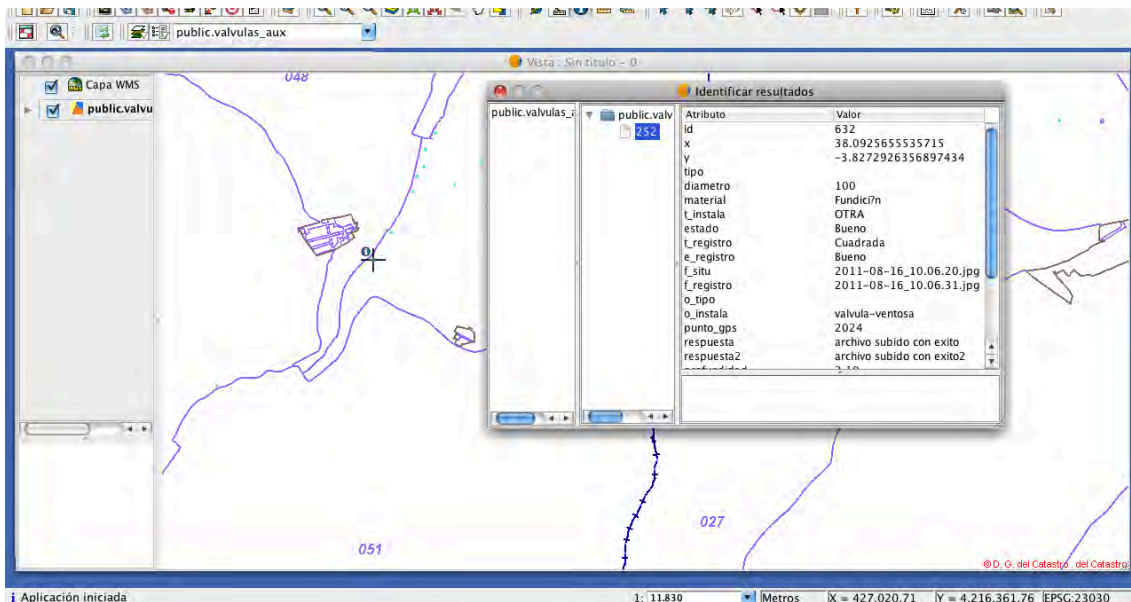


Figura 3.19. Herramienta de obtención de información de gvSIG

Fuente: Elaboración propia

La herramienta de información de gvSIG tiene la limitación de que sólo muestra la información alfanumérica que pertenece a la misma tabla que tiene la geometría. Es

decir, al hacer clic sobre una parcela con esta herramienta, sólo se mostraría la información propia relacionada con la parcela.

En nuestro caso esto no sería funcional porque, si tenemos en cuenta el modelo del sistema (ver figura 3.1), además de la información de la parcela necesitaremos mostrar otra información de interés que aún estando almacenada en tablas distintas de la base de datos, está íntimamente relacionada con la parcela. (ver figuras 3.20,3.21,3.22,3.23,3.24)

La información relacionada con la parcela sería:

- Características generales de la parcela.
- Datos personales del dueño.
- Productos fitosanitarios utilizados en la parcela.
- Enfermedades dadas en la parcela.
- Producciones y rendimientos de la parcela.

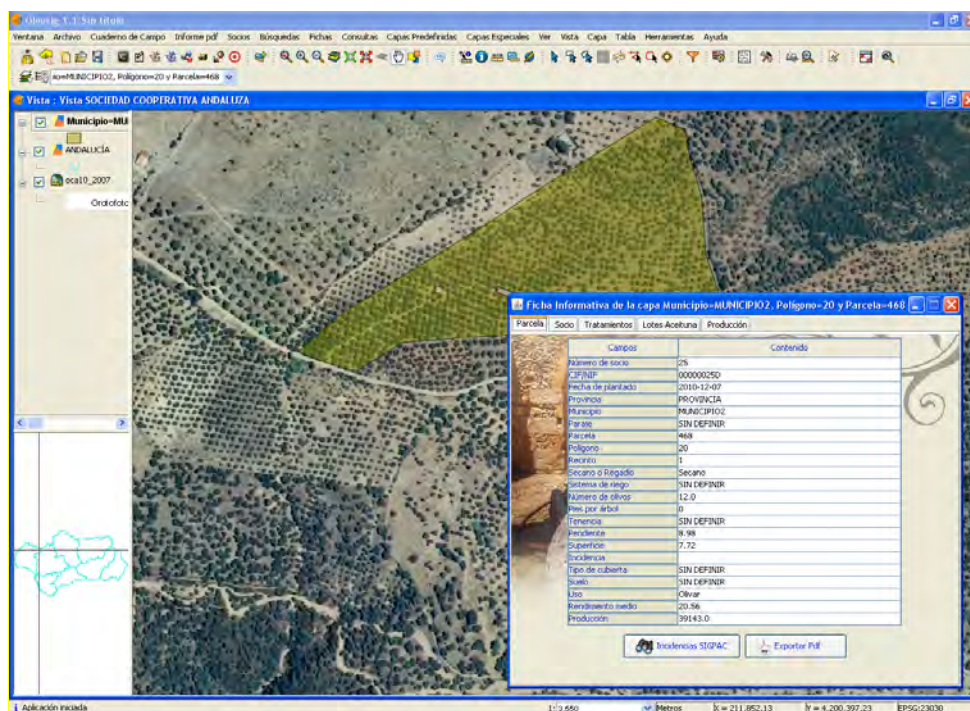


Figura 3.20. Ficha informativa de la parcela seleccionada

Fuente: Elaboración propia

Campo	Contenido
Número de socio	25
CIF/NIF	00000025D
Fecha de plantado	2010-12-07
Provincia	PROVINCIA
Municipio	MUNICIPIO2
Paraje	SIN DEFINIR
Parcela	468
Polígono	20
Recinto	1
Secano o Regadío	Secano
Sistema de riego	SIN DEFINIR
Número de olivos	12.0
Pies por árbol	0
Tenencia	SIN DEFINIR
Pendiente	8.98
Superficie	7.72
Incidencia	
Tipo de cubierta	SIN DEFINIR
Suelo	SIN DEFINIR
Uso	Olivar
Rendimiento medio	20.56
Producción	39143.0

Figura 3.21. Detalle de la ficha informativa. Datos Generales de la Parcela

Fuente: Elaboración propia

Fecha	Código(1)	Objeto del Trat...	Plaga/Malas hierbas	Nombre comercial
2011	4	Cu/Olivar	MALAS HIERBAS ...	GLIFOSATO 36 LS CAG 1
2011	4	Cu/Olivar	MALAS HIERBAS ANUALES...	GLIFOSATO 36 LS CAG 1
2011	4	/	BARRENILLO DEL OLIVO ...	CALDO BORDELES 2
2011	4	Cu/Olivar	GRAMINEAS ANUALES ...	HERBICIDA 25-25 2

Información

(1) Codificación establecida en el MODELO 1
 (2) Cu:Cultivo Co:Cosecha Lo:Local Mt:Medio de transporte
 (3) Especificar el cultivo correspondiente
 (4) Cantidad en Kg/l
 (5) Volumen de caldo en litros

Figura 3.22. Detalle de la ficha informativa. Tratamientos y Enfermedades

Fuente: Elaboración propia

Término	Parcela	Poligono	Kilos finales	Tolva	
MUNICIPIO2	468	20	4890	3	MATR
MUNICIPIO2	468	20	4900	3	MATR
MUNICIPIO2	468	20	5145	3	MATR
MUNICIPIO2	468	20	4700	3	MATR
MUNICIPIO2	468	20	5100	3	MATR
MUNICIPIO2	468	20	4890	3	MATR
MUNICIPIO2	468	20	4900	3	MATR
MUNICIPIO2	468	20	4090	5	MATR
MUNICIPIO2	468	20	3050	5	MATR
MUNICIPIO2	468	20	5320	3	MATR
MUNICIPIO2	468	20	4900	5	MATR
MUNICIPIO2	468	20	5203	3	MATR
MUNICIPIO2	468	20	5500	5	MATR
MUNICIPIO2	468	20	4890	3	MATR
MUNICIPIO2	468	20	4950	3	MATR

Figura 3.23. Detalle de la ficha informativa. Pesadas de Aceituna

Fuente: Elaboración propia

N° Total Kilos	39143,00
Superficie (Ha)	7.72
Kilos/Ha	5070,34

Figura 3.24. Detalle de la ficha informativa. Información sobre la producción de la parcela.

Fuente: Elaboración propia

Con la herramienta de ficha informativa personalizada conseguiremos acceder, con un simple clic sobre la parcela deseada, a toda la información de interés relacionada con la parcela que expusimos en el modelo del sistema -parcela, socio, enfermedades y productos fitosanitarios- (ver figura 3.1). Con esto se evita al usuario tener que acceder a dichas tablas a través de gestores de bases de datos cumpliendo con uno de los objetivos primordiales de la memoria de adaptar y facilitar el uso de los SIG.

Además de mostrar la información relacionada con una parcela en pantalla, también se permite la posibilidad de obtenerla en formato pdf.

III. Mapas temáticos predeterminados

Los mapas temáticos son mapas basados en planos topográficos que representan cualquier fenómeno geográfico de la superficie terrestre. Persiguen objetivos bien definidos y hacen referencia a la representación de ciertas características de distribución, relación, densidad o regionalización de objetos reales como por ejemplo vegetación, suelos, geología, etc., o de conceptos abstractos: indicadores de violencia, de desarrollo económico, de calidad de vida, etc..

Para representar variables numéricas utilizan todo tipo de recursos visuales, como superficies de distintos colores o tramas (coropletas²¹), flechas para indicar el movimiento de un fenómeno (flujos que a veces tienen un grosor proporcional a su magnitud), el trazado de líneas que unen puntos de igual valor (isolíneas), círculos o símbolos de tamaño proporcional al valor numérico, o incluso mapas deformados para que cada unidad geográfica se represente con un tamaño proporcional a su valor numérico (cartogramas o mapas anamórficos) [34-38] .

El mapa temático ofrece la ventaja de comprobar de una manera sencilla, a golpe de vista, el comportamiento de un fenómeno.

En las cooperativas existen unos parámetros que se utilizan con más asiduidad que otros, por ello, de acuerdo a las peticiones del personal del sector, se han predeterminado una serie de mapas temáticos con los fenómenos cartografiados comúnmente usados. De esta forma el usuario solo tendría que seleccionar de una lista desplegable el fenómeno sobre el que desea realizar el mapa temático y al instante este

²¹ Mapa temático que representa la distribución espacial de un fenómeno mediante tramas o diferentes tonos de color o de gris en la que la gradación de intensidad expresa diferentes intervalos de un fenómeno en unidades territoriales, administrativas o convencionales.

se mostraría por pantalla, evitándole tener que realizar costosas operaciones y geoprosesos.

El objetivo y la ventaja de utilización de esta funcionalidad sigue la misma dinámica de las anteriores herramientas presentadas, facilitar el proceso de creación de mapas temáticos asociados a los fenómenos que comúnmente se utilizan en el día a día de la cooperativa para conseguir un considerable ahorro de tiempo (ver figuras 3.25, 3.26).

Los fenómenos que se han predeterminado para la creación de mapas temáticos son:

- Producción.
- Rendimiento graso.
- Sistema de Riego.
- Pendientes.
- Superficies.
- Usos del suelo.

Los mapas temáticos tendrán una importancia crucial en la construcción de módulos de decisión que se integrarán en un futuro en el sistema básico para conseguir el propósito general de construir un Sistema de Soporte a la Decisión para la Gestión Integrada de los Procesos Agrícolas del Olivar.

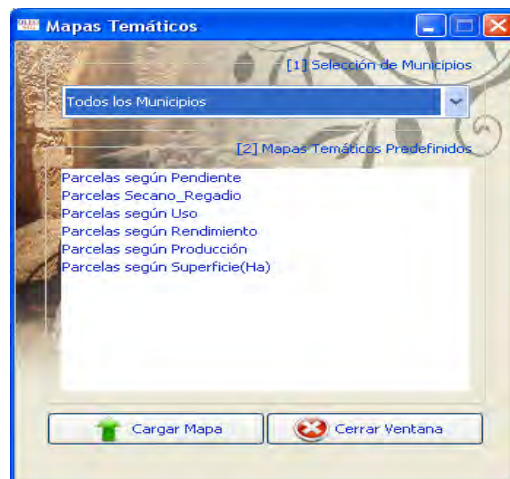


Figura 3.25. Selector de categoría de mapa temático

Fuente: Elaboración propia

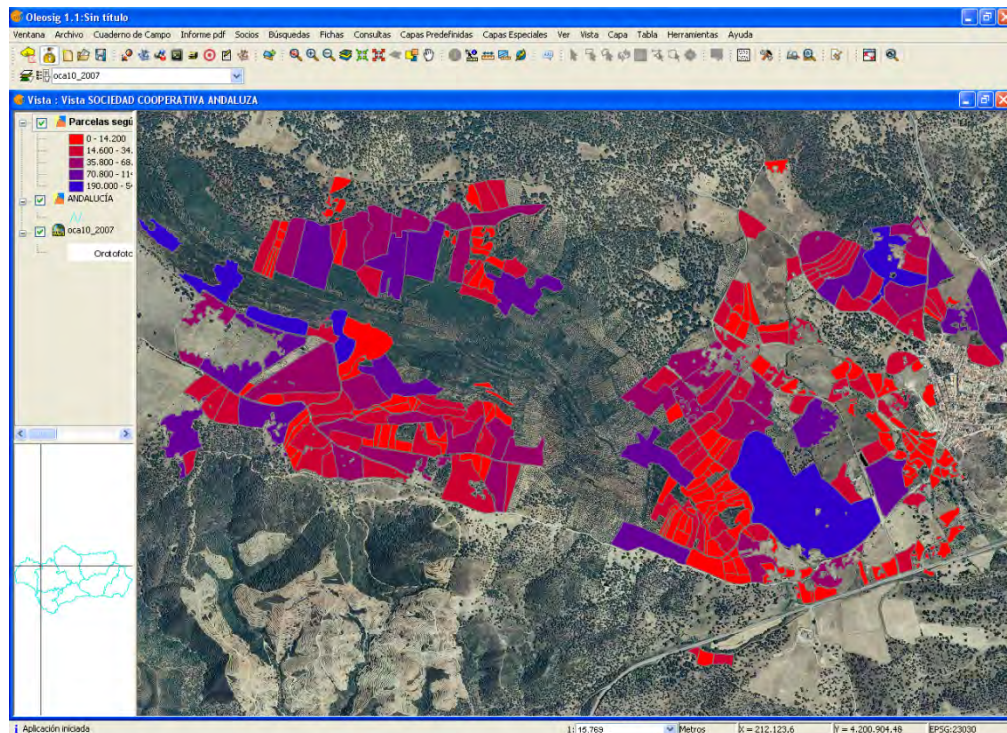


Figura 3.26. Mapa temático de producciones

Fuente: Elaboración propia

IV. Constructor de consultas personalizadas

Para una completa gestión de la información, además de los mapas temáticos predeterminados que se han comentado en la sección anterior, se ha creído conveniente desarrollar un nuevo constructor de consultas que mejore el que está incluido en la versión de serie de gvSIG.

El constructor de consultas permitirá realizar búsquedas de cualquier campo relacionado con la tabla parcelas de la base de datos, por ejemplo:

- ¿Que fincas sobrepasan la pendiente del 10%?
- ¿Que parcelas tienen un área menor a 1 hectárea?
- ¿Que parcelas son de regadío?
- ¿Qué parcelas están ubicadas en el paraje “alto pino”?
- Etc.

El resultado de la consulta se mostrará gráficamente sobre el mapa, resaltando las parcelas que cumplen con los criterios impuestos en el filtro.

En el desarrollo del constructor de consultas se han tenido en cuenta una serie de factores con el fin de mejorar de forma considerable la funcionalidad de la herramienta ofrecida con gvSIG.

Las mejoras que se han hecho se podrían clasificar por tres factores:

- *Mejora del aspecto visual y la accesibilidad de la herramienta.* La mejora en la interfaz de búsqueda facilita el trabajo con la herramienta y la hace más amigable, adaptándola a cualquier nivel de conocimientos informáticos, cumpliendo con uno de los objetivos marcados (ver figura 3.26).

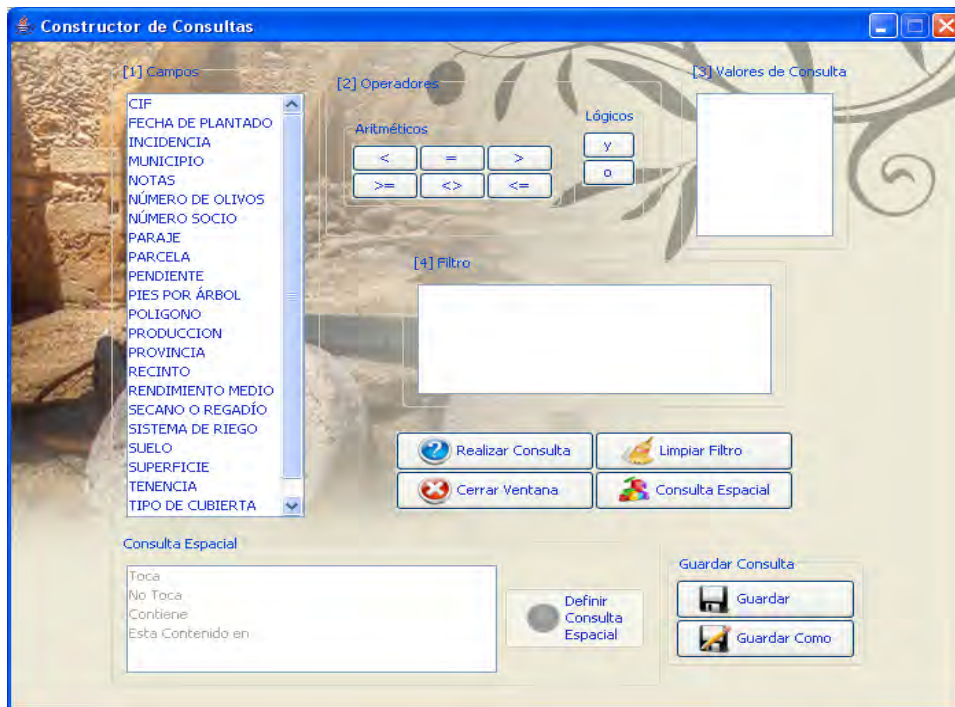


Figura 3.26 Interfaz del constructor de consultas desarrollado

Fuente: Elaboración propia

- *Matización de los resultados a través de áreas espaciales.* Una vez que se tengan los resultados de la consulta sobre el mapa, se da la posibilidad de activar la consulta espacial, que permitirá dibujar un área sobre el mapa y de acuerdo a una serie de operaciones espaciales (toca, no toca, contiene y está contenido en) permitirá refinar los resultados obtenidos con el filtro alfanumérico, para así adaptarnos aún más al caso que ocupa al usuario en ese momento (figura 3.27).



Figura 3.27. Ejemplo de uso del filtro espacial desarrollado sobre el resultado de una consulta alfanumérica

Fuente: Elaboración propia

- *Gestión de las consultas realizadas.* En el desarrollo y diseño de la herramienta, se ha tenido en cuenta la posibilidad de que una vez que se haya realizado una consulta, podría ser deseable reutilizarla en el futuro para así incurrir en un ahorro de tiempo en la gestión de la información. Para ello se ha desarrollado un gestor de consultas que permite
 - Almacenamiento. Se ofrece la posibilidad al usuario de asignar un nombre descriptivo a la consulta guardada.
 - Carga. Permite cargar las consultas guardadas (ver figura 3.28).
 - Borrado. Permite eliminar la consulta de la lista de consultas guardadas.

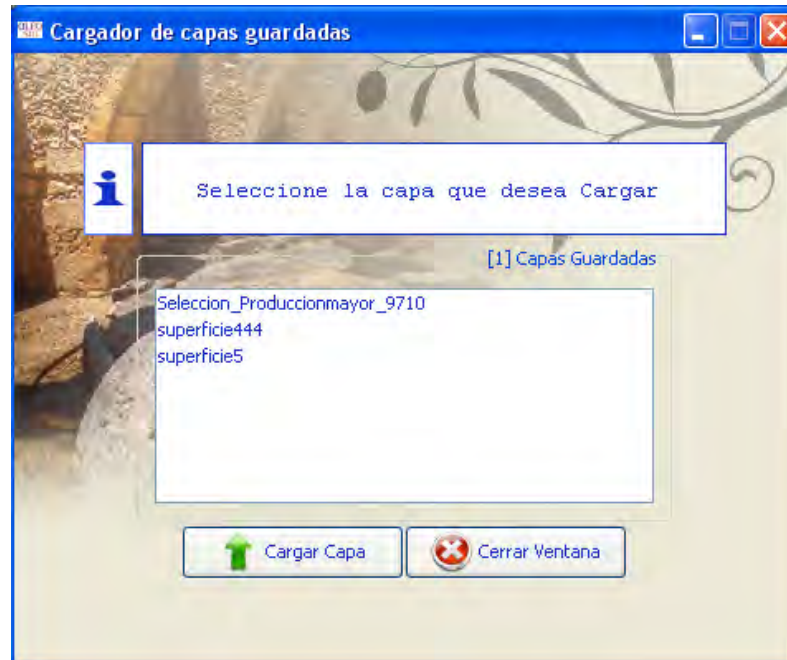


Figura 3.28 Selector de consultas guardadas.

Fuente: Elaboración propia

V. Caracterizador de parcelas

Uno de los principales problemas que pueden aparecer en manejo de la información de la base de datos de una cooperativa es que ocurra un cambio que se deba de aplicar a una cantidad considerable de parcelas. Por ejemplo:

- Se ha instalado un nuevo sistema de riego en la zona y las parcelas que antes aparecían como de secano pasan a ser de regadío.
- Desde la delegación de medio ambiente se ha realizado una fumigación aérea con un producto fitosanitario para controlar una plaga.
- Etc.

Hasta ahora cuando se daban casos parecidos a los ejemplos expuestos, según las experiencias en las cooperativas visitadas, se tenían que hacer los cambios de forma individual, para cada registro en la base de datos. Para evitar esto, se ha desarrollado una herramienta que permita dibujar un área sobre el mapa y realizar una modificación de un atributo de la base de datos de forma común en las parcelas contenidas en el área dibujada, lo que redundará directamente en considerable ahorro de tiempo y esfuerzo en el manejo de la información (ver figuras 3.29,3.30).

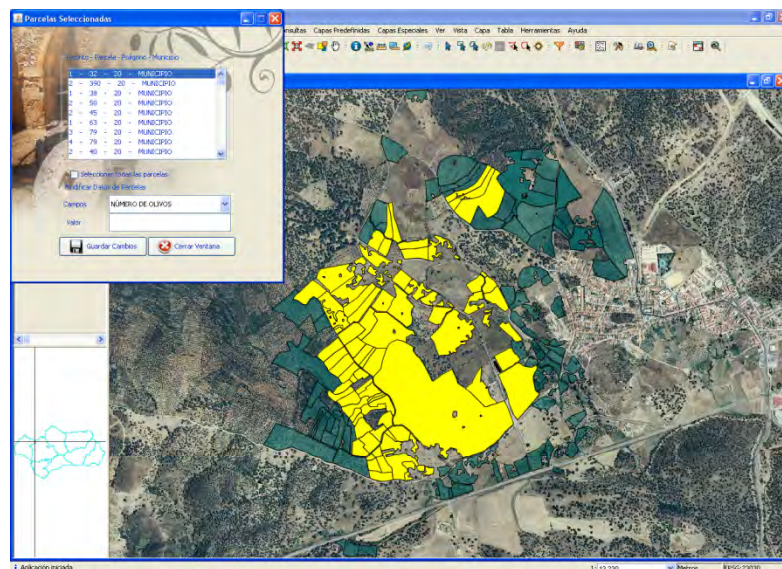


Figura 3.29 Parcelas afectadas por el selector gráfico del caracterizador de parcelas

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.30 Panel que permite realizar cambios comunes a las parcelas seleccionadas gráficamente

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4

Métodos de Análisis SIG Basados en Técnicas de Evaluación Multicriterio: Revisión

En los capítulos anteriores hemos hecho un repaso pormenorizado sobre las áreas más destacables de los SIG y se han resaltado los conceptos más importantes que tienen relación con la implementación del prototipo software SIG que ocupa a esta memoria.

Como ya se comentó en el capítulo 1, una vez realizado el desarrollo del sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar, se haría un estudio y una revisión teórica de las técnicas basadas en Evaluación Multicriterio con el fin de desarrollar e integrar una serie de algoritmos basados en estas teorías que permitan incluir herramientas de análisis que resuelvan diferentes problemas relacionados en el sector oleícola (mejora de los niveles de producción, rendimiento, control de plagas, etc.) y que permita visualizar los resultados sobre un Sistema de Información Geográfica.

En el presente capítulo veremos como el modelo del sistema propuesto en el capítulo 3 puede integrar módulos de decisión al sistema básico de gestión, se revisarán algunos trabajos que han hecho uso de modelos de evaluación multicriterio aplicada a los SIG y que servirán como referencia para la construcción de módulos de toma de decisiones en la gestión de los procesos oleícolas. También haremos una breve introducción al concepto de análisis de decisión y procesos de evaluación y finalmente haremos una muy breve descripción de los modelos de evaluación multicriterio centrándonos que han sido ampliamente utilizados en análisis SIG.

4.1. Introducción

En la metodología de construcción del sistema básico de gestión, propósito inicial de esta memoria, se ha tenido en cuenta el propósito general de la investigación que es el desarrollo de un sistema de soporte a la decisión para la gestión integrada de los procesos agrícolas del olivar. Por ello el diseño de la metodología del sistema base, se

ha hecho de tal manera que facilite la integración de módulos de decisión según las necesidades de la gestión agrícola.

El modelo metodológico del sistema general de soporte a la decisión estará basado en el esquema del sistema básico presentado en la introducción del capítulo 3. (ver figuras 4.1, 4.2).

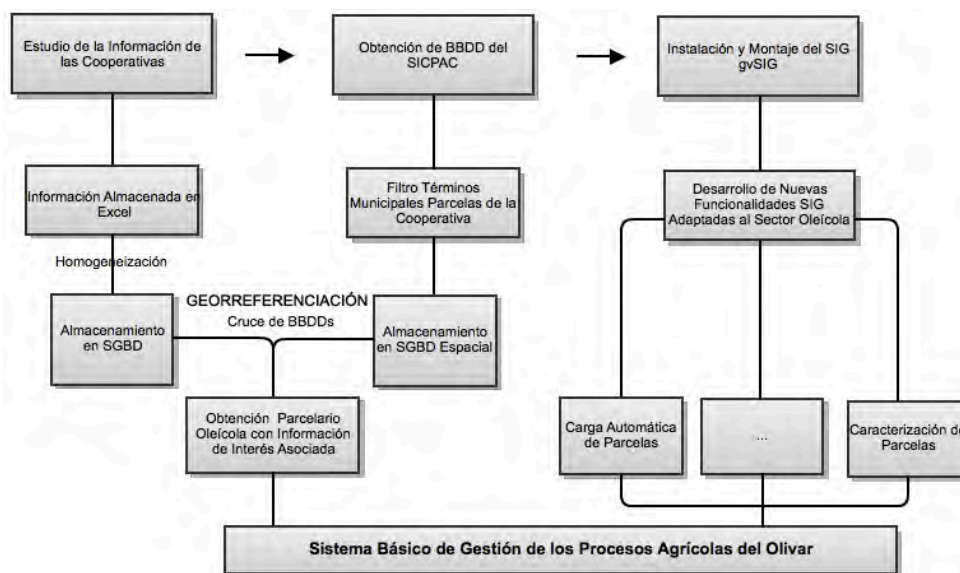


Figura 4.1. Modelo metodológico sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar

Fuente: Elaboración propia

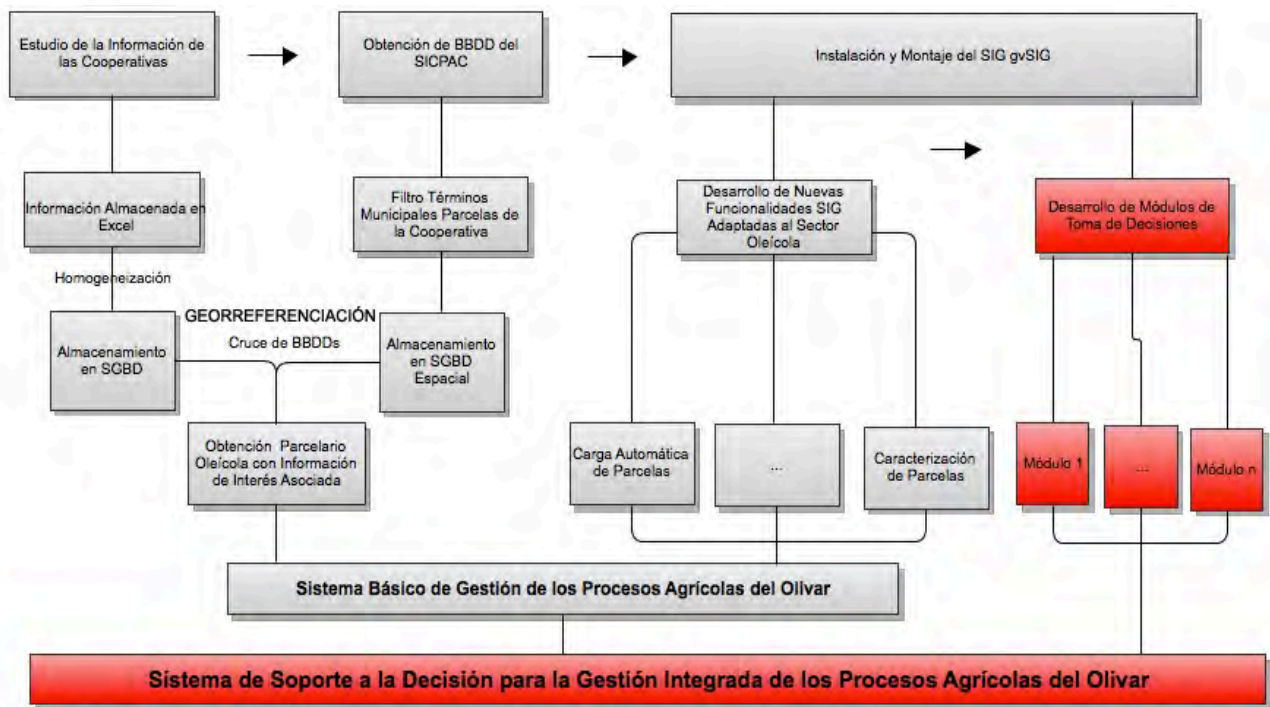


Figura 4.2. Modelo metodológico del sistema de soporte a la decisión integrada de los procesos agrícolas del olivar

Fuente: *Elaboración propia*

Si observamos las figuras 4.1 y 4.2, vemos que el desarrollo e integración de los módulos de toma de decisiones se puede realizar una vez que haya finalizado la construcción del sistema básico, razón por la que el desarrollo de los citados módulos de análisis se han planteado como trabajo futuro.

Los módulos analíticos utilizarán, como conjunto de datos base, la información resultante de los procesos desarrollados en las fases 1 y 2 del modelo metodológico seguido para la construcción del sistema básico (ver figura 4.1), fases descritas en la introducción del capítulo 3 de la memoria. Esta información servirá como base para la realización de tareas de análisis y toma de decisiones utilizando técnicas de evaluación multicriterio basadas en AHP (Analytic Hierarchy Process) [39-44] y con operadores de agregación OWA (Ordered Weighted Average) [45].

En la siguiente sección haremos una breve revisión de trabajos que integran una componente analítica multicriterio a los Sistemas de Información Geográfica.

4.2. Análisis Multicriterio en SIG

Si aplicamos la Evaluación Multicriterio para realizar una planificación de elementos que puedan ser representados y geoposicionados en el espacio y que estén circunscritos al sector social, medio ambiental o agrícola, veremos que son numerosas las alternativas existentes en la resolución de problemas de planificación en este ámbito, por ello, el uso de una segunda herramienta puede resultar clave: los Sistemas de Información Geográfica.

Los Sistemas de Información Geográfica posibilitan el trabajo con múltiples factores en formato de capas de información temática o sectorial, y resultan muy útiles para ordenar los datos de forma georreferenciada y evaluar los resultados alcanzados eficazmente [46].

En la literatura existen gran variedad de estudios científicos que utilizan métodos de evaluación multicriterio y SIG que realizan análisis para la toma de decisiones relacionados con la planificación social, medio ambiental y agrícola.

Algunos autores, nos presentan trabajos relacionados con la toma de decisiones aplicada a factores agrícolas o medioambientales relacionados con la vegetación o cultivos de especies arborícolas, como es el caso *M.V. García* en su comunicación titulada *SIG y Evaluación Multicriterio en la valoración de la de la vegetación y flora de las áreas no protegidas de la comunidad de Madrid*, que presenta una metodología para la valoración de la flora y la vegetación basada en técnicas de Evaluación Multicriterio de tipo no compensatorio e implementada en los Sistemas de Información Geográfica [47]. En este ámbito también encontramos a *A.P. Ceballos-Silva* con su trabajo denominado *Delimitación de áreas adecuadas para cultivos de alternativa: una Evaluación Multicriterio-SIG* en el que se realiza una delimitación territorial de las áreas adecuadas para los cultivos de alternativa Amaranto y Nopal, utilizando el enfoque de evaluación multicriterio-SIG, en el distrito de desarrollo rural Toluca del estado de México mediante la integración de información biofísica de clima, suelo, relieve y uso/cobertura del suelo [48]. Otra comunicación relacionada con la distribución de especies vegetales lo encontramos en el trabajo *Decisión multicriterio booleana, probabilística y posibilística borrosa de la distribución de Abies Pinsapo Boiss* que revisa la superficie actual de ocupación del Pinsapo y calcula su distribución potencial de forma comparativa mediante diferentes técnicas multicriterio en las provincias de Cádiz y Málaga, utilizando para ello indicadores como la precipitación

anual acumulada, altitud, orientación, precipitación mínima y Compound Topographic Index (-índice para representar la capacidad del suelo para retener agua-)[49].

Otros autores centran sus investigaciones en el desarrollo de metodologías y modelos de análisis multicriterio SIG con la pretensión de resolver problemas relacionados con el uso del suelo teniendo en cuenta una serie de factores muy variados, como por ejemplo la deforestación, de esto nos habla *S. Rivera* en su comunicación titulada *Uso de herramientas SIG y análisis multivariados para explicar el proceso de deforestación. Estudio de caso en la cuenca del río Calan, Honduras*, estudio que integra la tecnología SIG con la Evaluación de Multicriterio de variables biofísicas para estudiar la cuenca del río Calan, ubicada en la parte central de Honduras, y sus procesos de deforestación [50] y que resuelve las siguientes preguntas ¿Cómo de grande es el problema deforestación? ¿Dónde están las áreas deforestadas... ¿en el espacio, en tiempo? ¿Cuáles son las variables socioeconómicas que activan la deforestación?, en este mismo contexto también realizan su investigación otros investigadores como *N. Caloni* con su trabajo de investigación denominado *Análisis espacial de Evaluación Multicriterio en la generación de alternativas viales para el trazado de la autopista Luján-Mercedes* en el que intenta identificar alternativas viales al trazado original de la Autopista Luján-Mercedes debido a la problemática originada por la incompatibilidad en los usos del suelo en el área de estudio [51] o *M.T. Lamelas-Gracia* en su trabajo *Esquema metodológico para la toma de decisiones sobre el uso sostenible del suelo: Aplicación a la localización de suelo industrial* en el que se presenta el desarrollo de un esquema metodológico que facilite la evaluación de georriesgos y georrecurso y la toma de decisiones sobre diferentes formas de uso del suelo, teniendo en cuenta estos aspectos geocientíficos, en grandes ciudades en expansión y crecimiento, en un medio semiárido, como es el caso de los alrededores de Zaragoza [52].

Otras investigaciones se centran en la evaluación de la calidad mediante herramientas multicriterio-SIG, como por ejemplo *N.R. Chrisman* en su artículo titulado *Exploring multicriteria decision strategies in GIS with linguistic quantifiers: A case study residential quality evaluation*, en el que se realiza una evaluación de la calidad de vida de los distintos barrios de la ciudad de Londres utilizando SIG y Evaluación Multicriterio con operadores de agregación OWA [53] o trabajos que centran su investigación en manejar de forma coherente la imprecisión que por naturaleza existe en los espacios medioambientales o agrícolas [54], este es el caso de *L. Vinasco Torres* con el trabajo de investigación denominado *Propuesta metodológica para la localización de*

proyectos lineales con base en criterios de gestión ambiental, en condiciones de imprecisión en la información, aplicando análisis multiobjetivo difuso a bases de datos espaciales, en el que se propone una metodológica que busca identificar corredores ambientalmente viables para proyectos lineales (carreteras, ferrocarriles, grandes tuberías, etc.), cuando no se cuenta con la totalidad de la información de la zona de influencia del proyecto o parte de ésta es de carácter impreciso [55].

Estos son sólo una muestra de los trabajos que utilizan Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica para realizar labores de planificación y toma de decisiones en entornos medio ambientales y agrícolas.

Queremos recalcar otras investigaciones, en el ámbito agrícola y más específicamente en el olivar, utilizan técnicas de evaluación multicriterio para realizar tareas de planificación sin contar con la fortaleza de análisis gráfico de los SIG, como por ejemplo el trabajo presentado por *C. Parra, J. Calatrava y Tomás de Haro* titulado *Evaluación comparativa multifuncional de sistemas agrarios mediante AHP: Aplicación al olivar ecológico, integrado y convencional de Andalucía* [56]. En el que el método de evaluación multicriterio AHP es aplicado a la evaluación del olivar ecológico, integrado y convencional de Andalucía considerando criterios de distinta naturaleza —económicos, técnicos, socioculturales y medioambientales— con el fin de determinar la forma o formas de producción más interesantes globalmente en el medio-largo plazo para el conjunto de la sociedad en base al conocimiento de expertos en olivar, otro artículo interesante relacionado con el mundo del olivar, que a diferencia del anterior si que hace uso de tecnologías SIG, es el que se denomina *Using GIS and Fuzzy Sets to Evaluate Tree's Ecological Suitability in Sichuan Province* [57], en el que combinando SIG y análisis basado en conjuntos difusos se evalúa la compatibilidad del cultivo de olivo ecológico en la provincia de Sichuan (China), a través de una serie de parámetros como olivos plantados en años anteriores, clima, suelo y cartografía topográfica.

En base a las investigaciones expuestas anteriormente, se ve claramente que las técnicas de Evaluación Multicriterio y los SIG se integran y se complementan perfectamente en la tarea de planificación y toma de decisiones en entornos agrícolas, por esto se propone como trabajo futuro el desarrollo de módulos analíticos basados en Evaluación Multicriterio que se integrarán en el Sistema Básico de Gestión de los Procesos Agrícolas del Olivar, objeto de la presente memoria.

Un elemento común en la mayoría de los trabajos de investigación en la evaluación multicriterio es la utilización de metodologías basadas en AHP con operadores de agregación OWA, así que para una correcta comprensión del sistema propuesto como trabajo futuro, en las próximas secciones haremos una breve revisión del análisis de decisión, los procesos de evaluación y de la Evaluación Multicriterio AHP y los operadores de agregación OWA.

4.3. Toma de decisiones y Evaluación

En esta sección revisaremos distintos conceptos básicos relacionados con la toma de decisión el análisis de decisión y su relación con los procesos de evaluación.

4.3.1. Toma de Decisión

En un sentido amplio, tomar una decisión consiste en elegir la mejor opción o alternativa entre un conjunto de opciones o alternativas posibles. Los problemas de toma de decisión presentan los siguientes elementos básicos [58]:

1. Uno o varios objetivos por alcanzar.
2. Un conjunto de alternativas o decisiones posibles para alcanzar dichos objetivos.
3. Un conjunto de factores o estados de la naturaleza que definen el contexto en el que se plantea el problema de decisión.
4. Un conjunto de valores de utilidad o consecuencias asociados a los pares formados por cada alternativa y estado de la naturaleza.

Dependiendo de las características de los elementos del problema de decisión, éstos podrán clasificarse atendiendo a distintos puntos de vista. Por otro lado el tipo de información que define el marco del problema y su modelado influirán también en el modelo de resolución del problema de decisión.

A continuación describiremos la clasificación de los problemas de toma de decisión según la teoría de decisión y veremos un esquema básico de resolución de un problema de decisión.

4.3.2. Clasificación de los Problemas de Toma de Decisiones

Ante la gran variedad de situaciones o problemas de decisión que se pueden presentar en la vida real, la teoría de decisión [59, 60] ha establecido una serie de criterios que permiten clasificar los problemas de decisión atendiendo a diferentes puntos de vista:

1. Según el número de criterios o atributos que se han de valorar en la toma de decisión.
2. Según el ambiente de decisión en el que se han de tomar las decisiones.
3. Según el número de expertos que participan en el proceso de decisión.

A continuación se mostrará la descripción de cada punto de vista de dicha clasificación.

I. *Número de Criterios*

El número de criterios o atributos que se tienen en cuenta en los procesos de decisión para obtener la solución permite clasificar a los problemas de decisión en dos tipos [61-64]:

- a. *Problemas con un solo criterio o atributo*: Problemas de decisión en los que, para evaluar las alternativas, se tiene en cuenta un único criterio o atributo que representa la valoración dada a esa alternativa. La solución se obtiene como la alternativa que mejor resuelve el problema teniendo en cuenta este único criterio.
- b. *Problemas multicriterio o multiatributo*: Problemas de decisión en los que, para evaluar las alternativas, se tienen en cuenta dos o más criterios o atributos que definen cada alternativa. La alternativa solución será aquella que mejor resuelva el problema considerando todos estos criterios o atributos.

II. *Ambiente de Decisión*

El ambiente de decisión viene definido por las características y el marco en el que se va a llevar a cabo la toma de decisión. La teoría

clásica de la decisión distingue tres situaciones o ambientes de decisión [59, 60]:

- a. *Ambiente de Certidumbre*: Un problema de decisión está definido en un ambiente de certidumbre cuando son conocidos con exactitud todos los elementos o factores que intervienen en el problema. Esta situación permite asignar valores cuantitativos de utilidad a cada una de las alternativas presentes en el problema.
- b. *Ambiente de Riesgo*: Un problema de decisión está definido en un ambiente de riesgo cuando alguno de los elementos o factores que intervienen están sujetos a las leyes del azar. En estos casos, los problemas pueden ser resueltos utilizando la teoría de la probabilidad.
- c. *Ambiente de Incertidumbre*: Un problema de decisión está definido en un ambiente de incertidumbre cuando la información disponible sobre las distintas alternativas puede ser incompleta, vaga o imprecisa, lo que implica que la utilidad asignada a cada alternativa tenga que ser valorada de forma cualitativa. Esta incertidumbre surge a raíz del intento de modelar la imprecisión propia del comportamiento humano o inherente a ciertos fenómenos que por su naturaleza son inciertos (imprecisos).

III. *Número de Expertos*

Finalmente, otro punto de vista, a la hora de clasificar los problemas de decisión, hace referencia al número de expertos o fuentes de información que toman parte en el problema de decisión. Un problema de toma de decisión, en el que participan varios expertos, es más complejo que otro en el que la toma de decisión se realiza de forma individual. Sin embargo, el hecho de que intervengan varios expertos, con puntos de vista diferentes, puede ofrecer una solución más satisfactoria al problema.

Atendiendo al número de expertos o fuentes de información que toman parte en la toma de decisión, los problemas de decisión se pueden clasificar en dos tipos [65, 66]:

- a. *Unipersonales o individuales.* Las decisiones son tomadas por un único experto. En los problemas de decisión de un solo experto, cada alternativa es valorada por un único experto.
- b. *En Grupo o Multiexperto:* Las decisiones son tomadas en conjunto por un grupo de expertos que intentan alcanzar una solución, en común, al problema.

En los módulos de análisis SIG del sistema de soporte a la decisión integrada de los procesos agrícolas del olivar nos encontraremos con problemas de toma de decisión del tipo multicriterio, con distintos ambientes de decisión (certidumbre, riesgo, incertidumbre) y unipersonales.

A pesar de los distintos problemas de decisión, introdujo un esquema básico de resolución de los problemas de decisión que consiste en dos fases [67]: (a) la agregación y (b) la explotación. Podemos ver gráficamente este proceso en la Figura 4.3.

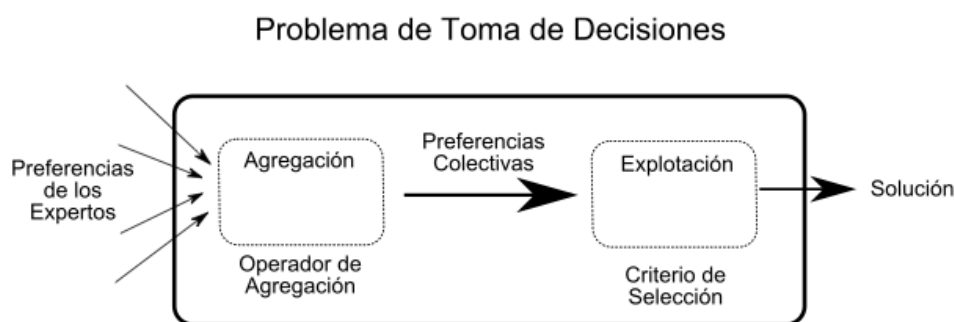


Figura 4.3. Resolución de un problema de toma de decisión

Fuente: M. Roubens [67]

4.3.3. Análisis de Decisión y Procesos de Evaluación

A partir del esquema básico de resolución de un problema de decisión, mostramos con mayor detalle el proceso de resolución de un problema de toma de decisión y qué fases están relacionadas con el proceso de evaluación.

La toma de decisión, como apuntan Keeney y Raiffa [68], intenta ayudar a los individuos a tomar decisiones difíciles y complejas de una forma racional. Esta racionalidad implica el desarrollo de métodos y modelos que permitan representar fielmente cada problema y analizar las distintas alternativas con criterios objetivos.

Sin embargo, no todo problema de decisión se resuelve por medio de un proceso completamente racional [69, 70]. De hecho, muchos factores externos y subjetivos afectan a un problema de decisión. Por lo tanto, la solución puede variar si las condiciones en las que se presenta el problema cambian. El esquema de resolución de un problema de toma de decisión se compone de 8 fases [71] que se muestran gráficamente en la Figura 4.4, siendo las 7 primeras denominadas al proceso de análisis de decisión.

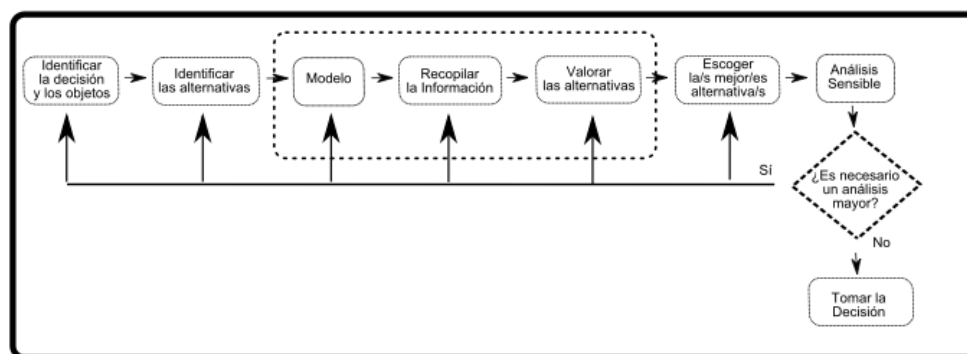


Figura 4.4. Esquema de un proceso de toma de decisión

Fuente: R.T. Clemen [71]

Por tanto, podemos ver que aunque el análisis de decisión (parte emocional del proceso de toma de decisión) no sea seguido siempre por los decisores a la hora de tomar sus decisiones (parte irracional del proceso de toma de decisión), sí es responsable de realizar un estudio metódico y analítico que ayude a analizar las alternativas, indicadores, etc., del elemento que se está estudiando, siendo éste el objetivo de los procesos de evaluación.

4.4.Evaluación Multicriterio

A continuación haremos una muy breve introducción a la evaluación multicriterio.

Las técnicas de Evaluación Multicriterio se encuentran incluidas en un marco teórico más amplio, la “*Teoría de la Decisión*”, teniendo su origen en la teoría económica, de finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Fue en los años sesenta cuando se consolidó esta teoría, que experimenta un crecimiento importante en los años ochenta con la incorporación de la informática.

En la actualidad, a pesar de su origen en la teoría económica se ha convertido en una importante vía metodológica para la planificación territorial y ambiental [46].

En la literatura podemos encontrar varias definiciones de la Evaluación Multicriterio, entre las que destacamos dos:

- Según Barredo 1996, podemos definir la EMC como *un conjunto de técnicas orientadas a asistir a los procesos de toma de decisión, investigando un número de alternativas a la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto* [72].
- Según Colson y de Bruin, 1989, la Evaluación Multicriterio puede ser entendida como *un mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios*[73],

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores sobre la Evaluación Multicriterio podríamos afirmar que los análisis basados en EMC ofrecen la oportunidad de obtener un análisis equilibrado de todas las facetas de los problemas de planificación, particularmente debido a que varios efectos intangibles, como los sociales y las repercusiones ambientales pueden ser considerados de una manera cabal, aproximándose en gran medida a la realidad [54].

Partiendo del hecho de que una única opción en la toma de decisión puede ser insuficiente cuando se analizan problemas complejos, todo proceso de toma de decisiones debe comprender de manera general los siguientes pasos:

- Análisis de la situación.
- Identificación y solución del problema.
- Identificación de aspectos relevantes que permiten evaluar las posibles soluciones.
- Aplicación de un modelo de decisión para obtener un resultado global.
- Realización de un análisis de sensibilidad.

Los métodos de evaluación y decisión multicriterio comprenden la selección entre un conjunto de alternativas factibles, la optimización con varias funciones

objetivos simultáneamente, un agente decisor y procedimientos de evaluación racionales y consistentes [74].

Capítulo 5

Conclusiones y Trabajo Futuro

En este capítulo resaltamos las conclusiones del trabajo realizado y presentamos la línea de investigación de trabajo futuro.

5.1. Conclusiones

A lo largo de esta memoria hemos revisado los conceptos relacionados con los Sistemas de Información Geográfica, y hemos podido comprobar la mejora que presentan a la hora de mostrar y gestionar la información, haciéndolo de forma gráfica con un mapa virtual de base.

En el contacto directo con las cooperativas oleícolas se ha podido comprobar que la información que tienen en su poder se trata de forma defectuosa, almacenándola de forma deficiente en archivos Excel, lo que supone una mala gestión de tañ información y una explotación a la que se le saca poco partido.

Para optimizar esa deficiencia en la gestión y explotación de los recursos informacionales referentes al entorno oleícola, en esta memoria se ha desarrollado una metodología que permita homogeneizar esa información almacenándola en sistemas de gestión de bases de datos espaciales para que pueda ser explotada mediante tecnologías SIG, cumpliendo con el objetivo principal propuesto en esta memoria que era la construcción de un Sistema Básico de Gestión de los Procesos Agrícolas del Olivar.

En la presente memoria también se ha realizado un estudio y una revisión bibliográfica de los métodos basados en Evaluación Multicriterio y SIG, haciendo un breve inventario de algunas investigaciones existentes en este ámbito que nos han permitido concluir que el tándem Evaluación Multicriterio -SIG se complementan perfectamente.

Además, en esta memoria hemos presentado una aplicación basada en tecnologías SIG que permita eliminar la brecha digital en el ámbito agrícola y con más particularidad el sector oleícola, facilitando el uso y la gestión de la información que esta en posesión de las cooperativas oleícolas.

5.2.Trabajo Futuro

Teniendo presentes las conclusiones de la memoria que indican la afinidad existente entre los Sistemas de Información Geográfica y los métodos de evaluación multicriterio, se desarrollará, como trabajo futuro, una metodología modular analítica basada en evaluación multicriterio que se integré en el esquema del modelo metodológico del sistema básico de gestión de los procesos agrícolas del olivar, para construir un sistema de soporte a la decisión integrada en los procesos agrícolas del olivar, que permita evaluar problemas relacionados con el sector, como por ejemplo:

- Evaluación de la compatibilidad del suelo con el cultivo de nuevas plantaciones y nuevas variedades de olivar.
- Estimación de los movimientos de plagas y enfermedades.
- Evaluación de la producción y rendimiento graso en relación a un producto fitosanitario dado.
- Evaluación de la cantidad de agua necesaria proveniente de sistemas de regadío en una zona dada.
- Estimación de la repercusión en la producción o rendimiento con la implantación de un sistema de riego en una zona dada.
- Etc.

Bibliografía

1. Crovi Druetta, D., *Sociedad de la información y el conocimiento. Entre lo falaz y lo posible* 2004, Buenos Aires, Argentina. 391.
2. Servon, L.J., *Bridging the Digital Divide. Technology, community and public policy*. The Information Age Series 2002, Inglaterra.
3. CITOLIVA, F., *Producciones y Existencias Balance Campañas de 2004 a 2009*, 2009: Centro de innovación y tecnología del olivar y del aceite.
4. Andalucía, J.d., *El olivar. La Nueva Política Agraria*, C.A.y. Pesca, Editor 2006: Sevilla. España.
5. Andalucía, J.d. *Portal Web Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía*. 2011 Oct. 2011]; Available from: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/>.
6. Silva, J.E., *Los SIG y su rol en la sociedad: pasado, presente y futuro*. 2004. **23**: p. 61-68.
7. ESRI. *What is GIS?* 2011 Nov. 2011]; Available from: <http://www.esri.com>.
8. deMers, M.N., *Fundamentals of Geographic Information Systems*. John Wiley and Sons, 1997.
9. Chrisman, N.R., *Exploring Geographic Information Systems*. John Wiley and Sons, 1997.
10. Comas, D. and E. Ruiz, *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica* 1993, Barcelona: Ariel.
11. Longley, P.A., et al., *Geographic Information Systems and Science*. 2nd ed. 2005: John Wiley and Sons, Ltd.
12. Autodesk. *AutoCAD Map 3D*. 2011 Dic. 2011]; Available from: <http://www.autodesk.es>.
13. INTERGRAPH. *Geomedia*. 2011 Dic. 2011]; Available from: <http://www.intergraph.com/>.
14. Labs, C. *IDRISI GIS*. 2011 Dic. 2011]; Available from: <http://www.clarklabs.org/>.
15. Bowes, P. *MapInfo*. 2011 Dic. 2011]; Available from: <http://www.pbinsight.com/welcome/mapinfo>.
16. Baylor, U. *GRASS*. 2011 Dic. 2011]; Available from: <http://grass.osgeo.org/wiki/GRASS-Wiki>.
17. gvSIG, F. *Sitio web del proyecto gvSIG*. 2011 Sep. 2011]; Available from: <http://www.gvsig.org>.
18. SAIG. *Kosmo*. 2011 Dic. 2011]; Available from: <http://www.opengis.es/>.
19. QGIS. *Quantum GIS*. 2011 Dic. 2011]; Available from: <http://www.qgis.org/>.
20. George B. Korte, P.E., *The Gis Book: How to implement, manage, and asses the value of geographic information systems*. 5th Edition ed 2001, New York, USA.
21. ESRI. *Our History*. 2011 Nov. 2011]; Available from: <http://www.esri.com>.
22. Molinera, J., *Geolocalización social, la nueva caja de Pandora, in TerritorioCreativo*, TcBlog, Editor 2010.
23. Seguel, D.C., *El Mundo Según Google. Google Earth y la Creación del Dispositivo Geosemántico Global*. GeoSemántica y Google Earth, 2006.

24. Seguel, D.C., *Tierra, Sentido y Territorio: La Ecuación Geosemántica*. Revista AAInteligencia, 2008.
25. Maguirre, D.J., M.F. Goodchild, and D.W. Rhind, *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. Longman Scientific and Technical ed, ed. L.S.a. Technical. Vol. 2. 1991, New Jersey, EEUU.
26. Chapman, A.D., Wieczorek (eds), *Guide to Best Practices for Georeferencing* 2006, Copenhagen: Global Biodiversity Information Facility.
27. Aramayo, F. and D. Ricardo, *Arquitectura de Software*. Universidad Tecmilenio.
28. Oracle. *Sitio web del proyecto Java*. 2011 Oct. 2011]; Available from: <http://www.java.com>.
29. PostgreSQL. *Sitio web del proyecto PostgreSQL*. 2011 Sept. 2011]; Available from: <http://www.postgresql.org/>.
30. Rigaux, P.S., M. Voisard, A, *Spatial Databases: With Application to GIS*. Academic Press 2002.
31. R.H. Güting, M.S., *Realm-Based Spatial Data Types: The ROSE Algebra*.
32. Open GIS Consortium, *OpenGIS Simple Features Specification For SQL Revision 1.1*. 1999.
33. Research, R. *Sitio web del proyecto PostGIS*. 2011 Sept. 2011]; Available from: postgis.refractor.net.
34. Muehrcke, P., *Map Use*. The University of Chicago Press, 2011(4th Edition).
35. Robinson, A.H., *Elements of Cartography*. Wiley, 1995(6th Edition).
36. Robinson, A.H., *Early Thematic Mapping in the History of Cartography*. The University of Chicago Press, 1982.
37. Thrower, N., *Maps and Civilization: Cartography in Culture and Society*. The University of Chicago Press, 1996.
38. Slocum, T., *Thematic Cartography and Geographic Visualization*. Prentice Hall, 2005(2nd Edition).
39. Saaty, T.L., *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, ed. McGraw-Hill, 1980.
40. Aguarón, J., M.T. Escobar, and J.M.M. Jiménez, *Estructuras de Preferencia e Intervalos de Estabilidad*. Dos Herramientas de Gestión Ambiental. XII Anales de Economía Aplicada, 1998, Córdoba.
41. Jiménez, J.M.M., *Una aproximación multicriterio en la selección entre alternativas ambientales. El proceso analítico jerárquico*. Evaluación Multicriterio: Reflexiones básicas y experiencias en América Latina., ed. E.y.E. Martínez, M. Vol. Capítulo 8. 1998, Universidad de Chile.
42. Jiménez, J.M.M., *Priorización y toma de decisiones ambientales*. Actas del I Encuentro Iberoamericano sobre Evaluación y Decisión Multicriterio. Santiago de Chile, 1997: p. 113-145.
43. Golden, B.L., E.A. Wasil, and P.T. Harker, *The Analytic Hierarchy Process: Applications and Studies*, ed. Springer-Verlag, 1989, Heidelberg.
44. Forman, E. and M.A. Selly. *Decisions by objectives*. Expert Choice Inc 2001; Available from: <http://www.expertchoice.com>.
45. Yager, R., *On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multi-Criteria Decision Making*. IEEE Transactions on Systems, 1988(Man and Cybernetics 18): p. 183-190.

46. Preciado, J.M.S., *El planteamiento teórico multiobjetivo/multicriterio y su aplicación a la resolución de problemas medioambientales y territoriales, mediante los SIG Raster*. Espacio, Tiempo y Forma, serie XI, Geografía.1997.
47. García, M.V., M.M. Municio, and B.M. Castro, *SIG y Evaluación Multicriterio en la valoración de la de la vegetación y flora de las áreas no protegidas de la comunidad de Madrid*. Centro de investigaciones Ambientales de la Comunidad de Madrid "Fernando Gonzalez Hernandez".
48. Ceballos-Silva, A.P. and J. López-Blanco, *Delimitación de áreas adecuadas para cultivos de alternativa: una Evaluación Multicriterio-SIG*. Tierra Latinoamericana, 2010(Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.): p. 109-118.
49. Martín, V.B., L.G. Salvador, and A.G. Salvador, *Decisión multicriterio booleana, probabilística y posibilística borrosa de la distribución de Abies Pinsapo Boiss*. Universidad Complutense de Madrid, 2011.
50. Rivera, S., et al., *Uso de herramientas SIG y análisis multivariados para explicar el proceso de deforestación. Estudio de caso en la cuenca del río Calan, Honduras*. Seminario Internacional "Cogestión de cuencas hidrográficas experiencias y desafíos".
51. Caloni, N., *Análisis espacial de Evaluación Multicriterio en la generación de alternativas viales para el trazado de la autopista Luján-Mercedes*. Universidad Nacional de Luján, 2010.
52. Gracia, M.T.L., *Esquema metodológico para la toma de decisiones sobre el uso sostenible del suelo: Aplicación a la localización de suelo industrial*. 2009.
53. Malczewski, J. and C. Rinner, *Exploring multicriteria decision strategies in GIS with linguistic quantifiers: A case study residential quality evaluation*. 2005.
54. Nijkamp, P. and A.v. Delf, *Multi-criteria analysis and regional decision-making*, ed. S.K. B.V,1977, Netherlands.
55. Torres, L.V., *Propuesta metodológica para la localización de proyectos lineales con base en criterios de gestión ambiental, en condiciones de imprecisión en la información, aplicando análisis multiobjetivo difuso a bases de datos espaciales*, in *Facultad de Minas*,2005, Universidad Nacional de Colombia: Medellin.
56. López, C.P., J.C. Requena, and T.d.H. Gimenez, *Evaluación comparativa multifuncional de sistemas agrarios mediante AHP: aplicación al olivar ecológico, integrado y convencional en Andalucía*. 2005: p. 29.
57. Guo, X., et al., *Using GIS and Fuzzy Sets to Evaluate the Olive Tree's Ecological Suitability in Sichuan Province*. Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan, 2010.
58. Chernof, H., *Elementary decision theory*. Dover Publications,1985, New York.
59. Triantaphyllou, E., *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*. Kluwer Academic Publishers,2000, Dordrecht/Boston/London.
60. Duncan, R. and H. Raiffa, *Games and decision. Introduction and critical survey*. Dover Publications,1985, New York.
61. Choi, D.H., B.S. Ahn, and S.H. Kim, *Multicriteria group decision making under incomplete preference judgments: using fuzzy logic with a linguistic quantifier*. International Journal of Intelligent Systems, 2007. **22**(6): p. 19.

62. Chuu, S.J., *Fuzzy multi-attribute decision-making for evaluating manufacturing flexibility*. Production Planning and Control, 2005. **16**(3): p. 12.
63. Fodor, J. and M. Roubens, *Fuzzy preference modelling and multicriteria decision support*. Kluwer Academic Publishers, 1994, Dordrecht.
64. Fu, G., *A fuzzy optimization method for multicriteria decision making: an application to reservoir flood control operation*. Expert Systems with Applications, 2008. **34**(1): p. 4.
65. Ben-Arieh, D. and C. Zhifeng, *Linguistic labels aggregation and consensus measure for autocratic decision-making using group recommendations*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A - Systems and Humans, page In Press, 2006.
66. Xu, Z.S., *Deviation measures of linguistic preference relations in group decision making*. Omega, 2005. **33**(3): p. 5.
67. Roubens, M. and P. Vincke, *Preference modelling*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 2501986, Springer-Verlag.
68. Keeney, R.L. and H. Raiffa, *Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs*. Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
69. Tranel, D., A. Bechara, and H. Damasio, *Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions*. Brain, 2005.
70. Adolfs, R., et al., *Neural systems responding to degrees of uncertainty in human decision-making*. Science, 2005.
71. Clemen, R.T., *Making Hard Decisions. An Introduction to Decision Analysis*. Duxbury Press, 1995.
72. Barredo, J.I., *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Ra-Ma.1996, Madrid.
73. Colson, G. and C.D. Bruyn, *Models and Methods in Multiple Objective Decision Making, en Modeks and Methods in Multi-Criteria Decision Making*, ed. G. Colson and C. De Bruyn, 1989, Londres.
74. Eduardo Martinez, M.E., *Evaluación y Decisión Multicriterio — reflexiones y experiencias* Editorial Universidad de Santiago/UNESCO.1998, Santiago de Chile.