



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES**

**MÁSTER EN TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA PARA LA GESTIÓN DE REDES DE  
ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO.**

**AUTOR: JOSÉ LUIS GONZÁLEZ VÁZQUEZ**

**DIRECTORA: ÁNGELA ALONSO FERNÁNDEZ**

Julio 2012



# UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

MÁSTER EN TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN

GEOGRÁFICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA GESTIÓN DE REDES DE ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO.

**AUTOR: JOSÉ LUIS GONZÁLEZ VÁZQUEZ**

**DIRECTORA: ÁNGELA ALONSO FERNÁNDEZ**

### **Abstract**

At present, the use of Geographic Information Systems (GIS) has expanded enormously. The wide variety of applications, from the most local to the most extensive mapping, the different types and configurations of hardware and software used, the incorporation of spatial and temporal aspects or tools of analysis and information exploitation, result in GIS projects with very different characteristics. This study aim is to propose a general model to estimate the effort required to carry out network GIS projects. Initially a set of factors to characterize a water and sanitation network GIS project are identified. Afterwards, the applicability of different effort estimation techniques and their adaptation to this problem is evaluated. Finally, the validation of the proposed estimation model is drawn by its application to different cases.

**Keywords:** *Management models, Geographic Information Systems, Effort Estimation*



## Índice:

<b>1. Introducción .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Los Sistemas de Información Geográfica .....</b>	<b>6</b>
3.1. Generalidades .....	6
3.2. Los proyectos de SIG .....	9
3.2.1. El proceso de implementación de un SIG .....	11
3.2.2. Establecimiento de un patrón de SIG .....	14
3.2.3. Involucrados y usuarios de un SIG .....	14
3.2.4. Tipología de proyectos SIG .....	16
3.2.5. Organización de la implementación .....	16
3.2.6. Etapas del proceso .....	17
3.2.7. Planificación de un SIG .....	18
3.2.8. Análisis de los requisitos .....	21
3.2.9. Diseño del SIG .....	22
3.2.10. Construcción del sistema .....	26
3.3. Los procesos de estimación de esfuerzos en software .....	28
<b>4. Características de un SIG para la gestión de redes de distribución .....</b>	<b>31</b>
4.1. Requisitos .....	31
4.2. Funcionalidades .....	35
4.3. Entorno gráfico .....	37
4.3.1. Visor .....	37
4.3.2. Ventana de gestión de capas .....	38
4.3.3. Ventana localizador .....	38
4.3.4. Consola de salida .....	39
4.3.5. Selección y posicionamiento .....	39
4.3.6. Menú de la aplicación .....	41
4.4. Estructura de datos .....	42
4.5. Topología .....	43
4.6. Edición del esquema de la red y herramientas de verificación .....	44
4.6.1. Editores de propiedades .....	45
4.6.2. Asignación de demandas .....	45
4.6.3. Interpolación de cotas .....	46
4.6.4. Simulación y visualización de resultados .....	46
<b>5. Modelo de estimación .....</b>	<b>48</b>
5.1. Definición de las fases del desarrollo .....	49
5.2. Fase de caracterización .....	50
5.2.2. Caracterización de componentes .....	51
5.2.2.1. Construcción de la base de datos .....	51
5.2.2.2. Adquisición de información geográfica / espacial .....	54
5.2.2.3. Captura directa de datos .....	55
5.2.2.4. Captura indirecta de datos .....	57
5.2.2.5. Software .....	58
5.2.2.6. Hardware .....	59
5.2.2.7. Personal / Usuarios .....	59
5.3. Fase de estimación .....	62
5.3.1. Fases para datos espaciales .....	63



5.3.2. Fases para datos alfanuméricos.....	69
5.4. Fase de integración.....	72
<b>6. Resultados de la aplicación del modelo de estimación .....</b>	<b>73</b>
6.1. Caracterización del caso tipo.....	73
6.1.1. Componentes del Sistema.....	75
6.1.2. La base de datos.....	76
6.1.3. Componente espacial .....	78
6.1.4. Recopilación de la información .....	79
6.1.5. La interface de usuario .....	80
6.1.6. Otros aspectos.....	81
6.2. Niveles, fases y factores de esfuerzo.....	81
6.2.1. Fases para datos espaciales.....	82
6.2.2. Fases para datos alfanuméricos.....	85
<b>7. Conclusiones .....</b>	<b>88</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>89</b>



## 1. Introducción

---

Los Sistemas de Información Geográfica se han situado como una herramienta básica en la gestión de redes de grandes y medianas infraestructuras, siendo ampliamente utilizadas por empresas y administraciones públicas como base de desarrollo del software empleado habitualmente, la incorporación de novedades tecnológicas y de nuevas capacidades de análisis y explotación de la información utilizada han permitido la implementación de soluciones de gran escalabilidad que agilizan considerablemente la tarea de administración de las mismas.

Un ejemplo claro de aplicación de este tipo de software lo constituyen los Sistemas de Información Geográfica de Redes de Agua y Saneamiento, que posibilitan la gestión global del abastecimiento y la gestión del agua en amplias zonas, no solo a efectos pasivos, como son el reflejo de valores geográficos y estadísticos, sino integrando el manejo de las infraestructuras en el mismo sistema, el cual se torna en herramienta de trabajo del organismo gestor de la red.

La moderna gestión de los abastecimientos de agua, requiere cada vez más la utilización de modelos matemáticos, pero su confección es una tarea tediosa que exige el manejo de cuantiosos datos, obligando en la práctica a efectuar numerosas simplificaciones.

Afortunadamente, los Sistemas de Información Geográfica permiten acceder actualmente a una gran cantidad de información digitalizada sobre la configuración de la red de suministro y su modo de comportamiento (cartografía, consumos, estado operativo, etc.), facilitando notablemente esta tarea. Gracias a los SIG, los modelos pueden construirse hoy en día con mayor detalle y, lo que es más importante, mantenerse actualizados

El presente estudio técnico se apoya en el Trabajo fin de Máster titulado *Estimación del coste de desarrollo de proyectos de Sistemas de Información Geográfica*, del mismo autor, en el que se propuso un modelo general de estimación de esfuerzo en la implementación de SIG de diversa índole.

Así, este trabajo tiene como objetivo principal el aplicar al caso de la gestión de redes de agua y saneamiento dicho modelo, para lo cual se describen inicialmente las características de un sistema de este tipo, buscando identificar inicialmente el conjunto de factores que permitan caracterizar el proyecto y posteriormente evaluar la aplicabilidad de distintas técnicas de estimación de esfuerzo y su adecuación a este problema.



Finalmente se propone la validación del modelo de estimación propuesto a partir de la aplicación al caso descrito.

Para simplificar e integrar la discusión, así como con la intención de que el estudio resulte relevante para cualquier clase de proyecto de gestión de redes, se ha intentado generalizar la terminología hasta el límite que los objetivos del trabajo han permitido. Aun así debido a la complejidad de la temática abordada es posible que determinados desarrollos presenten ciertas peculiaridades imposibles de reflejar en un trabajo genérico.



## 2. Objetivos

---

En el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica, es necesario considerar, como para todo proyecto, una planificación adecuada del mismo que permita conocer sus necesidades de recursos, coste y duración.

Se trata, pues, de técnicas típicas de estimación de esfuerzos en proyectos de software, que en el caso de los SIG deben ser adaptadas para considerar las componentes e indicadores característicos de este tipo de proyectos.

Habitualmente los procesos de estimación siguen una serie de etapas que incluyen modelos empíricos de estimación y poseen como variable definitoria del coste principal el tamaño de la aplicación a desarrollar, lo que es suficientemente difícil de estimar en los SIG, e implica la necesidad de encontrar un modelo adaptado a esta tarea que permita la obtención de un método más fácil de usar.

Para el caso de los Sistemas de Información Geográfica, se puede observar que en la actualidad las herramientas de desarrollo proveen la capacidad de disminuir substancialmente el esfuerzo de desarrollo de herramientas gestoras de bases de datos, centrando las necesidades en la adquisición, análisis y adecuación de la información. (Moles, 1995)

En la mayoría de los proyectos SIG que se desarrollan actualmente se utilizan técnicas de gestión que apoyan débilmente a la planificación, consistente generalmente en la utilización de software comercial que facilita la carga de datos espaciales y geográficos. Estos productos parten de la base de que los recursos a consumir son conocidos a priori, aspecto que no siempre se cumple.

Hasta la fecha no se ha demostrado factible en este tipo de proyectos la descomposición en unidades de obra o la posibilidad de acudir a una base de datos de precios comercial al igual que sucede, por ejemplo en la construcción. Si acaso, sí se pueden referenciar determinados costes de datos espaciales o cartográficos elaborados con antelación y de forma más o menos genérica, como los productos de los institutos cartográficos u otros organismos análogos. Sin embargo las necesidades cartográficas específicas o la adecuación y tratamiento de datos espaciales relativizan en gran parte la importancia de estos catálogos.

Por otro lado, dada la heterogeneidad de los datos, que a su vez presentan diversos tamaños y características, así como la multitud de tecnologías disponibles



y la amplitud de necesidades que deben cubrir este tipo de proyectos, se ha hecho tradicionalmente difícil la planificación de costes relativos a su implementación.

Todos los puntos mencionados anteriormente, dificultan que la utilización de modelos de gestión sea una práctica generalizada en los administradores de proyectos de desarrollo de SIG.

Un tipo muy particular de SIG es aquel en el cual las principales entidades del dominio de problema o aplicación tienen asociada una estructura de red, en la que los nodos representan otras entidades espaciales y los arcos o ejes relaciones espaciales entre estas últimas. Las redes de servicios públicos, tales como carreteras, redes de gas, redes de agua potable y redes de servicio eléctrico, son aplicaciones típicas de este tipo de SIG.

A la vista de lo expuesto, con el presente trabajo fin de máster se plantea aplicar un modelo de estimación de esfuerzos general al caso concreto de la implementación de un Sistema de Información Geográfica diseñado específicamente para la gestión de redes de agua potable y/o saneamiento, por medio del análisis de las fases y componentes que lo definen. No se trata, por tanto de fijar y describir la implementación completa de un SIG de redes, sino de la aplicación del modelo al mismo.

Se trata, pues, de particularizar la solución propuesta con el fin de comprobar si resulta factible formular una línea metodológica de estimación de coste a este ámbito concreto de los sistemas de información. La concreción de los apartados y su análisis exhaustivo pueden generar “submodelos” que deban ser desarrollados en posteriores estudios.



## 3. Los Sistemas de Información Geográfica

---

### 3.1. Generalidades

Una de las constantes en los textos escritos sobre SIG es la enorme complejidad en su definición. La causa fundamental de esta dificultad es que integran en un mismo concepto:

- Datos y teorías sobre los datos.
- Hardware y software.
- Diversos intereses (científicos, de gestión y comerciales).
- Diversas disciplinas científicas (matemáticas, informática, cartografía, geografía, biología, ingeniería, etc.) que previamente aparecían aisladas.

En general, un Sistema de Información consiste en la unión de información y herramientas informáticas (programas) para su análisis con unos objetivos concretos. En el caso de los SIG, se asume que la información incluye la posición en el espacio de los datos.

La base de un Sistema de Información Geográfica es, por tanto, una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables (formato raster), o bien capas que representan objetos (formato vectorial) a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Esta estructura permite combinar, en un mismo sistema, información con orígenes y formatos muy diversos incrementando la complejidad del sistema.

Los Sistemas de Información Geográfica se han desarrollado a partir de la unión de diversos tipos de aplicaciones informáticas: la cartografía automática tradicional, los sistemas de gestión de bases de datos, las herramientas de análisis digital de imágenes, los sistemas de ayuda a la toma de decisiones y las técnicas de modelización física. Se ha llegado a considerar a los SIG como un enlace entre la Geografía y la Informática al igual que la Geomorfología enlazaría Geografía y Geología.

Una de las primeras percepciones que se tienen de un SIG son las salidas gráficas a todo color, impresas o en la pantalla de un ordenador. Conviene recordar sin embargo que hay una diferencia fundamental entre los programas de manejo de gráficos y los SIG. En los primeros, lo fundamental es la imagen que vemos,



siendo irrelevante como se codifique, en un SIG la imagen es sólo una salida gráfica sin mayor importancia, lo relevante son los datos que se están representando.

Se han dado diversas definiciones de Sistema de Información Geográfica, las siguientes que constituyen ejemplos claros de los modos habituales de concebir un SIG:

- La primera referencia al término SIG aparece en Tomlinson (1967) referida a una aplicación informática cuyo objetivo era desarrollar un conjunto de tareas con información geográfica digitalizada. Se trataba del Sistema de Información Geográfica de Canada (CGIS)
- Para Berry (1987) un Sistema de Información Geográfica es un sistema informático diseñado para el manejo, análisis y cartografía de información espacial.
- Para Burrough (1988), se trata de un conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos. El National Center for Geographic Information and Analysis de USA los define como 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 (NC- GIA, 1990).

Como se observa, estas definiciones no sólo son consecutivas en el tiempo, sino que además cada una supone un mayor nivel de complejidad sobre la anterior. La primera hace referencia únicamente a las bases de datos espaciales; la segunda y la tercera a las herramientas (software) de tratamiento de estos datos, el típico paquete de módulos de SIG (GRASS, Erdas, ArcInfo, Idrisi, Atlas-Gis, etc.); finalmente la tercera incluye el hardware utilizado y los procedimientos complementarios que puedan ser necesarios.



Figura 1: Componentes de un Sistema de Información Geográfica.

Aunque en sentido estricto no sería necesario, se han desarrollado un tipo específico de aplicaciones informáticas para el manejo de estos sistemas. Estos programas es lo que popularmente (y equivocadamente) se conoce cómo SIG (IDRISI, ArcInfo, GvSig, etc.), pero que realmente constituyen tan sólo una componente de lo que es realmente el sistema. Podríamos considerar, en sentido amplio que un SIG está constituido por:

1. Bases de datos espaciales en las que la realidad se codifica mediante unos modelos de datos específicos.
2. Bases de datos temáticas cuya vinculación con la base de datos cartográfica permite asignar a cada punto, línea o área del territorio unos valores temáticos incluidos en los registros de las tablas.
3. Conjunto de herramientas que permiten manejar estas bases de datos de forma útil para diversos propósitos de investigación, docencia o gestión (Software).
4. Conjunto de ordenadores y periféricos de entrada y salida que constituyen el soporte físico del SIG (Hardware). Estas incluyen tanto el programa de gestión de SIG cómo otros programas de apoyo.



5. Comunidad de usuarios que pueda demandar información espacial, cada vez más importante por el amplio desarrollo de sistemas de esta índole en Internet en los últimos años.
6. Administradores del sistema encargados de resolver los requerimientos de los usuarios bien utilizando las herramientas disponibles o bien produciendo nuevas herramientas.

### 3.2. Los proyectos de SIG

Pese a la cada vez más amplia literatura relativa a los Sistemas de Información Geográfica, la concreción de aspectos relativos al desarrollo de proyectos de esta temática presenta todavía campos escasamente desarrollados, probablemente debido a la heterogeneidad de este tipo de desarrollos, lo cual implica que muchas de las obras publicadas tratan aspectos específicos en determinados campos que resultan relevantes para el establecimiento de proyectos pero no los abordan de manera genérica como base de partida para la implementación de los mismos a cualquier nivel organizativo. No obstante parece claro que la base del establecimiento de un sistema con base espacial y gran flujo de datos, debe consistir y fundamentarse en la planificación y análisis del mismo, casi con más rigor y profundidad que otros proyectos que no comportan componentes análogas.

Una aproximación a la gestión de un desarrollo SIG debe basarse al menos en tres factores:

- El papel y el alcance del SIG.
- El modelo de sistema que se aplica dependiendo de la funcionalidad final. Aquí se distinguen tres categorías básicas: Herramienta de negocios, datos y servicios o *enterprise*.
- Información sobre directrices específicas relativas al campo de aplicación del proyecto evaluado según el contexto de metas, planes, situaciones, y estrategias básicas. Debe incluir los siguientes aspectos:
  - Desarrollo de un adecuado proceso de implementación.
  - Establecimiento de una visión estratégica y el papel del SIG.
  - Coordinación de participantes en el proyecto.
  - Gestión efectiva de equipos de desarrollo y entorno.



- Proveer políticas adecuadas de información y comunicación.
- Asegurar el liderazgo y la asistencia.
- Establecer un modelo efectivo de control del desarrollo basado en procedimientos.
- Establecimiento de políticas de personal adecuadas.
- Gestión del entorno de acceso a los datos.
- Gestión de tiempos estratégicos.
- Establecimientos de métodos efectivos de integración del proyecto final en la organización.

El desarrollo de estos principios básicos para cada proyecto deben de ser únicos, no existe un principio general aplicable a cualquier proyecto SIG. Muchos factores se verán afectados por incidencias propias de cada proyecto pero, en general debe tenerse en cuenta que la ausencia de cualquiera de ellos puede comprometer el resultado final. Todos los aspectos de integración y gestión deben de ser analizados simultáneamente y queda a cargo de la dirección del proyecto la combinación satisfactoria de los mismos.

En el desarrollo de implementación de proyectos tecnológicos la gestión resulta generalmente mucho más importante que los aspectos técnicos propiamente dichos. Por supuesto esto también es así en el caso de proyectos de Sistemas de Información Geográfica.

Un SIG posee varias características que lo diferencian de otras tecnologías y necesita una organización específica para dirigir y gestionar su desarrollo durante la fase de implementación. Estas peculiaridades incluyen las características de los datos geográficos y su función en el sistema y en los objetivos finales del proyecto, la integración del SIG con otras tecnologías ya existentes en el ámbito de su implementación resulta también significativa y debe considerarse, así como la diversidad de posibilidades finales de uso de los datos gestionados. Cuando un SIG pasa a formar parte de una organización su impacto e implicaciones deben ser planificadas con la misma atención que el resto de factores tecnológicos y organizativos.

Un SIG engloba muchos sistemas diferentes con múltiples tipos de tecnología e implementaciones organizativas, de hecho un proyecto de esta índole



puede diferir radicalmente de otro similar si bien poseen ciertos aspectos comunes y una serie de elementos base que nos permiten postular el presente estudio.

El factor clave para el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica que proporcione servicios básicos y funcionales a un proceso o a la productividad de un organismo concreto es la definición concreta del papel y los costes que van a suponer la implantación de este producto en el día a día de la empresa. La adecuada gestión de un SIG consiste en la planificación de la integración de un modelo organizativo del mismo con las estrategias adecuadas para su gestión.

### **3.2.1. El proceso de implementación de un SIG**

Para implementar un Sistema de Información Geográfica deben considerarse los aspectos relativos al diseño, la adquisición, la instalación y la interoperabilidad de los componentes necesarios (software, hardware, datos y usuarios) para cumplir con los objetivos propuestos por el proyecto. Aunque como hemos dicho las características difieren en función del SIG muchos principios básicos son aplicables para la mayoría de las situaciones. El reto de la gestión supone comprender todos los parámetros, principios, alternativas, y requisitos del usuario final para unir estos componentes con un coste conocido de antemano y acorde a lo planificado.

Los procesos tradicionales de implementación de un Sistema de Información Geográfica conllevan una serie de pasos y tareas: el primer paso, la planificación del proyecto implica la descripción del alcance del SIG identificando el equipo de desarrollo, adquiriendo la información base necesaria y desarrollando un plan de implementación preliminar. El siguiente paso denominado análisis de requisitos consiste en determinar las necesidades de funcionalidad y datos necesarios para las aplicaciones del proyecto, así como la previsión de recursos, oportunidades y potencialidades del entorno organizativo. La fase de diseño encara el desarrollo conceptual del sistema, la base de datos, las aplicaciones y los componentes organizativos que conforman la estructura que se da acorde a los resultados de análisis de requisitos. La fase de adquisición y desarrollo implica al hardware, software y los datos, así como las especificaciones para su selección y adquisición, que afectarán a la estructura organizativa requerida para dar soporte y uso al SIG. Finalmente la fase de operaciones y mantenimiento consiste en integrar el sistema en su entorno final, formando usuario, y controlando el flujo de información y el mantenimiento de la integridad del sistema. Este proceso básico resulta aplicable a todo tipo de Sistemas de Información Geográfica, aunque el tiempo, el esfuerzo y el coste para cada uno de estos pasos puede divergir considerablemente. (Somers, 1995)



Los pasos de desarrollo de este tipo de proyectos se realizan en general secuencialmente aunque muchas de las actividades pueden ser llevadas a cabo concurrentemente. De hecho muchos autores han descrito la importancia del desarrollo secuencial y de la necesidad de completar todos los aspectos de una de las fases antes de proceder con la siguiente. No obstante, en la actualidad el desarrollo de un proyecto SIG ha sufrido variaciones de diversa índole sobre esta metodología básica que se acaba de exponer. Nuevos desarrollos incluyen fases comerciales respecto a los datos especiales, paquetes de software diseñados para cumplir con requisitos específicos y aplicaciones que demandan soluciones rápidas.

La mayor parte implementaciones de proyectos SIG dependen de la relación coste/beneficios, particularmente presentan la necesidad de reducir costes inmediatos. La reducción de gastos y la relación coste/beneficio son uno de los factores primarios que definen el rumbo del proyecto desde un primer momento. Los beneficios viene dados por dos características básicas de SIG: la tecnología puede reducir el tiempo y el coste de muchas operaciones, y el coste de los datos puede ser rebajado evitando su duplicación innecesaria en procesos no optimizados, así como en la adquisición, mantenimiento y salida de los mismos. La capacidad para compartir costes del desarrollo de la base de datos y en la implementación del sistema orientado a múltiples usuarios puede redundar en una mejora del gasto general, por lo que muchas veces se considera dotar al proyecto de una cierta multifuncionalidad que excede los propósitos iniciales con el fin de aprovechar la base del sistema para nuevas funcionalidades. El promotor debe considerar el ratio coste beneficio en función del tiempo, lo cual puede implicar planes de desarrollo alternativos.

Las aproximaciones alternativas que aceleran el proceso de implementación de un Sistema de Información Geográfica conllevan una serie de beneficios como una pronta obtención de los productos y aplicaciones requeridas por el usuario final, acortando la programación se reducen los gastos y se obtienen beneficios más rápidamente, maximizando la utilidad del sistema y manteniendo el soporte y la gestión orientada al usuario. El reto para la dirección del proyecto consiste en encontrar la manera de acortar y agilizar las fases de implementación. Esto puede llevarse a cabo optimizando parámetros de la adquisición de datos como su conversión en lugar de su nueva adquisición decidiendo acertadamente la compra de aplicaciones en lugar de su programación y acudiendo a los proveedores de servicios adecuados para cada fase del proyecto. Si la dirección del proyecto maneja acertadamente estos parámetros y los coordina adecuadamente con el alcance, diseño y estructura del SIG, el coste puede verse efectivamente optimizado, pero para ello son necesario planeamientos y análisis sólidos.



Un factor primario en la gestión de la planificación de un proyecto de tipo SIG es el desarrollo de un proceso adecuado basado en varias alternativas. Muchos proyectos fracasan durante la fase de implementación porque siguen ciegamente procesos ya utilizados en otros proyectos que no resultan enteramente idóneos en su caso. El análisis y el planeamiento son por tanto críticos antes del comienzo de la implementación del sistema. Esto, que parece de fácil comprensión para cualquiera, resulta obviado en numerosas ocasiones por organizaciones que simplemente adoptan una metodología sin llevar a cabo los estudios preliminares sobre su situación concreta rebajando de forma sustancial sus posibilidades de éxito.

Otro factor clave en la implementación de este tipo de proyectos es la flexibilidad, que debe ser considerada, mantenida y aplicada siempre que sea necesario. Dada la larga duración de un proyecto SIG que en ocasiones puede durar años, es necesario considerar las variaciones del entorno, la tecnología y demás aspectos derivados del factor tiempo. El director del proyecto debe de ser capaz de solventar los problemas que surjan tomando nuevas ideas y oportunidades que quizá no existían al inicio del proyecto.

Finalmente un factor crítico, aunque siempre considerado en su justa importancia, es el de la gestión de la transición entre las fases del proceso de desarrollo, las cuales pueden ser más difíciles y más críticas para el éxito que las propias fases de implementación en sí. Esto resulta particularmente cierto en relación con aspectos organizativos, dado que muchos directores de proyecto planean las tareas técnicas y sus transiciones obviando los aspectos organizativos. Desarrollar una herramienta técnica para una persona u organización que no ha sido formada adecuadamente para la misma puede contribuir al fracaso del proyecto.

Obermeyer y Pinto (1994) distinguen entre un modelo de proceso y un modelo de contenidos de componentes en el proceso de implementación de un SIG. Profundizando en estos conceptos Anderson propone modelos no lineales para el desarrollo de proyectos SIG que incorporan aspectos organizativos. Campbell (1994) definió la incorporación de un SIG en una organización como un problema separado de la simple implementación. Campbell y Masser (1995) también definen esta perspectiva en su estudio sobre el tema, sugiriendo diferentes perspectivas del proceso de implementación como un medio para la resolución de problemas, dotando a este tipo de proyectos de una nueva perspectiva centrada en contextos sociales e institucionales.



### 3.2.2. Establecimiento de un patrón de SIG

Los factores determinantes para definir un patrón de proyecto necesario para cubrir una serie de objetivos predefinidos deben ser concretados en función de los siguientes aspectos:

- El alcance y la extensión de las operaciones propias del SIG, incluyendo número de usuarios, aplicaciones, bases de datos y su distribución en la organización.
- El grado en el cual el SIG se integrará con el resto de aplicaciones. La funcionalidad del sistema puede ser dependiente de otras ya existentes, e incluso ser solo una parte de un sistema superior.
- La frecuencia de uso de SIG, la cual resulta directamente relacionada con el alcance y la integración.
- La complejidad de las herramientas determinará el tamaño de los recursos del sistema, así como la necesidad de formación y la cualificación del personal que lo desarrollará y lo utilizará finalmente.
- La estructura operacional del equipo de desarrollo, las estructuras operativas y procedimientos primarios que determinarán de forma decisiva el coste de coordinación del proyecto.

Un proyecto puede consistir en varios Sistemas de Información Geográfica diferentes implementados en tiempos diversos. Los modelos de estructuras y datos pueden resultar apropiados en determinadas fases del proyecto. Un determinado modelo puede servir para cumplir con unos requisitos programáticos concretos que posteriormente darán lugar al uso de otro subsistema independiente del primero. La implementación debe armonizar el papel de cada tipo de aplicación dentro del desarrollo del proyecto final.

### 3.2.3. Involucrados y usuarios de un SIG

Uno de los principios básicos de un SIG es el de compartir información y aplicaciones. Compartir recursos entre sus usuarios es uno de los mayores beneficios directos de un Sistema de Información Geográfica, ya que provee en la posibilidad de evitar duplicar esfuerzos relativos a datos, software y hardware, suponiendo esto el mayor factor base para obtener un adecuado ratio coste/beneficio en la mayor parte de los proyectos. Compartir aplicaciones SIG entre varios usuarios crea un entorno complejo cuya dirección y gestión puede suponer un reto significativo.



Los gestores del proyecto generalmente coordinan de forma transversal a los participantes durante la fase de desarrollo de varios proyectos SIG. Coordinar múltiples usuarios de SIG en un proyecto implica la consideración de dos perspectivas: Dirigir la variedad de interés de los participantes y establecer gestiones paralelas en una organización estructurada verticalmente.

Los involucrados pueden tener diferentes intereses, necesidades, prioridades, problemas organizativos y consideraciones respecto a directrices frente al proyecto común. Las estrategias deben ser dirigidas con el objetivo de cubrir esta amplia variedad de intereses de la forma más satisfactoria posible. Muchas organizaciones implican a varios departamentos para el desarrollo de estos proyectos con la consiguiente complejidad organizativa que esto supone para un proyecto de este tipo si los procesos y los impactos en cada participante no se coordinan de forma fehaciente.

Los modelos más usuales para coordinar a los involucrados, empleados y demás contrapartes de un proyecto SIG multifuncional suponen definir tres niveles jerárquicos en el desarrollo: Directrices generales, desarrollos técnicos y nivel de usuario.

- Un comité ejecutivo, que suele reunir a los directores de los departamentos involucrados en el proyecto, coordina las directrices y el apoyo al desarrollo.
- Un comité técnico aporta la base del diseño y los aspectos tecnológicos; los miembros de este comité suelen ser representantes técnicos de los departamentos afectados y discutirán detalles, alcanzarán acuerdos y transmitirán sus recomendaciones al comité ejecutivo para su aprobación.
- En un tercer nivel situamos a un grupo de representantes de los usuarios. Este grupo adquiere relevancia una vez el SIG posee cierto carácter operativo y puede constituirse como un foro abierto en el que los usuarios discutirán su papel frente a la herramienta. Durante la fase de desarrollo, particularmente en proyectos de cierta extensión, la identificación del grupo de usuarios facilita la funcionalidad final y la asunción de la herramienta por parte de los mismos.

El director del proyecto y el personal de soporte coordinan estos grupos de usuarios y gestionan los esfuerzos operativos y de implementación.

Esta estructura básica de comités se ha establecido casi como un estándar para el desarrollo del proyecto SIG que involucran a múltiples participantes, bien sea de una misma organización o de varias y resulta decisiva para el éxito de proyectos de esta tipología.



Los beneficios de este modelo incluyen el establecimiento de canales de comunicación transversales, líneas de gestión comunes, formación de equipos conjuntos centrados en el proyecto bajo una dirección única; aunque presenta inconvenientes derivados del trabajo con equipos diferenciados en origen, que pueden derivar en dinámicas y conflictos de grupo que deben ser considerados en el plan de contingencia.

Cualquier organización que desarrolle proyectos con múltiples participantes debe comprender y analizar exhaustivamente los beneficios y los inconvenientes inherentes al contexto y el entorno definidos.

#### **3.2.4. Tipología de proyectos SIG**

Un SIG comprende componentes que atañen a datos, personas y procedimientos. A todos ellos se les debe dar la misma importancia durante el desarrollo del proyecto.

Los Sistemas de Información Geográfica pueden ser clasificados como proyectos y programas, distinguiendo dentro de esta clasificación desde la más sencilla de las implementaciones hasta otras enormemente complejas. Un proyecto puede suponer un esfuerzo determinado en un plazo concreto, cuando se trata de un SIG temporal, como por ejemplo análisis de impacto ambiental, el desarrollo de un plan de usos del suelo, o el diseño de un parque. Sin embargo muchos proyectos SIG no se refieren a un periodo de tiempo concreto, es decir, no desaparecen cuando el plazo del proyecto finaliza. Si por ejemplo planificamos el desarrollo de un parque o una instalación determinada para la comunidad, el Sistema de Información Geográfica podría ser una herramienta permanente para su gestión por lo que no se definiría un horizonte temporal concreto a priori. La finalidad de estos programas es desarrollar una funcionalidad extra que facilitará el trabajo de los usuarios finales, entendiendo como tales a personas, entidades u organizaciones. Un proyecto SIG puede ser simple y pequeño, implicando pequeñas cantidades de datos, software y usuarios; o puede ser grande y complejo, utilizando enormes conjuntos de datos mixtos, diversas aplicaciones, usuarios de varios niveles dentro de una misma organización u otras distintas, y complejos sistemas y bases de datos.

#### **3.2.5. Organización de la implementación**

Habitualmente las organizaciones implementan este tipo de proyectos de formas diferentes. Aun así, y a pesar de que cada promotor de un proyecto SIG es único, su implementación y características pueden ser clasificadas en función del organismo para el cual son desarrollados.



Los Sistemas de Información Geográfica de la Administración suelen ser multifunción, amplios y con carácter marcadamente orientado a la gestión del territorio. Se diseñan para cubrir las necesidades de los datos espaciales y territoriales del organismo que los promueve y facilitan la accesibilidad de los mismos a todos los usuarios y departamentos que lo requieren. Los datos de este tipo de SIG son generalmente escalables, extensos, basados en parcelas concretas de información veraz y precisa, si bien en los primeros años de implantación en la Administración Pública primó la fragmentación en pequeñas aplicaciones locales sin centralización ni coordinación a un nivel superior. Dado que estas aplicaciones poseen costes elevados el ajuste del esfuerzo de desarrollo de las mismas resulta especialmente importante para los responsables de su establecimiento.

Las soluciones que implementan los sectores privados y otras organizaciones, poseen cierta similitud con la de las administraciones locales. Se desarrollan sistemas de datos espaciales que se integran con otros datos y sistemas como por ejemplo el control de instalaciones, informaciones sobre clientes, datos laborales y modelado de productos. También emulan a las entidades locales en el uso de información crítica de alta precisión, datos en alta resolución aunque suelen ser de menor escala para zonas más amplias.

Otras organizaciones privadas, por otra parte, utilizan sistemas menos extensos, como por ejemplo recursos desarrollados por firmas profesionales que cubren necesidades específicas de proyectos o clientes. Los datos y aplicaciones utilizados para cada proyecto pueden no estar relacionados con aquellos desarrollados para otros proyectos de forma que el SIG se implementa independientemente enfocado solamente a las necesidades específicas de cada proyecto. El desarrollo independiente de SIG específicos en una organización puede utilizarse con el mero fin de cubrir determinadas áreas de negocio cubriendo las mismas áreas geográficas de forma limitada a un coste generalmente menor. El modelo mencionado beneficia las unidades operativas de la compañía de forma semindependiente pero no constituye una acción coordinada, extensa y un plan global para la empresa.

### **3.2.6. Etapas del proceso.**

Simplificando el proceso de implementación de un proyecto SIG, basándonos simplemente en que un Sistema de Información Geográfica debe cumplir los requisitos para los cuales se ha diseñado se pueden reseñar una serie de pasos comunes a todos ellos:

- Planificación: definición del alcance del SIG y desarrollo de un plan general.
- Análisis: determinación de los requisitos específicos de los usuarios.



- Diseño: integración de requisitos y especificaciones de desarrollo.
- Adquisición y desarrollo: adquisición de software, hardware y datos y su inclusión en sistema.
- Operaciones y mantenimiento: utilización de SIG y mantenimientos del sistema.

Estos procesos incluyen revisiones de cada paso, dado que la información obtenida puede requerir un nuevo examen, así como modificaciones leves en las tareas anteriores. Por ejemplo el análisis de los requisitos específicos de los usuarios señalado en el paso dos, puede necesitar una re planificación para acomodar las nuevas necesidades, así como los objetivos y el presupuesto del proyecto.

A continuación se describen algunas de estas fases desde el punto de vista de un proyecto SIG, cubriendo el rango que va desde un proyecto de tipo moderado a uno de alta complejidad para intentar abarcar el mayor número de puntos. Las tareas que se definen son cruciales para el desarrollo de sistemas de esta naturaleza, independientemente del tamaño del SIG, pero pueden resultar más asequibles en pequeños proyectos.

### 3.2.7. Planificación de un SIG

La planificación supone el primer paso en el desarrollo de cualquier proyecto SIG. Una planificación concienzuda establece las bases sólidas para el resto de pasos del proceso de implementación y evitará a la organización costes por errores no previstos. Independientemente del tamaño o tipo de SIG resulta necesario definir una serie de aspectos básicos como apartado previo inmediatamente anterior al desarrollo técnico detallado.

**Definición del alcance y la naturaleza del SIG:** determina los propósitos a medio y largo plazo y el papel real del proyecto. Para definir el alcance han responderse las siguientes cuestiones (Somers, 2001):

- ¿Se trata de un proyecto de plazo determinado o un programa continuado?
- ¿Será utilizado para gestionar todos los datos espaciales disponibles por el usuario o solo subconjuntos específicos y funciones determinadas?
- ¿Será limitado a roles específicos de usuarios o está abierto a todo el público en general?



- ¿Constituirá una parte de futuros desarrollo SIG de mayor entidad?
- ¿Se integrarán los datos espaciales y la tecnología con los sistemas ya existentes en la organización?
- ¿Modificará el proyecto la forma de trabajo conjunto de la organización o sus impactos serán limitados?

Todas estas cuestiones ayudan a definir el alcance y el carácter del SIG, situando su tipología en una amplia variedad que va desde la limitación de tareas específicas a amplios sistemas empresariales que se integran en todos los niveles de la organización. El alcance del SIG afecta a toda la planificación y a las tareas de implementación del proyecto.

**Identificación de personal y recursos:** el alcance del SIG determina los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto. Deben considerarse las siguientes perspectivas (Somers, 2001):

- Usuarios involucrados: hay que asegurarse de que los usuarios finales y beneficiarios están adecuadamente implicados. Por ejemplo si se trata de un amplio sistema que sirve varios tipos de usos ya aplicaciones a varios departamentos los representantes de esas áreas deben estar implicados en la definición, diseño y la implementación ya que representa las perspectivas del usuario final y su participación asegurará que todos los requisitos del usuario se cumplirán.
- Directores de gestión y directrices generales: los proyectos de cierta envergadura requieren la participación de directivos que aseguren el sistema cumplirá los parámetros de su visión organizativa a la par que garantizará el apoyo de la dirección.
- Habilidades requeridas: deben de considerarse las habilidades del personal encargado de la implementación del proyecto. El alcance y la naturaleza del desarrollo determinarán los requisitos de experiencia y las competencias de los encargados de efectuar las tareas. En ocasiones puede ser necesario formar al personal en la ejecución de actividades específicas que las necesidades concretas requieran de modo excepcional. Las tareas cruciales deben ser ejecutadas por personal de la organización, esto incluye la dirección del proyecto, el liderazgo y la participación activa en el análisis, diseño e implementación.
- Dirección de proyecto y liderazgo: hasta para el más pequeño de los proyectos SIG resulta generalmente necesario formar un equipo y



designar un líder. Incluso si las tareas parecen simples en estadios iniciales pueden complicarse significativamente en el curso del desarrollo y será necesaria una adecuada dirección del proyecto.

**Base formativa en las tecnologías del proyecto:** Para trabajar con efectividad los participantes involucrados en el proyecto requieren cierta formación en el ámbito de los Sistemas de Información Geográfica. La fase de planeamiento debe proveer educación organizada en este ámbito, ya que resulta especialmente importante para largos proyectos con participantes muy diversos. Cada participante debe obtener un adecuado nivel de conocimiento acorde a su efectivo en el proyecto, esto se obtendrá mediante pequeños cursos, conferencias y la distribución de materiales apropiados. En ocasiones puede ser necesario formar a los individuos en el uso de la herramienta en lugar de los complejos procesos tecnológicos que fundamentan su desarrollo.

**Recursos y beneficios estimados:** El alcance del SIG determina las estimaciones iniciales. La naturaleza de los usos, los datos, y el sistema proporcionan una estimación inicial del coste, si bien este apartado constituye la esencia del presente estudio y es tratado con profundidad más adelante. Estas estimaciones iniciales pueden basarse en los siguientes factores: el número de usuarios, el carácter de la herramienta (profesional, sistemas web, etc.), tamaño de los datos, escala y extensión de la base espacial. Estos factores a priori proporcionan indicaciones sobre la magnitud del coste, pero junto con el alcance también facilitan datos sobre los niveles de beneficio esperados. A grosso modo puede señalarse que los beneficios moderados se obtendrán por la creación de mapas ad hoc, mientras los beneficios se pueden obtener ganancias mayores mediante actualizaciones de datos y cartografía y las mayores tasas de ingresos vendrán del acceso a los datos, manipulación y análisis. Estos indicadores juntos permiten trazar una estimación inicial del dinero, tiempo y esfuerzo requeridos para implementar el SIG, así como los beneficios que el sistema proporcionará.

Planeamiento estratégico: Planear un sistema grande y complejo puede llevar meses por lo que para este tipo de proyectos es requisito indispensable el establecimiento de un planeamiento estratégico formal. Si se trata de proyectos de menor envergadura el planeamiento debe ser más pequeño e informal aunque riguroso. En cualquier caso las cuestiones relativas al alcance del SIG los participantes y sus roles y habilidades, así como los requerimientos de recursos deben ser planificados antes del comienzo del desarrollo.



### 3.2.8. Análisis de los requisitos

A pesar de que los individuos poseen ideas generales sobre lo que necesitan de un sistema de estas características, es necesario realizar análisis específicos de requisitos para obtener la información detallada necesaria que facilitará el éxito del proyecto. Esta tarea consiste en analizar los futuros usos del SIG y el manejo actual de los datos espaciales con detalle para identificar las necesidades funcionales que realmente se deben proporcionar a los usuarios y al entorno que recibirá el proyecto.

**Proceso de análisis:** Identificar todos los procesos que implican datos espaciales que usará el Sistema de Información Geográfica. El alcance definido en la planificación orienta a la identificación de estos procesos y usuarios de modo que debe ser estudiado profundamente en el caso de proyectos importantes, dado que resulta muy común la pérdida de futuros usuarios por no atender adecuadamente esta tarea. Por lo tanto es importante identificar tantos usuarios futuros como sea posible, incluso si en principio no están directamente involucrados en el desarrollo. Analizando las necesidades futuras para incluir en el SIG estas consideraciones, asegurará la posible expansión del sistema en el momento adecuado. (Somers, 2001)

El entorno organizativo debe ser adecuadamente considerado ya que presenta condiciones y oportunidades que afectan a los requisitos del proyecto y al análisis de su viabilidad. Por ejemplo, el promotor puede tener estándares que deben ser necesariamente adoptados, o normativas que cumplir e incluso directrices que afectan al funcionamiento global de la organización; lo cual incidirá directamente a los requisitos generales del SIG.

**Realizando el análisis:** El análisis de requisitos se realiza por medio de entrevistas y sesiones de trabajo. Si el SIG planeado es pequeño esta tarea resultará relativamente sencilla pero aun así debe ser realizada aplicando métodos analíticos que nos permitan obtener la información. El responsable de implementación debe reunir información acerca del modo en el que los usuarios utilizan los datos y el software, los flujos de trabajo y los usos planificados para el nuevo sistema.

Generalmente un SIG planificado involucra a muchos usuarios realizando diferentes trabajos en diferentes departamentos de la organización. Ellos poseen diferentes puntos de vista, diferentes misiones y actividades y diversas necesidades sobre los datos espaciales y las herramientas de proceso.



**Resultados del análisis:** El análisis de requisitos se plasma en un documento que especificará las necesidades detalladas del sistema, así como factores derivados organizativos. Elementos contenidos en el análisis:

- Un diagrama y una descripción de cada flujo de trabajo del SIG y sus necesidades funcionales y de datos. Muchas de estos procesos de trabajo pueden pasar a configurarse como aplicaciones propias.
- Cualquier eventualidad, oportunidad o problema, asociados con procesos de trabajo individual, grupos de usuarios o en la organización completa.
- La estimación inicial de beneficios de costes del Sistema de Información Geográfica. Beneficios como los esperados por el ahorro de tiempo y la adquisición de nuevas funcionalidades son contempladas en análisis de cada proceso. La estimación de costes se realiza en la actualidad a través del análisis de los flujos de trabajo que proporcionan información acerca de los datos y la funcionalidad que se necesitan así como el número de personas que usará los componentes del sistema, si bien el presente estudio propone nuevas metodologías al respecto.

Mucha de esta información contenida en los análisis descritos contribuirá a la implementación técnica del SIG, otra se usará en determinadas fases del proyecto y la gestión de los componentes del sistema pero todos estos productos son necesarios para construir un Sistema de Información Geográfica efectivo, aunque por sí sola no resulta suficiente para el éxito del proyecto ya que debe considerarse aspectos de diseño que se explican a continuación.

### 3.2.9. Diseño del SIG

El diseño de tareas implica la conjunción de componentes, lo cual determina las características y la combinación de software, hardware, datos e individuos que constituirán los requisitos del promotor del Sistema de Información Geográfica. El reto surge al combinar las metas generales y las necesidades específicas de los usuarios y aplicaciones, en un desarrollo único integrado en un diseño efectivo. El desarrollo de este diseño resulta crucial como paso previo para implementar el resto de componentes del SIG. (Somers, 2001)

**Diseño de la base de datos:** los datos son una de las partes más importantes del SIG y deben tener consideración prioritaria. Las lecciones aprendidas indican que las organizaciones generalmente emplean la mayor parte del presupuesto del proyecto (hasta un 80%) en la adecuación y adquisición de los datos. En conjunción con esto a mayor parte del esfuerzo suele recaer en los datos frente a la tecnología



del sistema. Un SIG después de todo es una herramienta que se usa para mantener datos espaciales, de forma que el diseño del sistema debe centrarse en las necesidades de datos y su distribución y papel en los flujos de trabajo.

Hoy en día resulta fácil encontrar información detallada y grupos de discusión sobre las bases de datos de los SIG y su diseño; las fuentes son muy variadas y surgen a varios niveles (universidad, publicaciones, Internet). En este punto del desarrollo del SIG se define la base de datos cumpliendo los requisitos individuales de los usuarios y los procesos de trabajo en un único diseño. El objetivo es generalmente el desarrollo de una versión de una base de datos compartida acorde a las necesidades de los usuarios con mínima redundancia y máxima usabilidad y accesibilidad. El diseño debe seguir las siguientes directrices en referencia a la componente de datos:

- Las propiedades de los datos se definen de acuerdo a los requisitos combinados de los usuarios finales. Cada entidad de datos se describe en términos de tipo, formato, precisión o resolución, atributos, entidad, fuente, y responsabilidad de su mantenimiento así como el estándar.
- Las relaciones entre datos se identifican y se describen por medio del modelo de datos.
- El acceso a los datos y su gestión se conforman de modo que cada usuario y aplicación tenga acceso a la información que necesite de un modo acorde.
- La seguridad de los datos debe estudiarse en implementarse de manera fehaciente.
- Las propiedades temporales se identifican con el fin de dar soporte a las aplicaciones, funciones de datos, análisis de series temporales, escenarios de planificación, copias de seguridad y archivo del sistema.
- Los metadatos se definen a un nivel adecuado en función de su usabilidad.
- La cartografía base cumple con las necesidades en sus aspectos relativos al contenido, precisión, y condiciones de mantenimiento de forma armonizada con la base de datos alfanuméricos e implica amplios costes de creación o conversión como se explica en el apartado correspondiente del presente estudios, pero también provee oportunidades de negocio como uno de los productos finales del proyecto.



Los Sistemas de Información Geográfica más extensos dedican grandes esfuerzos al diseño de la base de datos, pudiendo éste resultar un proceso muy complejo, pero necesario para soportar futuros desarrollos, así como el crecimiento del sistema y la integración con otras aplicaciones. En cualquier caso puede resultar posible introducir datos en el SIG sin un completo modelo de base de datos pero esto compromete la usabilidad y las ampliaciones venideras.

**Software y aplicaciones:** las funciones requeridas por el sistema se derivan, de forma análoga a los datos, de las necesidades de los usuarios y de los requisitos de soporte de la base de datos. De la misma forma que el diseño de la base de datos, en este apartado se deciden las especificaciones de software que cumplimentarán el entorno de aplicaciones del sistema. En este punto no se selecciona el software pero se realizan una pormenorizada descripción de lo que se necesita en términos de funcionalidad. Deben considerarse los siguientes aspectos en relación a estos componentes:

- Soporte de aplicaciones: que funciones deben procesar las aplicaciones y que herramientas de software SIG se necesitarán para su desarrollo.
- Soporte de datos: que funciones y características se necesitan para soportar el diseño de la base de datos en cuanto a creación, operatividad, uso, y actividades de mantenimiento.
- Acceso a los datos: descripción de las características de la herramienta que permitirá el acceso a los datos por parte de los usuarios finales.
- Integración de los datos: definición de los requisitos que permitirán a la integración de los datos.
- Rendimiento: características de la aplicación para cumplir con unos determinados parámetros de rendimiento de la aplicación y otras operaciones del sistema.

Los proyectos de amplio alcance generalmente intentan minimizar el número de paquetes diferentes de software que utilizan. La compatibilidad del software entre usuarios resulta importante no solo para compartir datos sino también para preservar la integridad del sistema. Por este motivo las organizaciones buscan desarrollar conjuntos de especificaciones que las ayudan a elegir soluciones de productos adecuados y homogéneos. Si no se considera el desarrollo en virtud de los parámetros de ampliación e intercambio se corre el riesgo de obtener un producto prematuramente obsoleto, por lo que esta opción debe ser analizada en profundidad. (Somers, 2001)



**Diseño general del sistema e integración:** Los requisitos de la organización en materia de los interfaces de los datos y el sistema se aplican a las tareas de análisis de requerimientos y planificación. En este punto estas necesidades deben ser examinadas y definidas en término de diseño, especialmente los aspectos de datos que deben integrarse con el interfaz, con otros datos o con el sistema. Un SIG de pequeño tamaño puede ser adecuado para funcionar de manera autónoma para una finalidad o usuario específico pero los proyectos más amplios generalmente requieren integrar sus SIG con sistemas y bases de datos de nivel superior que implementan nuevas funciones.

**Gestión de componentes:** El diseño del Sistema de Información Geográfica debe incluir no solo los componentes técnicos del sistema sino también los componentes de gestión que le dan soporte. Deben desarrollarse procedimientos estándar para el desarrollo de la base de datos, el mantenimiento y la gestión de la información, soporte y dirección del sistema, soporte a los usuarios, y coordinación y dirección general del proyecto; todo ello basado en las características del diseño de SIG y el entorno y los usuarios que lo utilizan. En esta fase será necesario desarrollar el diseño de la gestión futura del sistema porque condiciona otros aspectos del diseño. Por ejemplo, si ciertos datos no son adecuados para el diseño inicial deben ser rediseñados en esta fase. Otra razón por la cual las componentes de gestión deben ser definidas en este apartado consiste en que parte de ellos serán requeridos durante la fase de implementación.

**Resultados del diseño:** La actividad del diseño se traduce en varios productos de cierta importancia:

- Diseño de la base de datos, incluyendo descripciones de datos modelización y especificaciones de metadatos.
- Descripciones de las aplicaciones.
- Correlaciones entre datos, aplicaciones y usuarios.
- Arquitectura general del sistema y su integración con otros SIG y bases de datos.
- Componentes organizativos y de gestión.
- Análisis de estimaciones de coste y beneficios.
- Plan de implementación.



Todos estos apartados trabajan conjuntamente, por lo que deben ser desarrollados y completados de forma simultánea.

### 3.2.10. Construcción del sistema

El proceso de adquirir y desarrollar componentes de SIG construyendo de facto la arquitectura del sistema suele ser un complejo procedimiento que surge de manera directa del análisis de requisitos y el diseño. La multitud de tareas, procedimientos y opciones de un sistema de cierta envergadura puede parecer desalentadora pero si el trabajo realizado en las anteriores fases ha sido concienzudo la tarea de seleccionar, dar forma y desarrollar los diversos elementos del sistema no debería ser difícil. Aun así será compleja y tomará cierto tiempo y recursos pero los resultados surgirán de manera casi causal como resultado de los criterios definidos anteriormente. Las principales partes del SIG que se pueden adquirir son el software, el hardware y los datos. Se deberá trabajar en actividades de desarrollo de software y aplicaciones, implementación de la base de datos y la integración de los mismos en el sistema.

**Las aplicaciones del sistema:** Cuando se habla de adquisiciones se suele pensar en el software casi de modo absoluto, pero el resto de componentes son igual de importantes y deben ser integrados. Los paquetes de software SIG proporcionan las herramientas básicas para cargar, editar, almacenar, mantener, gestionar, acceder, manipular, analizar y mostrar resultados de datos espaciales; y cumplirán de forma autónoma con los requisitos de algunos usuarios, los cuales desarrollarán herramientas sobre ellos. De modo que el reto consiste en seleccionar el software que mejor se ajuste a los objetivos buscados por el proyecto, pero para ello resulta crucial atender a las especificaciones detalladas del sistema. Las necesidades de hardware vienen determinadas por las capacidades del software y los datos que deben soportar, así como otras consideraciones del entorno del proyecto.

**Datos:** La implementación de la base de datos también presenta diversas posibilidades en función del tipo de datos, las fuentes disponibles y el coste asociado con ellas, lo cual da opción al promotor a elegir entre comprar, adecuar, recoger o convertir los datos espaciales. Cada una de estas diferentes fuentes y categorías presentan diversas posibilidades de elección de la misma forma que sucede con el software. Así, el reto consiste en encontrar la alternativa más efectiva que proporcione los mejores resultados; y el método para acertar en la elección se basa nuevamente en una adecuada lista de especificaciones detalladas de los datos para estudiar todas las alternativas que se ofrecen.

En muchos proyectos, particularmente los dependientes de la Administración o entidades de cierto tamaño, el desarrollo de la base de datos



constituirá la mayor parte del esfuerzo del SIG. Asegurar la efectividad en tiempo y coste del desarrollo de los datos lleva a muchos promotores a externalizar la creación y conversión de sus propios datos. Otras organizaciones adquieren las herramientas SIG con el fin de gestionar los datos que obtienen o crean en el curso de sus operaciones y tienen escasas necesidades de cartografía base. Un tercer tipo de organizaciones compran la mayor parte de sus datos. Los responsables de la implementación del SIG deben identificar la metodología más adecuada para cada caso de datos particular y adaptar los procesos de importación a sus propias especificaciones.

Independientemente del método utilizado para la adquisición de los datos la calidad debe requerir la mayor de las atenciones. Los controles de la calidad deben ser implementados en las especificaciones de desarrollo de datos, contando con un responsable que responderá por ellos asegurando la calidad de los mismos a lo largo del proceso de creación, y el usuario debe poder verificar esa calidad posteriormente.

**Integración de sistemas:** Hoy en día es una necesidad real el hecho de que los sistemas y el resto de los datos de cualquier entorno colaborativo trabajen sincronizados de forma constante, así como que posean capacidad de respuesta a nuevas necesidades y emergencias. A pesar de que muchos Sistemas de Información Geográfica todavía funcionan de forma autónoma y aislada el incremento de actividad en transferencia de datos y la demanda de su inmediatez transparencia hace de la integración una necesidad de primer orden. El diseño general de SIG debe indicar las posibilidades de expansión e integración con otros sistemas, aun siendo posible realizar la integración posteriormente esto requerirá un trabajo extra de difícil justificación.

**Productos y servicios del SIG:** Dependiendo del promotor y del Sistema de Información Geográfica se pueden utilizar una variedad de métodos para obtener los componentes del sistema. El diseño del SIG describe las especificaciones técnicas mientras que la organización debe proveer el contenido y los procedimientos. En cualquier caso el producto SIG y las especificaciones de servicios deben ser documentadas exhaustivamente y las alternativas evaluadas a partir de ellos. Un proceso complejo y largo generalmente implica evaluar alternativas a las especificaciones, reuniones con suministradores para obtener evaluaciones de posibles productos; estos criterios no solo deben referirse a la respuesta de los suministradores sobre las especificaciones y requisitos sino que deben reflejar la capacidad para cumplir con los criterios buscados en materia de costes, experiencia y logística. Los implementadores de pequeños SIG a veces no tienen los recursos necesarios para realizar evaluaciones de este grado de detalle pero aun así deben monitorizar a los suministradores en la búsqueda de las



mejores alternativas posibles. Gestionar contratos de productos y servicios SIG con efectividad posee la misma importancia que la selección del mejor de los suministradores. Deben establecerse contratos claros con planes, procedimientos y tareas a desarrollar y dossiers informativos regulares del estado de los entregables. Las responsabilidades de las contrapartes y los entregables deben estar claramente especificados así como nuestras obligaciones.

### 3.3. Los procesos de estimación de esfuerzos en software

La estimación de costes de un sistema de información, consiste en la aplicación de una serie de técnicas y procedimientos que una organización utiliza para conocer con adelanto el coste que conlleva el desarrollo de un proyecto de sistemas de información. La estimación precisa de los recursos y tiempo necesarios para el desarrollo de un proyecto, es esencial para el perfecto desarrollo de cualquier proyecto, pero más si cabe, en el sector informático, en el que los presupuestos y plazos se superan con creces de forma habitual. (Balsera, 2005)

Tradicionalmente el proceso de estimación de esfuerzo dentro de los proyectos de sistemas de información ha sido denominado como proceso para la estimación del coste, aunque el dato del coste en sí no es más que el resultado derivado de la estimación del tamaño, esfuerzo y plazo. La estimación del tamaño es la medida del tamaño, generalmente en líneas de código o equivalente, que tendrá el producto final. La estimación del esfuerzo es el esfuerzo para lograr el producto final. (Balsera, 2005)

Un modelo de estimación del esfuerzo debe poseer las siguientes características (Varas, 1995):

1. Capacidad de adaptación a la productividad de la organización.
2. Considerar el coste de comunicación entre los involucrados.
3. Incorporar guías útiles para estimar aquellos parámetros que son subjetivos o no se deducen en forma explícita a partir del modelo.
4. Debe ser usable.
5. Debe reflejar etapas simples de entender y definidas en forma precisa.
6. Objetividad.
7. Coste efectivo.
8. Capacidad de proveer medios para adaptar los cambios en el desarrollo.

9. Debe permitir una estimación temprana.

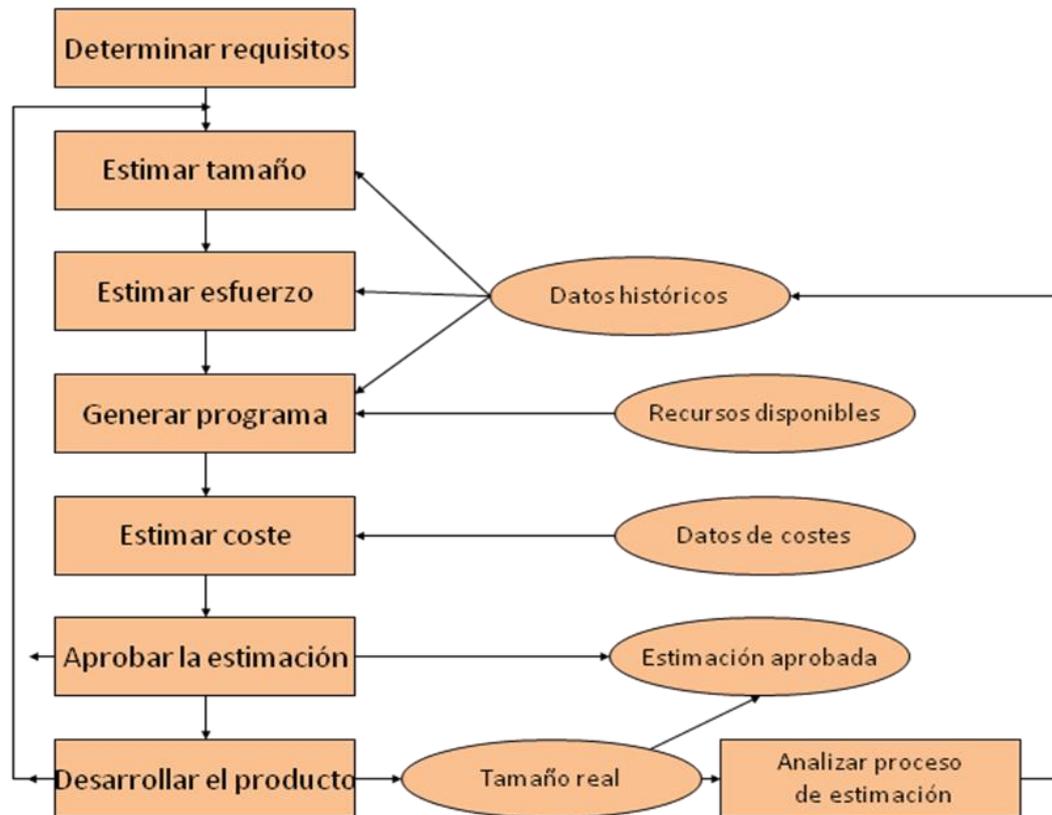


Figura 2: El proceso de estimación de esfuerzos.

Habitualmente los procesos de estimación siguen una serie de etapas similares a las que aparecen reflejadas en la figura 2.

La mayoría de los métodos incluyen modelos empíricos de estimación y poseen como variable definitoria del coste principal el tamaño de la aplicación a desarrollar, lo que es suficientemente difícil de estimar en los SIG, e implica la necesidad de encontrar un modelo adaptado a esta tarea que permita la obtención de un método más fácil de usar.

La estimación del tamaño y del esfuerzo resulta especialmente importante en la planificación de un proyecto. Para apoyar esta difícil tarea, se han desarrollado varios métodos que han encontrado aceptación comercial en forma creciente en la planificación del desarrollo de software.



A continuación se citan someramente las principales técnicas de estimación de software; en referencia a su posible aplicación a nuestro ámbito de estudio resulta necesario destacar los siguientes aspectos (Gracia, 2010):

- **Puntos de función:** Se trata de un método que data de 1979. Sus objetivos son medir lo que el usuario pide independientemente de la tecnología proporcionando un determinado factor de normalización para la comparación de distintos software. Se trata de un método ideado para cuantificar el tamaño y la complejidad de un sistema software en términos de las funciones de usuario que este desarrolla (o desarrollará). Esto hace que la medida sea independiente del lenguaje o herramienta utilizada en el desarrollo del proyecto. En su origen, el análisis por puntos de función está diseñado para medir aplicaciones de negocios por lo que no resulta apropiado para otro tipo de aplicaciones como aplicaciones técnicas o científicas. Los algoritmos complejos que se aplican en la gestión de datos espaciales suponen un inconveniente para el método de puntos de función.
- **Puntos de casos de uso:** es un método de estimación de esfuerzo a partir de sus casos de uso. Fue desarrollado por Gustav Karner en 1993, basándose en el método de puntos de función. Ha sido analizado posteriormente en otros estudios. Este método utiliza los actores y casos de uso relevados para estimar el esfuerzo del desarrollo a estudiar. A los casos de uso se les asigna una jerarquía compleja basada en las transacciones, de interacción entre el usuario y el sistema, mientras que a los actores se les asigna una categorización basada en su tipo, es decir, si son interfaces con usuarios u otros sistemas. También se utilizan factores de entorno y de complejidad técnica para ajustar el resultado. Dada la carencia de referencias de usos de este método en proyectos SIG, surgen problemas de definición de los casos de estudio que dificultan a priori su aplicación de forma sistemática.
- **COCOMO:** es un modelo matemático de base empírica. Incluye tres submodelos, cada uno ofrece un nivel de detalle y aproximación, cada vez mayor, a medida que avanza el proceso de desarrollo del software: básico, intermedio y detallado. Este modelo fue desarrollado por Barry W. Boehm a finales de los años 70, exponiéndolo detalladamente en su libro "Software Engineering Economics" (Prentice-Hall, 1981). Este modelo depende ampliamente de la adaptación del mismo a las necesidades de la organización, a través de datos históricos; los cuales no son fácilmente comparables por analogía en el ámbito de los Sistemas de Información Geográfica, dada la heterogeneidad de este tipo de proyectos.



## 4. Características de un SIG para la gestión de redes de distribución

---

### 4.1. Requisitos

Los pasos a seguir para construir un SIG de una red de distribución de agua o de saneamiento pueden definirse mediante las siguientes fases básicas:

- Digitalizar la red de distribución, partiendo de cero mediante las herramientas de edición, o bien importar una red en cualquiera de los formatos soportados por la extensión (CAD, Shapefiles, coberturas, etc.).
- En el caso de realizar una importación, conviene comprobar posibles defectos o errores de importación. Para ello se dispone de múltiples herramientas de chequeo y verificación.
- Simplificar la red si fuera necesario, eliminando tuberías o nudos.
- Editar las propiedades hidráulicas de la red a través de los diversos diálogos creados al efecto y añadir los elementos hidráulicos necesarios (bombas, válvulas, bombas, depósitos, etc.).
- Introducir las curvas de modulación, curvas características de bombas, leyes de control, etc.
- Interpolan cotas en los nudos seleccionados, a partir de otros temas auxiliares.
- Cargar el modelo a partir de los datos de consumo disponibles, asociados a la base de datos.
- Seleccionar las opciones de análisis (definición del escenario de simulación).
- Exportar el fichero de datos para ejecutar el modelo externamente, o ejecutar directamente un análisis hidráulico o de calidad e importar los resultados.
- Definir y configurar un escenario de calibración y lanzar el calibrador por algoritmos genéticos. Repetir este proceso hasta alcanzar una 'buena' solución.



- Consolidar los resultados obtenidos tras el proceso de calibración.
- Ejecutar una nueva simulación y analizar los resultados para comprobar si se ajustan a lo esperado.

Un Sistema de Información para la edición, consulta y análisis de la información de las redes de abastecimiento y saneamiento a nivel municipal debe conformarse como una aplicación vertical que proporcione una herramienta única y específica, englobando la respuesta a las necesidades de gestión de la red.

La arquitectura del Sistema mantiene toda la información centralizada debe ser interconectada, por un lado a Internet/Intranet, y por otro puede conectarse a los diferentes Sistemas de Información y aplicaciones informáticas ya existentes.

Por tanto, a priori, cabe suponer las siguientes características en el sistema:

- Sistema multiusuario
- Tratamiento continuo de la información cartográfica
- Herramientas de posicionamiento por:
  - Calle
  - Calle y número de portal
  - Cruce de calles
  - Calle entre calles
- Herramientas para el control de la visualización:
  - Control de visualización de capas (apagado-encendido y orden de superposición)
  - Control de visualización de grupos de capas
  - Visualización de imágenes raster (ortofotos,..)
  - Presencia de una ventana de localización, que muestra la posición del cursor sobre el área completa del proyecto.
- Herramientas de edición de información, comprendiendo:



- Edición de la trama urbana
- Edición de elementos del callejero
- Elementos de la red de abastecimiento (incluyendo etiquetas)
- Elementos de la red de saneamiento (incluyendo etiquetas)

Las herramientas de edición incluyen:

- Dibujo de la geometría de las distintas entidades gráficas.
- Mantenimiento de la información alfanumérica de las distintas entidades.
- Mantenimiento de la topología en las operaciones de edición.
- Herramientas de copia de elementos topológicos o de su información alfanumérica
- Generación masiva de etiquetas
- Modificación masiva de características alfanuméricas
- Herramientas para la asociación de imágenes y documentos a las distintas entidades topológicas.
- Herramientas para la correcta visualización e impresión de nudos de la red con una alta densidad de elementos.
- Integración de la información manejada en las herramientas de Microsoft Office.
- Herramientas de consulta, incluyendo:
  - Consulta de información alfanumérica asociada a un elemento
  - Consulta de conjuntos de elementos aplicando filtros por atributos
  - Consulta según condiciones geográficas
  - Consultas combinando con filtros alfanuméricos y geográficos



La herramienta de consultas permite almacenar, copiar y modificar la definición de las consultas

- Herramientas para la generación de mapas temáticos
- Herramientas de impresión de planos, que permiten:
  - Impresión rápida de la zona visible en pantalla
  - Generación de carátulas de planos
  - Impresión de un plano de la cuadrícula
  - Generación automática de colecciones de planos
- Herramientas de importación desde formato un formato neutro
- Herramientas de exportación e importación de geometrías en los formatos CAD de Microstation y Autocad.
- Herramientas de administración del Sistema que permiten
  - Administrar usuarios
  - Administración del espacio geográfico: Municipios, calles, planos
  - Administración del modelo de datos: Entidades (Información asociada, diseño de formularios, representación gráfica, ..), relación entre entidades, ...
- Acceso en modo visualización, utilizando exclusivamente un navegador de Internet, a la información almacenada en el GIS.
- Impresión de planos a través del modulo de acceso con navegador.
- Descarga a ficheros CAD de la información visualizada a través del navegador.
- Herramienta para la definición de sectores hidráulicos
- Herramienta de Gestión de cortes que permite:
  - Identificar automática o semiautomáticamente la porción de la red que queda sin suministro de agua para aislar una tubería
  - Emitir un informe con las acometidas afectadas por el corte



- Registrar los cortes habidos
- Reproducir sobre la red los cortes habidos
- Asignación de cotas a los nudos de la red de abastecimiento
- Herramienta de intercambio de información bidireccional con el programa de simulación hidráulica y de calidad de las aguas. El intercambio de información entre ambos sistemas afecta a todas las entidades y sus características presentes en ambas aplicaciones.
- Herramientas de generación de mapas de isolíneas
- Herramientas para la generación de perfiles longitudinales en la red de alcantarillado
- Herramientas de identificación de cuencas vertientes
- Herramientas de identificación del recorrido descendente del agua
- Herramientas para generar salidas, en formato de texto plano, de la información geométrica y topológica de la información de la red de alcantarillado.
- Herramientas para la carga de datos recogidos en dispositivos tipo PDA.

## 4.2 Funcionalidades

Como se ha explicado anteriormente, un SIG gestor de redes de agua es un sistema informático que facilita la introducción, almacenamiento, recuperación, transformación, modelado, análisis, representación y salida de datos espaciales y tabulares del mundo real para garantizar la toma de decisiones en problemas de planificación y gestión. Los Datos Espaciales se referencian por puntos geográficos y se guardan como elementos primitivos gráficos. Los Datos Tabulares son atributos no-gráficos de los elementos del mundo real, relacionados a los datos espaciales, los cuales se archivan en una base de datos.

Se describen a continuación de modo pormenorizado una serie de herramientas para la cartografía, redes de abastecimiento, redes de saneamiento y callejeros y para la creación y explotación de un sistema de información sobre estos datos geográficos. Las herramientas desarrolladas deben permitir introducir, validar, manipular, analizar y visualizar toda esta información geográfica, pudiendo manejar una combinación variada de datos de tipo vectorial, tabular y de celdas (raster).



Las funcionalidades y características básicas son, entre otras:

- Sistema multiusuario
- Integración de distintos proveedores:
  - Información raster
  - Red de abastecimiento
  - Red de saneamiento.
  - Callejero
  - Planimetría
  - Altimetría
- Plano continuo
- Herramientas de posicionamiento, maquetación, impresión, exportación, búsquedas
- Manipulación y edición de los distintos proveedores
- Análisis y consulta de datos vectoriales y alfanuméricos

A continuación se describen las principales características con las que debería contar un sistema de esta índole, detallando sus funciones y capacidades de gestión.

La aplicación debe contar con un adecuado sistema de gestión de permisos y usuarios, para lo cual resulta primordial la autenticación del operador al entrar al sistema.

En caso de no ser la primera vez que accedemos a la aplicación, la propia aplicación debe cargar la red sobre la que estábamos trabajando la última vez que la cerramos. Así mismo, la aplicación cargará la ventana sobre la que estábamos trabajando (nivel de zoom), la capa activa y el comando de usuario que teníamos activo.

Así mismo, la aplicación recuperará el filtro de la última sesión, es decir, las capas apagadas y encendidas con las que estábamos trabajando. Esto solo sucederá la primera vez que carguemos la aplicación.



Es destacable indicar que por motivos de privacidad y velocidad de la aplicación, cada vez que se cambie el usuario o de servidor en la aplicación se perderán estas preferencias.

### 4.3. Entorno gráfico

Se proponen los siguientes elementos a modo de facilitar el manejo de la herramienta de la forma más sencilla posible:

- Barra del título de la ventana de la aplicación. Aparece información del proyecto abierto.
- Menú de la aplicación.
- Herramientas de la aplicación.
- Ventanas de la aplicación.
- Visor de la aplicación.
- Herramientas del visor.
- Información del número y descripción de la capa activa. Permite cambiarla dependiendo del proveedor activo. En el caso en que el proveedor activo sea raster aparecerán vacías.
- Barra de progreso.
- Indica la herramienta activa en ese momento.
- Modos de snap.

#### 4.3.1. Visor

El visor es el área donde se visualizan los elementos. Permite realizar acercamientos y alejamientos de forma sencilla. Además permite la interacción con los elementos que se visualizan. Al mover el cursor por encima de él se puede saber el punto que representa en coordenadas geográficas. Las distancias y los puntos se representan en metros con precisión hasta los milímetros.

- Acercar (disminuir la escala a la mitad).
- Alejar (aumentar la escala al doble).
- Ajustar la vista para que todos los archivos visibles quepan en el visor.



- Permite ajustar la vista por rectángulo.
- Mover la vista (Pan).
- Refresca la vista.
- Volver a la vista anterior.
- Rotar vista.

Herramienta para rotar la vista en que se ve la información sobre el visor activo.

#### 4.3.2. Ventana de gestión de capas

Desde esta ventana podremos gestionar a todos los niveles de información de la aplicación.

Debemos poder hacer visibles todos los proveedores dando doble clic sobre ellos, lo cual puede alternar entre tres estados

- A: Fichero no visible.
- B: La capa se encuentra visible.
- C: La capa esta activada. Solo podremos tener una activa. Para desactivar una y activar otra se da doble clic sobre la misma.

También permite añadir nuevos niveles, con botón derecho sobre la zona gris aparece una ventana con la opción de añadir o eliminar proveedores.

Debe facilitarse la capacidad de añadir nuevas capas de diferentes formatos con el fin de adquirir nueva información de diversas fuentes.

#### 4.3.3. Ventana localizador

Esta ventana mostrará toda la zona correspondiente al área cuyas redes se van a gestionar.

Si se realiza un click sobre la ventana, automáticamente se localizará esa zona en el visor.



Por defecto se propone que la información que muestre corresponda al proveedor raster y límites de población y municipio, si no se dispone de alguno de ellos saldrá el resto. Si no existe ninguno la ventana no mostrará nada. En cualquier caso se puede utilizar para posicionarse sobre la zona.

#### 4.3.4. Consola de salida

Dando sobre el icono se muestra la consola de salida, que nos mostrará los reportes de los procesos de ejecución de las herramientas. Además va guiando al usuario en procesos que pueden resultar complejos o incluso muestra la ayuda.

#### 4.3.5. Selección y posicionamiento

Las formas de selección y posicionamiento propuestas para la aplicación son el data, el reset y el snap. Las herramientas utilizan estos eventos de distintas formas en su funcionamiento. A continuación se ofrece una explicación de su uso más común y de la manera de generarlos.

- **data:** generalmente se utiliza para seleccionar o aceptar. Se genera con el botón izquierdo del ratón.
- **reset:** generalmente se utiliza para finalizar o cancelar. Se genera con el botón derecho del ratón.
- **snap:** Se genera oprimiendo el botón izquierdo y derecho del ratón a la vez. Las herramientas no lo utilizan directamente, su uso es para buscar el punto adecuado para dar data o reset. Al dar un snap el cursor queda congelado en el punto que satisface el snap, esperando un data, un reset u otro snap para buscar otro punto adecuado si el encontrado no era conveniente. El reset para liberar el cursor, cancela el snap, pero no afecta a la herramienta comando usuario activa. El data libera el cursor y llega a la herramienta comando usuario activa.

El punto de snap (donde se congela el cursor) se determina tomando en cuenta el modo de snap activo, estos se pueden cambiar dando clic izquierdo en la barra de estado de la aplicación y seleccionando del menú flotante el modo deseado.

El snap tiene un alcance. Si no existe ningún punto adecuado, tomando en consideración el modo de snap activo, que esté suficientemente cerca del punto donde se dio snap, éste no tendrá efecto.

Entre los diferentes modos de snap se proponen:



- **Punto**, este modo snap ubica el cursor sobre el vértice más cercano de una polilínea o sobre el punto de inserción de un elemento.
- **Línea**, el cursor se coloca sobre el punto más cercano de una polilínea o en un punto de inserción de un elemento.
- **Último punto**, este modo snap ubica el cursor en el punto más cercano que sea el extremo de una polilínea, o en un punto de inserción de un elemento.
- **Mitad del segmento**, este modo snap ubica el cursor en el punto más cercano que sea la mitad del segmento de una polilínea, o en un punto de inserción de un elemento.
- **Z activa sobre el segmento**, este modo de snap ubica el cursor en el punto más cercano sobre el segmento seleccionado por el punto snap, cuya z sea igual a la z activa.
- **Intersección**, mediante este modo el snap ubica el cursor en el punto de intersección entre dos líneas.

El **posicionador** será una herramienta que se utiliza para introducir una entidad en el lugar especificado mediante las 5 opciones indicadas a continuación.

Al seleccionar la herramienta de posicionador aparece un formulario con un desplegable donde se pueden seleccionar diferentes opciones:

- Posicionar por coordenadas.
- Por ángulo desde el último punto.
- Por distancia perpendicular al segmento.
- Por equidistancia a 3 puntos.
- Por incremento en las coordenadas.

Posicionar una entidad por coordenadas, permite insertarla en el punto que se especifique.

Permite insertar cualquier tipo de elemento, ya sea lineal o puntual, mediante la introducción de coordenadas por teclado. En el caso de las polilíneas se puede insertar los vértices deseados por coordenadas, introduciendo los datos



X, Y, Z correspondientes y pulsando el botón del posicionador para introducir cada punto.

Mediante el posicionamiento por ángulo desde el último punto se especificará a qué distancia y en qué dirección estará el nuevo data con respecto al anterior.

Se especificará a qué distancia y en qué dirección estará el nuevo data con respecto al anterior. La dirección se especificará por un ángulo en grados no necesariamente enteros. El ángulo puede ser negativo o positivo. El valor de z del nuevo data siempre coincide con el anterior.

Para posicionar un dato por distancia perpendicular al segmento se selecciona el segmento mediante el botón del snap punto que aparece en el formulario, posteriormente se indica la dirección hacia la que se desea realizar el data perpendicular, con lo que aparece en el diálogo las coordenadas del punto dado. Se introduce la distancia en metros y al hacer clic sobre el botón posicionar aparece el cursor en el sitio seleccionado, ejecutando la acción.

#### 4.3.6. Menú de la aplicación

Desde el menú de la aplicación podremos realizar las siguientes operaciones:

- Elegir la red de trabajo
- Permite importar cualquier fichero que se encuentre en el formato neutro e importar archivos de altimetría y planimetría.
- Mediante el menú configuración se puede realizar las siguientes acciones:
  - Configurar el entorno.
  - Cambiar la contraseña.
  - Configurar herramientas topológicas.
  - Configurar etiquetado.
  - Configurar zona geográfica.
- Mediante el menú de utilidades para elementos permite:



- Visualizar el canevas con la distribución de hojas catastrales del contrato.
- Regenerar Topología.
- Sincronizar las longitudes de los elementos lineales.
- Sincronizar pendientes de saneamiento.
- Generar reportes con datos de conductos y pozos.
- Editar tablas de Depósito e Instalación.
- Generar un modelo a partir de la altimetría en 3D para corregir la Z de la red de abastecimiento y saneamiento.
- Muestra la información de la versión en curso.

#### 4.4. Estructura de datos

Como se ha comentado anteriormente, un proyecto de esta índole debe establecer una base de datos relacional consistente en un conjunto de tablas estructuradas con una serie de campos definidos, que delimitan la configuración funcional de la aplicación. Dichas tablas estarán enlazadas entre sí por medio de un identificador único (campo clave).

Conviene definir dos tablas principales directamente asociadas a los temas básicos de nodos y líneas, existentes en cualquier escenario. Éstas se caracterizan por contener el campo *Shape* que alberga la información gráfica y espacial. En la tabla de nodos, los registros hacen referencia a todos los elementos puntuales de la red con representación gráfica, es decir, nudos de consumo, depósitos, embalses y nudos extremos de bombas y válvulas, y contienen información general de estos elementos tales como identificadores internos, identificadores de usuario, tipo de leyenda a mostrar, etc. Esta tabla también contiene el grado de conectividad de cada nodo y el ángulo de rotación del símbolo asociado en el caso de bombas y válvulas. En el caso de la tabla de líneas, los registros hacen referencia a todos los elementos lineales existentes en la red con representación gráfica, es decir, las tuberías y los pequeños tramos que definen las válvulas y las bombas, ya que estos elementos son considerados como tramos por el simulador hidráulico. Esta tabla contiene además la topología de la red, así como el estado de cada línea (abierta o cerrada).



Cada una de estas dos tablas debe estar asociada y vinculada a una serie de tablas sin contenido gráfico (tablas de datos alfanuméricos) con formato \*.dbf, que almacenan toda la información relevante a efectos de construcción del modelo, esto es, las propiedades hidráulicas de los diferentes elementos representados por los nudos y líneas.

Además de estas tablas existen otras que almacenan la información relativa a las curvas de modulación, curvas de comportamiento, leyes de control, opciones de simulación, etc.

Una aplicación de estas características puede admitir los mismos temas que soportaría una vista en ArcView, pero además ofrecer la posibilidad de incluir una serie de temas controlados por la aplicación con una estructura definida. Por ejemplo, temas de componentes y de tuberías que no interactúan con la topología del modelo de red y que únicamente proporcionan información adicional, catálogos de imágenes, callejeros geocodificados, etc. Cada uno de estos temas lleva asociado una serie de herramientas particulares y unos diálogos característicos.

No existe número máximo de temas admitidos por un escenario. Además para facilitar la gestión de todos los temas existentes en la tabla de contenidos de un escenario, se dispone de un gestor de temas que mantiene las características de las leyendas de los mismos en todo momento.

## 4.5. Topología

Una vez creada la base cartográfica, se puede construir el modelo de la red desde cero o bien importando la red desde un formato original diferente. Este último caso es el más frecuente. Los formatos más comunes son: coberturas ArcInfo, Shapefiles de ArcView, ficheros CAD (dgn, dwg, dxf), ficheros .inp de EPANET y proyectos GISRed (regeneración o importación de proyectos corruptos). Cada uno de estos formatos requiere una interpretación de la información en origen, ya que la aplicación debe leer la información original, interpretarla, depurarla (si es necesario) e incorporarla a la base de datos propia del proyecto. Es necesario contar con varios módulos que contemplan cada uno de los tipos de importación admitidos. La parte crítica del proceso de introducción de elementos de red en el escenario, bien digitalizando desde cero (utilizando para ello las herramientas de edición existentes) o bien mediante la importación de información, reside en el hecho de generar una topología coherente y preservarla durante el proceso de edición de la red. Para ello las herramientas de edición de red pueden llevar implícitas una serie de acciones como son: el anclaje de las tuberías en los nudos extremos de las ya existentes siempre que éstos se hallen



dentro de una tolerancia que marca automáticamente la aplicación; la edición automática de los nudos extremos de una tubería, etc.

Al final del proceso de importación, la aplicación puede mostrar una serie de temas auxiliares con información de posibles errores encontrados durante el proceso que no se pudieron corregir. Además conviene facilitar herramientas para la corrección de dichos errores, por ejemplo un navegador que salta de error en error destacando mediante un determinado símbolo el posible error existente.

#### 4.6. Edición del esquema de la red y herramientas de verificación

Debe contarse con una serie de herramientas de edición agrupadas en diferentes barras de herramientas dependientes del tema activo en la tabla de contenidos del escenario. Esto sería semejante a la forma de trabajar en el entorno de ArcView, ya que la interfaz de usuario cambia dependiendo del documento o tema que esté activo. Las barras de herramientas propuestas son:

- Barra de herramientas de Líneas: permite introducir tuberías al modelo, editar y modificar vértices, dibujar tuberías introduciendo las coordenadas de todos sus vértices y borrar tuberías.
- Barra de herramientas de Nodos: permite añadir nudos de consumo, bombas, válvulas, depósitos, embalses, mover nudos (y consecuentemente todas las tuberías conectadas a él), conectar extremos de tuberías, generar T's, y borrar nudos (fundiendo las correspondientes tuberías siempre que lo permitan sus propiedades). Es también posible convertir el tipo de nudo en cualquier momento, de modo que, por ejemplo, una válvula o bomba puede convertirse en un nudo de consumo y viceversa.
- Barra de herramientas para los temas de líneas y componentes no pertenecientes al modelo: la forma de trabajar de las herramientas de estos temas es similar a la comentada para los temas básicos, con la salvedad de que en este caso no se atiende a la topología de los elementos.
- Herramientas para catálogo de imágenes: estas herramientas permiten situar imágenes como fondo del escenario. Facilitan las tareas de posicionado y georreferenciación de la imagen en el escenario correspondiente. Existe también la posibilidad de eliminación de las imágenes del catálogo.



Adicionalmente, la extensión puede incluir una serie de herramientas enfocadas a la detección y reparación de errores e inconsistencias en el modelo de red. Por ejemplo, la detección de nudos extremos de tuberías que quedan muy cerca unos de otros dentro de una tolerancia definida; localización de elementos con parámetros de red no definidos o inexistentes (diámetros, rugosidades, cota, material, etc.). Tras este proceso de verificación, si se detecta alguna anomalía la aplicación muestra un tema de errores en la tabla de contenidos del escenario, indicando los elementos en los que se han detectado dichas anomalías.

#### 4.6.1. Editores de propiedades

Para introducir las propiedades hidráulicas de los elementos que componen el modelo de red, deben existir una serie de diálogos asociados a cada elemento. Las propiedades que pueden editarse con estos diálogos son las requeridas para construir un modelo hidráulico y de calidad.

Asimismo, cabe disponer de editores de curvas de modulación y de comportamiento, y editores especiales para la introducción de controles simples y reglas compuestas de control asociadas a ciertos elementos de la red.

Por último destacar los asistentes desarrollados para la interpolación de cotas y la asignación de demandas. En el primer caso se requiere un tema de puntos que se toma como base para la interpolación; ArcView facilita herramientas para generar superficies de interpolación que servirán para averiguar las cotas en cada uno de los nodos de la red.

Para la asignación de las demandas agrupadas por calles, es necesario disponer de un tema auxiliar con el callejero de la zona de estudio. Evidentemente, es necesario también disponer de datos de consumo para el periodo elegido, en este caso concreto, consumos distribuidos por calles.

#### 4.6.2. Asignación de demandas

Esta es una de las etapas clave dentro del proceso de modelización de una red de distribución de agua. La asignación de consumos a los nudos de la red resulta una labor harto difícil sin la ayuda de herramientas que faciliten la tarea de repartir el caudal consumido. Dada la componente espacial de esta tarea, los SIG proporcionan un gran número de herramientas encaminadas a la gestión espacial de toda la información que interviene en el proceso. Normalmente entrará en juego también la posibilidad de conexión con bases de datos o ficheros externos con información acerca de los consumos recopilados por calles, por acometidas, etc. Resulta muy útil en estos casos disponer de un módulo capaz de realizar



asignaciones automáticas a partir de estos ficheros o tablas externas, explotando la eficiencia de todas las herramientas disponibles en un SIG.

Resulta interesante la opción de repartir los consumos agrupados por calles sobre ciertos nudos elegidos, en función del diámetro de las tuberías a que pertenecen u otros criterios. Se utilizan para ello herramientas de análisis espacial.

Para ajustar el volumen inyectado a la red y el volumen consumido, es posible introducir como parámetro de entrada dicho volumen inyectado o bien utilizar un factor de demanda junto al volumen total consumido. En ambos casos, la diferencia en volumen se reparte de manera equitativa a todos los nudos del sistema susceptibles de ser cargados.

#### **4.6.3. Interpolación de cotas**

La cota de un nudo de consumo es siempre una propiedad requerida cuando se trabaja con un simulador hidráulico. Es un dato fundamental en el proceso de calibración, y también para expresar finalmente las presiones en los nudos, uno de los parámetros más significativos en lo que respecta a la calidad del servicio. La mayoría de paquetes SIG del mercado proporcionan diversos algoritmos capaces de generar superficies de interpolación a partir de una nube de puntos con un atributo de cota asociado. Los más sofisticados, incluso permiten la generación de modelos digitales del terreno a partir de los cuales hallar la cota en los nudos de la red. En el caso de proponer la asignación de cotas a los nudos se puede realizar de manera puntual nudo a nudo, en bloque, esto es, asignando una misma cota a todos los nudos seleccionados o bien utilizando una superficie de interpolación o GRID espacial. Este último método resulta ser el más eficiente cuando se dispone de datos suficientes, como consecuencia de un levantamiento topográfico por ejemplo.

#### **4.6.4 Simulación y visualización de resultados**

Una vez se dispone del modelo calibrado de la red, la aplicación debe permitir ejecutar cuantas simulaciones sean necesarias. Para ello se generará un archivo de texto con los datos de entrada requeridos por el simulador y se llama al Módulo de Herramientas de EPANET. El simulador proporcionará un conjunto de resultados, que la aplicación almacenará en tablas de la base de datos, para su consulta posterior.

Para visualizar los resultados de la simulación, se puede disponer de un navegador en el que se elige la variable a representar y el instante de tiempo y que



automáticamente genera un tema clasificado por colores con los resultados obtenidos.



## 5. Modelo de estimación

Llegados a este punto del estudio, se puede empezar a describir un modelo de aplicación general cuyo fin último será el de obtener estimaciones de coste de forma coherente salvando las limitaciones y los problemas que se han expuesto en los capítulos precedentes.

En este apartado se presentan una serie de conceptos clave asociados a todo proyecto SIG con el fin de establecer una categorización y una clasificación, no de los propios proyectos como tal, tarea que resultaría pretenciosa y excesiva, pues, como se ha explicado anteriormente la tipología detallada de los sistemas de Información Geográfica resulta prácticamente inabarcable, sino de las partes comunes que constituyen los pilares del sistema, intentando con ello llegar a un nivel que permita cuantificar su esfuerzo por separado, para ofrecer así por adición un acercamiento satisfactorio al resultado global, esto es, el proyecto en su totalidad.

Las bases que se plantean, deben permitir constituir una herramienta de consultoría dirigida al análisis, diseño y costes de desarrollo que faciliten el conocimiento de la implementación tanto a nivel operativo como estructural, y cuya clave principal debe ser la versatilidad en su adecuación al desarrollo de cualquier proyecto de Sistemas de Información Geográfica, independientemente del volumen del mismo.

Por lo tanto, para abordar el problema objeto del estudio debe configurarse una metodología de estimación general que describa las componentes y caracterización de este tipo de desarrollos, con el fin de traducir o convertir dichas características en indicadores de esfuerzo.



Figura 3: Fases metodológicas propuestas.



Así pues, teniendo en cuenta las etapas habituales en la estimación de costes de desarrollo y adaptándolas al caso de los Sistemas de Información Geográfica, se han definido las siguientes fases de desarrollo del modelo:

## 5.1. Definición de las fases del desarrollo

### Fase 1 Caracterización:

Supone la definición de un entorno, es decir, el conocimiento de las necesidades y características de la organización y los usuarios del SIG. Dichas necesidades se traducirán en un conjunto de propiedades (cliente/servidor, multiusuario, etc.) y una serie de productos a obtener (consultas, informes, mapas...) que permiten caracterizar progresivamente el proyecto, por ejemplo, seleccionando la tecnología más adecuada (hardware, software) para cada caso particular.

El punto de partida de esta definición será de este modo un marco general de características y componentes de los sistemas SIG que debe estar convenientemente actualizado para incorporar las nuevas posibilidades técnicas que se van incorporando en este ámbito. Teniendo en cuenta este esquema se realizarán entrevistas en profundidad con los principales usuarios del futuro sistema. Los resultados de esta primera etapa supondrán la selección de:

- El SGBD, el tamaño y otras características de la base de datos.
- La información geográfica necesaria, el tipo (vectorial, raster), el proceso de captura, la inserción de datos, etc.
- Los requisitos del software SIG a utilizar o a desarrollar.
- Las especificaciones del hardware necesario.

Este primer paso define las características del sistema, abordando el estudio de las particularidades de este tipo de proyectos a partir de las fases y los conceptos generales y comunes que los forman, profundizando en sus propiedades hasta la definición de una serie de componentes representativos que posibiliten en fases posteriores la aplicación de diversas técnicas de estimación.

### Fase 2: Estimación

Selección de las técnicas de estimación más adecuadas para cada uno de los componentes identificados y caracterizados en la fase anterior.



La estimación de esfuerzos de desarrollo de software se define tradicionalmente por la aplicación de técnicas orientadas a la cuantificación de la complejidad del sistema (puntos de función, casos de uso, etc.), y su estudio constituye un apartado necesario en la evaluación de las componentes correspondientes de cualquier proyecto SIG.

En el caso de la adquisición, tratamiento e inserción de datos, tanto gráficos como alfanuméricos, el modelo debe definir una serie de parámetros de esfuerzo cuya cuantificación y homogeneización sea factible a una determinada escala. Se propondrán fórmulas dependientes de la mano de obra, medios disponibles y las características propias del medio geográfico estudiado, entre otros factores, intentando cubrir las opciones que se presentan habitualmente en estas fases del proyecto.

Posteriormente se realizará una aplicación de las técnicas, generando una estimación de esfuerzo (horas de trabajo) o bien unos indicadores indirectos que luego se puedan traducir a unidades de tiempo y posteriormente de coste.

### Fase 3 Integración

Consistirá en la unificación de los resultados obtenidos para cada componente en la fase anterior y que permitirá generar una estimación global para el proyecto. Se requerirán nuevos parámetros de ajuste en función de distintos aspectos como plazos, disponibilidad de recursos, etc. que no se hubieran introducido en fases anteriores.

La principal dificultad de esta fase estriba en la necesidad de homogeneizar las estimaciones obtenidas para cada componente de la fase anterior, así como considerar las distintas interacciones entre los mismos.

## 5.2. Fase de caracterización

La implementación y gestión de Sistema de Información geográfica puede presentar cierta complejidad. Requiere habilidades base logística, no solo en SIG sino en gestión de las Tecnologías de la Información, gestión, y dirección de proyectos. Uno de las más duras tareas consiste en poner todas las piezas juntas identificando, organizando, planificando, y habilitando todos los componentes del proyecto. Para que los esfuerzo resulten positivos todos estos componentes deben ser cuidadosamente coordinados e integrados.



A efectos del presente estudio analizaremos brevemente el proceso de implementación de un proyecto SIG intentando definir sus bases y elementos con el fin de abordar el apartado de estudios de esfuerzos de coste del mismo. Así, se describen los principales pasos y actividades inherentes al sistema, citando también las dificultades que pueden surgir y cuyas medidas de contingencia deben ser previstas con el objetivo de obtener éxito en el proyecto.

### 5.2.2. Caracterización de componentes

Anteriormente se ha analizado la metodología general del proceso de implementación de un SIG y las características que se han de considerar en su desarrollo, sin embargo, estos componentes son transversales al proyecto y no aportan *per se* información cuantificable que permita estimar de modo fehaciente el coste de implementación del mismo. Resulta, pues, necesario analizar dichos componentes de forma jerárquica, realizando una caracterización que posibilite sugerir factores representativos para cada apartado. Dicha caracterización tiene la finalidad de incorporar a cada uno de esos elementos una serie de parámetros de productividad sobre los que realizar una estimación de su esfuerzo que finalmente sería extrapolable a la totalidad del desarrollo del proyecto.

#### 5.2.2.1. Construcción de la base de datos

Una base de datos (BD) es un conjunto de información digital relacionada. En el ámbito del presente estudio las BD contienen información geográfica, relativa a posiciones o elementos espaciales, en incluso como almacén de información de la propia cartografía base del SIG.

Uno de los sistemas más utilizados son las bases de datos relacionales, esto es, sistemas cuya información se almacena mediante tablas, en filas y columnas ordenadas denominadas 'registros' y 'atributos' o 'campos' respectivamente.

En el proceso de construcción de la BD no existe un único procedimiento genérico que se ajuste para cualquier diseño, se puede hablar más bien de una pauta a seguir. El proceso de planificar una base de datos no es lineal, existen bucles retroalimentativos, especialmente entre el estudio piloto, los diseños conceptuales y lógicos y el diseño físico.



**Tipo de SGBD:** Un SGBD (sistema gestor de base de datos) es el software específico, encargado de servir de interfaz entre la BD, el usuario y las aplicaciones que la utilizan. El propósito general de los sistemas de gestión de bases de datos es el de gestionar de manera clara, sencilla y ordenada un conjunto de datos que posteriormente se convertirán en información relevante para una organización.

De este modo el SGBD poseerá siempre determinadas y diversas estructuras de almacenamiento de datos con soporte para la definición de restricciones de integridad, mecanismos para la gestión de los mismos y subsistemas de control de la concurrencia, acceso y fallos para impedir que se produzcan inconsistencias ante accesos simultáneos o no autorizados o pérdida de datos.

Se puede clasificar los SGBD en cuanto a su estructura interna de funcionamiento, que será dual o integrada.

En la estructura dual el sistema separa la organización y la gestión de la información temática y la espacial, de modo que opera un software específico sobre cada componente. Este modelo es habitual en un Sistema de Información Geográfica vectorial, donde se utiliza el modelo relacional para la información temática y otro de base topológica orientado a objetos (descripción de las coordenadas de los objetos gráficos y de su posicionamiento relativo) para la base de datos espacial.

Por otra parte, los sistemas integrados gestionan únicamente una base de datos relacional para todo tipo de información del SIG. Esto conlleva ciertos inconvenientes, dado que la estructura de datos espaciales se presta poco a ser gestionada exclusivamente mediante bases de datos relacionales, ya que las tablas implican una dimensión fija que los registros que no siempre es adecuada a elementos geográficos que suelen tener longitudes de puntos extraordinariamente variables.

El modelo dual, por el contrario, resulta más rápido frente al integrado, pero adolece de falta de claridad en la organización interna de los datos. Al existir dos sistemas de gestión de bases de datos pueden presentarse también problemas determinados de ensamblaje que pueden afectar a la integridad del sistema. Por su parte el modelo integrado reduce este tipo de riesgos al aportar una mayor robustez.

Dos de los principales proveedores de SGBD comerciales han lanzado extensiones espaciales de base de datos orientadas a objetos: IBM ofrece dos soluciones - DB2 Spatial Extender e Informix Spatial Datablade - y Oracle tiene una opción espacial -Oracle Spatial -. Aunque existen diferencias en la tecnología, el



alcance y las capacidades de estos sistemas, todos ellos proporcionan funciones básicas para almacenar, gestionar y consultar los objetos geográficos. Ninguno de ellos es un sistema completo de software de SIG en sí mismo. El objetivo de estas extensiones es el almacenamiento de datos, recuperación y gestión, y no tienen capacidad real para la edición geográfica, la cartografía y el análisis. En consecuencia, deben ser utilizados conjuntamente con un SIG excepto en el caso de las aplicaciones más sencillas centradas en consultas.

**Tamaño de la BD:** El tamaño de la Base de Datos estará siempre ligado al tipo y cantidad de datos geográficos que serán gestionados por la misma.

De este modo, para determinar el tamaño de la base de datos no basta con atenerse exclusivamente a las fases del desarrollo de la misma, es necesario conceptualizar una serie de indicadores que permitan estimar el esfuerzo empleado en dicha tarea. Así pues se debe profundizar en sus componentes para llegar a un nivel mínimo que facilite una cierta cuantificación de magnitudes de esfuerzo:

- **Tablas:** Representa un tipo de modelado de información, donde se guardan los datos recogidos por un programa. Independientemente de su carácter espacial, se dividen en dos tipos básicos en función con la información recogida:
  - Tipo objeto: la tabla representa algo tangible como un conjunto de personas, conjunto de lugares o conjunto de cosas. Además, todos los objetos, comparten las mismas características las cuales pueden ser almacenadas como datos.
  - Tipo evento: la tabla representa algo que ocurre en un momento dado y tiene características que se desean registrar en la misma línea que en el caso de los tipos de objeto.

Su caracterización viene dada por los siguientes elementos:

- Número de campos
- Tipo de campos: Es la estructura más pequeña que representa una propiedad o característica de un objeto/evento de la tabla.
- Número de registros: un registro representa a uno de los objetos/eventos de la tabla. No importa el orden de las filas.
- **Índices:** Clave primaria (PK, primary key) de una tabla. Es un atributo simple (clave simple) o un grupo de atributos (clave compuesta) que



identifica de manera única cada registro de la tabla. Es obligatorio que cada tabla tenga una PK para asegurar su integridad.

Las principales dificultades que se encuentran en este apartado residen en la posibilidad de encontrarnos ante escenarios no definidos, especialmente en la etapa inicial del diseño, que dificulten la definición de los factores representativos anteriormente citados, por lo que puede ser necesario establecer una escala general en función del volumen de datos previsto que nos dé un orden de magnitud.

**Inserción/carga de datos:** Una vez solventado las cuestiones de diseño, y suponiendo accesible toda fuente de datos, es necesario considerar el tiempo invertido en la carga de los mismos en la base de datos. En este apartado el método de inserción o carga será determinante para la estimación de esfuerzos, dado que la elección de una u otra metodología puede suponer considerables variaciones en los costes del proyecto.

Métodos de inserción o carga de información en la base de datos:

- **Manual:** La inserción manual de datos debe considerarse únicamente cuando los medios al alcance no permitan su automatización, el tamaño de los mismos sea aceptable y su complejidad relativa para evitar cometer errores que deberán ser subsanados posteriormente y comprometerían la integridad de la base de datos. De modo que e n función de la cantidad de datos y una estimación de la velocidad de inserción se podría estimar el coste de inserción.
- **Automatizada:** Lo más común es que la importación de datos sea automatizada desde:
  - Fichero
  - Otras BD

En este caso la labor la realiza un software, casi siempre el SGBD o bien un desarrollo adecuado la tipología y tamaño de la información a adquirir. Para cuantificar esto se desarrollarán métodos de importación.

#### 5.2.2.2. Adquisición de información geográfica / espacial

En los inicios de los SIG, cuando los datos geográficos aún eran bastante escasos, la recolección de información era la tarea principal del proyecto y por lo general consumía la mayor parte de los recursos disponibles. Incluso hoy en día la



recogida de datos sigue siendo un proceso largo, tedioso y caro que normalmente representa el 15-50% del coste total de un proyecto SIG. Los costes de captura de datos puede ser de hecho mucho más significativos porque en muchas organizaciones (especialmente los que son financiados por la administración) los gastos de personal se suponen fijos y no se utilizan en la contabilidad presupuestaria. Si se excluyen los gastos de personal del presupuesto de un proyecto SIG los gastos relativos a la adquisición de datos puede conformar de hasta 60-85% del coste final, se trata, por tanto de un apartado de importancia en el desarrollo del estudio (Longley, 2005).

En todos los proyectos, la recopilación de datos implica una serie de etapas secuenciales. El flujo de trabajo comienza con la planificación, seguido por la preparación, digitalización / transferencia, edición y mejora y, por último, la evaluación.

La planificación a la hora de la recopilación de datos resulta imprescindible, pues de ella va a depender en gran medida el desarrollo restante del proyecto el proceso puede conllevar múltiples tareas, tales como la obtención de datos, recopilación de fuentes de cartografía, filtrado de elementos de mala calidad, edición de imágenes digitalizadas de mapas, la eliminación de ruido (datos no deseados, tales como manchas en una imagen digitalizada del mapa). También puede implicar el establecimiento de sistemas de hardware y software automatizados para aceptar datos. La digitalización y transferencia son las etapas donde se realiza la mayor parte del esfuerzo realizado. La captura de datos comprende en realidad muchos más procesos que la mera digitalización y anteceden a la edición y la adecuación de los datos, que abarcan abarca diversas técnicas de validación, para corregir errores y mejorar la calidad. Seguidamente se puede proceder a un proceso de evaluación cualitativo o cuantitativo, con el fin de identificar los problemas surgidos durante la adquisición de los datos. Dado que todos los grandes proyectos de datos implican múltiples etapas, este flujo de trabajo iterativo con fases anteriores puede contribuir a mejorar las partes posteriores del proyecto final.

### **5.2.2.3. Captura directa de datos**

Este tipo de captura de información consiste en la medición directa de los objetos sobre el terreno. Las mediciones de los datos digitales pueden entrar directamente en la base de datos del SIG, o bien pueden residir en un archivo temporal para ser procesados antes de su inserción. Aunque la primera opción resulta preferible, ya que minimiza la cantidad de tiempo y la posibilidad de errores, no siempre es posible debido a la logística y a que la coordinación directa



entre los dispositivos de recopilación de datos y bases de datos SIG no siempre es factible.

**Captura directa de datos raster:** Las fuentes principales de captura de datos raster son la teledetección y la fotogrametría. En términos generales, la teledetección es una técnica utilizada para obtener información acerca de las propiedades físicas, químicas y biológicas de objetos sin toma de contacto directo con los mismos. La información se deriva de las mediciones de la cantidad de radiación electromagnética reflejada, emitida o dispersada por los objetos. Una serie de sensores, que operan en todo el espectro electromagnético que va desde las microondas a longitudes de onda visibles, capturan los datos de forma remota (Maguire, 1995).

Los sensores pasivos dependen de la radiación solar reflejada o emitida la radiación terrestre, mientras que los sensores activos generan su propia fuente de radiación electromagnética. Las plataformas desde las que operan estos instrumentos son igualmente diversas, aunque los satélites que orbitan la Tierra y los aviones son con diferencia los más comunes, también se emplean helicópteros, globos, mástiles, etc. Desde el punto de vista de los SIG, la resolución es la característica clave sobre la que se definen todos los sistemas que operan mediante teledetección. Hay tres componentes de la resolución: espacial, espectral y temporal, cuyos costes deben considerarse por separado y pueden constituir en sí mismos unos indicadores ampliamente decisivos para cuantificar los costes de los mismos.

Todos los sensores, así como las propiedades espaciales, espectrales y temporales de las imágenes deben supeditarse a las necesidades de almacenamiento y tratamiento de los datos, así como al ancho de banda disponible.

La misión del vuelo fotogramétrico tiene por objeto, el sobrevolar la zona a altura y velocidad constante, describiendo una serie de trayectorias (pasadas), paralelas entre sí, mediante su control de deriva, tomando fotografías de la zona de estudio. Dichas imágenes deben ser procesadas posteriormente para corregir defectos de perspectiva y proceder a su georreferenciación.

En fotogrametría deben considerarse la extensión y orografía del terreno, la escala del modelo, las especificaciones técnicas del equipo de toma de imágenes (avión, cámara, focal, recubrimiento) y la exactitud y finalidad de las tomas.

**Captura directa de datos vectoriales:** La toma directa de datos vectoriales en campo resulta crucial para la particularización de la información espacial en



pequeñas extensiones de terreno que deben ser representadas a gran escala. Estos datos pueden tomarse de forma única, o complementando y particularizando otros provenientes de otras fuentes. En ocasiones puede ser necesario realizar un levantamiento topográfico para corregir errores, indeterminaciones o inexactitudes debidas a la componente temporal de la cartografía disponible.

Tradicionalmente se ha recurrido a técnicas topográficas que consisten en la medición de ángulos y distancias sobre el terreno, lo cual permite definir una serie de puntos mediante coordenadas 3D que constituirán una representación gráfica de los elementos reales.

Para estimar el esfuerzo de esta fase es necesario considerar la escala, la orografía, el número de puntos a definir, así como el tipo de elementos (capas) que se van a medir sobre el terreno y los equipos y personal destinados a tal fin.

#### 5.2.2.4. Captura indirecta de datos

Se denomina así a la obtención de datos geográficos provenientes de otras fuentes, como mapas en papel, fotografía aérea y otros documentos. Para la obtención de datos raster se recurre al escaneado de la cartografía impresa, mientras que para la definición de los datos vectoriales es necesario proceder a la digitalización sobre tableta o pantalla.

**Captura de datos raster mediante escáneres:** Cada vez menos común por la existencia de numerosa información digital, aún se utiliza en determinados proyectos que parten de datos antiguos o mapas cuya información resulta específica y no ha sido informatizada convenientemente.

Para cuantificar el esfuerzo de la captura de datos mediante escaneado deben considerarse por separado la entrada y la salida digital de los mismos:

- **INPUT:** La cuantía de los datos en papel resulta decisiva, en tanto que mantendrá una relación directamente proporcional con la cantidad de esfuerzo empleado. Debe consignarse el formato y dimensiones de los originales, o bien una superficie de papel total que debe ser procesada. La calidad de los equipos y el número de operarios incide significativamente en el tiempo de tratamiento, especialmente cuando nos hallamos ante importantes cantidades de información, por lo que debe ser considerada igualmente.
- **OUTPUT:** La resolución de las salidas digitalizadas, directamente relacionada con el tamaño de celda de los datos raster, debe ser



considerada especialmente, pues de ella dependen los tiempos de digitalización y procesado, y puede condicionar negativamente el desarrollo del resto del proyecto.

**Captura indirecta de datos vectoriales:** La obtención indirecta de datos vectoriales supone la aplicación de dos técnicas:

- **Digitalización manual:** Es el método más simple y más barato para la vectorización de mapas. Consiste en el uso de tabletas digitalizadoras sobre mapas en papel manejadas por un operario que recorre los elementos cartográficos con un cursor que trasmite la información al ordenador. Si se trata de grandes cantidades de información, este proceso puede resultar laborioso y siempre está sometido a errores por parte del operador. Para cuantificarlo en términos de esfuerzo se deben considerar las capas de información a digitalizar, la escala y la superficie del mapa, además del número de operarios disponible.
- **Digitalización en ordenador:** A diferencia del método anterior consiste en el paso de imágenes raster a vectorial por medio del procesado automático o manual en el ordenador. Así, se parte de imágenes ya digitalizadas de la zona de estudio, que son la fuente de datos vectoriales para el SIG. La automatización del proceso agiliza notablemente el producto final, pero comete numerosos errores y debe ser supervisada pormenorizadamente. Cuando el proceso lo lleva a cabo el operador se realiza de manera mucho más lenta, pero resulta más fiable. Los indicadores de esfuerzo de esta fase podrían ser la resolución de la imagen raster, equipos, extensión y escala, así como las capas a vectorizar y el número de puestos (ordenadores) destinados a tal fin.

#### 5.2.2.5. Software

En este apartado debe considerarse el tipo de software empleado en el SIG, entendiendo como tal el encargado de la gestión integral de la información, concepto que trasciende al de los SGBD anteriormente citados, ya que implica la capacidad de tratamiento de la topología y supone el entorno de relación del usuario con el sistema.

En el mercado existen numerosas soluciones de software para Sistemas de Información Geográfica, que pueden ser útiles para proyectos de poca envergadura o escasa especialización, pero si se trata de desarrollos de un cierto calado, es necesario recurrir al desarrollo del software, bien sobre los propios programas comerciales, que ofrecen esta posibilidad, o bien partiendo desde cero, obteniendo



un producto realmente adecuado a las necesidades del proyecto, pero en ocasiones más costoso. Si nos referimos a este segundo caso deben considerarse las técnicas de estimación de esfuerzo en desarrollo de software, de las que existe abundante literatura y que no son objeto específico del presente estudio.

#### 5.2.2.6. Hardware

El hardware se adquiere de forma proporcionada a las necesidades de procesamiento y almacenamiento de los datos del proyecto, así como de las características logísticas del sistema (número de servidores, clientes, etc.). Se trata de un coste directo que puede ser presupuestado con cierta facilidad, por lo que no procede estimar su esfuerzo.

#### 5.2.2.7. Personal / Usuarios

**Personal técnico:** Un sistema de información no tiene sentido si no se trabaja de forma organizada, en una entidad o empresa, bien sea de carácter público o privado. En este sentido, como hemos visto previamente, cualquier planteamiento sobre el coste de la utilización de los SIG, como herramienta informática de apoyo, debe hacerse considerando previamente, los objetivos empresariales, los procesos de producción y distribución de los bienes o servicios fabricados y el personal que interviene en los mismos. En este apartado vamos a obviar asuntos fundamentales como la manera de gestionar la empresa, cuyas características concretas serían decisivas para imaginar el papel que los Sistemas de Información Geográfica jugarían en la mejora de su organización y productividad, para centrarnos, exclusivamente, en aquellos aspectos relacionados con el manejo de la herramienta.

El personal técnico que trabaja con los SIG, como factor humano del proceso de manejo y gestión de la información geográfica, constituye un elemento clave en el buen funcionamiento de un proyecto de investigación, realizado con este tipo de herramientas. El fuerte desarrollo experimentado por los SIG, durante los años, ha permitido que sean muchos los profesionales de diversas especialidades que se han incorporado a su utilización. Cualquier problemática de base espacial, y son muchas las que se han agregado, al respecto (geomarketing, establecimiento de rutas óptimas, planificación y ordenación del territorio, gestión del catastro, etc.), viene empleando, con éxito, esta herramienta informática en sus tareas cotidianas. (Preciado, 2004)

El equipo que desarrolla un SIG debe ser multidisciplinar, en consonancia con las exigencias de determinadas problemáticas, entre ellas, el tratamiento del medio ambiente, que requieren de la consideración de una amplia variedad de



enfoques e interpretaciones. “Fundamentalmente, cabe distinguir dos grupos de personas: los consultores, que son los que encaminan del sistema hacia su objetivo final y los especialistas o técnicos especializados en la parte informática. Los consultores forman siempre un grupo heterogéneo de especialistas: geógrafos, urbanistas, abogados, ingenieros, biólogos, etc., todos en función de las necesidades de cada proyecto. Es fundamental una buena comunicación entre los consultores y los especialistas SIG, para desarrollar sistemas reales y útiles, centrados en la solución y no en el problema. Cuando esa comunicación se produce bidireccionalmente, los especialistas SIG, comprenden el objetivo real del proyecto y los consultores se hacen partícipes de los problemas técnicos que puede suponer una idea en marcha. El resultado final mejora notablemente” (Hoyuela Jayo, A., 2003).

**Gastos de formación del personal:** Estas circunstancias han favorecido, sin duda. La expansión del fenómeno SIG y la necesidad de formación de profesionales que se adapten a las necesidades del mercado. La formación específica de expertos, en el manejo de SIG, ha estado vinculada, tradicionalmente, a las universidades. Un buen ejemplo de ello es el avance experimentado por la universidad española, en materia de formación. Durante la segunda mitad de la década de los años noventa, del pasado siglo, a través de la reforma de los planes de estudio, se han incorporado un conjunto de asignaturas de nuevo cuño, relacionadas con el tratamiento y gestión de la información espacial. Solo en el campo de la Geografía, han aparecido materias que no formaban parte del desarrollo curricular anterior, como “Evaluación del Impacto Ambiental”, “Sistemas de Información Geográfica”, “Aplicaciones de la Informática al análisis geográfico”, “Aplicaciones Geográficas de la Teledetección”, etc. Este tipo de materias ponían el acento en la utilización de la tecnología informática en el tratamiento, tanto de la problemática tradicional, como en nuevos problemas de carácter territorial y medioambiental. Por lo que se refiere a la enseñanza de los SIG, las titulaciones de geografía y topografía fueron las primeras en incluirla en sus planes de formación, aunque, con posterioridad, otros estudios, como Agronomía, Forestales, Montes, Geodesia, Ciencias Ambientales, Biología, Arqueología, etc., los han incorporado a su currículum particular.

El éxito de la implantación de los estudios de SIG, entre otras herramientas de planificación y gestión del territorio, ha estado avalado por la incorporación de muchos de estos profesionales en el ámbito laboral, especialmente en empresas dedicadas a la planificación y ordenación del territorio, estudios de mercado, etc., y sobre todo en el ingreso de los diferentes escalones de la administración pública, la implantación de los Sistemas de Información Geográfica en gran número de departamentos y servicios municipales y regionales han servido para mejorar las múltiples tareas, de carácter territorializado, que es necesario acometer desde un



organismo de estas características: realización de inventarios de bienes y servicios, definición de rutas óptimas en caso del tráfico, prevención de incendios, elaboración de planes de ordenación urbana, localización de nuevos equipamientos, protección de espacios de interés ecológico, etc.

La formación de los profesionales en el manejo de los SIG se ha ampliado al ámbito de la empresa privada. Cada vez es mayor el número de empresas que han creado cursos de especialización en el tratamiento de la información geográfica. Estos cursos presentan un carácter variado, de acuerdo al tipo de personal que se pretende formar. Así, en un primer nivel formativo, podríamos distinguir aquellas ofertas dirigidas a la formación de usuarios que manejen, de manera más o menos automática, las operaciones fundamentales de este tipo, de sistemas: entrada, edición, corrección, gestión de la información, análisis de los resultados, etc. A un nivel superior, deberíamos considerar la formación dirigida a los profesionales de mayor rango que se diferencian por su capacidad de toma de decisiones, debido a su conocimiento de la materia de que se trate, a los que se intenta formar en el conocimiento general del funcionamiento de los SIG, ya que no intervendrán en los procesos de gestión directa de la información y si en los de dirección de los proyectos a realizar. Finalmente, interesa considerar la formación del personal especializado, que interviene en la elaboración de procedimientos métodos y algoritmos, lo que supone la implementación de metodologías complementarias, no siempre disponibles en los SIG comerciales.

**Los métodos de trabajo:** Por “métodos” nos referimos a los procedimientos necesarios para emprender las diferentes tareas implicadas en el diseño, creación y funcionamiento de un SIG. Los métodos de trabajo deben aplicarse en cada una de las fases de la articulación de un Sistema de Información Geográfica. De esta manera, existirían procedimientos específicos para el diseño de la base de datos para la manipulación, para la definición de las operaciones a realizar son el software del SIG, en el planteamiento de modelos o algoritmos matemáticos externos que complementen las posibilidades de cálculo, en la operación de trasvase de la información entre el SIG y los módulos externos para la representación visual de los resultados, etc. La organización del funcionamiento del SIG requiere del planteamiento y solución de múltiples problemas, que tienen que ver con la lógica propia del sistema, pero, también, con la capacidad del personal técnico que maneja los SIG para idear e implantar los métodos necesarios para que el sistema funcione de manera interrelacionada, eficaz, rápida y al menor coste posible.

La clave del éxito de un proyecto SIG tiene mucho que ver con el diseño de un método de trabajo que permita una perfecta definición de cada una de sus partes, así como una relación fluida entre los diversos elementos que integran el



mismo. La elaboración de un proyecto de trabajo con SIG habilita para concebir, racionalmente y de la forma más fructífera posible la concreción del método de funcionamiento del sistema. Un método es la forma de estructurar las acciones a realizar en la puesta en funcionamiento de un proyecto concreto. En este sentido, merece la pena diferenciar el método en sí, como esquema o ida general, de los pasos a acometer, de las técnicas o procedimientos, que, generalmente se refieren a algoritmos de software que permitan la realización de acciones automáticas. Estos últimos consisten, en un SIG determinado, en los modelos disponibles en el sistema informático, que pueden ser aplicados de forma mecánica. Sin embargo, por encima de esta utilidad, más o menos automática, debe pensarse en la multitud de tareas a realizar para llevar a buen puerto un proyecto de trabajo: como obtener la información; como organizarla en una base de datos coherente; que fases operativas van a realizarse con las capas de información disponibles; que modelos o algoritmos complementarios confeccionar, ajenos al SIG ( o construidos a partir de sus modelos operativos); como evaluar los resultados obtenidos en cada fase del proyecto, etc. (Preciado, 2004)

### 5.3. Fase de estimación

La estimación del tamaño y del esfuerzo resultan especialmente importantes en la planificación de un proyecto. Para apoyar esta difícil tarea, se han desarrollado varios métodos que han encontrado aceptación comercial en forma creciente en la planificación del desarrollo de software.

Se trata, pues, de técnicas típicas de estimación de esfuerzos en proyectos de software, que en el caso de los SIG deben ser adaptadas para considerar las componentes e indicadores definidos en la fase anterior.

En esta fase, quizás la más importante y decisiva del modelo se proponen una serie de itinerarios de procesos tipo que definen este clase de proyectos de forma general pero específica, buscando el detalle en los cinco componentes de todo Sistema de Información Geográfica a través de los elementos que se han caracterizado en la fase anterior.

A continuación se definen los mapas de fases de procesos correspondientes las componentes espacial y alfanumérica, y sus particularidades, como parte fundamental de la metodología propuesta para encuadrar los indicadores en un contexto de desarrollo SIG habitual.

### 5.3.1. Fases para datos espaciales

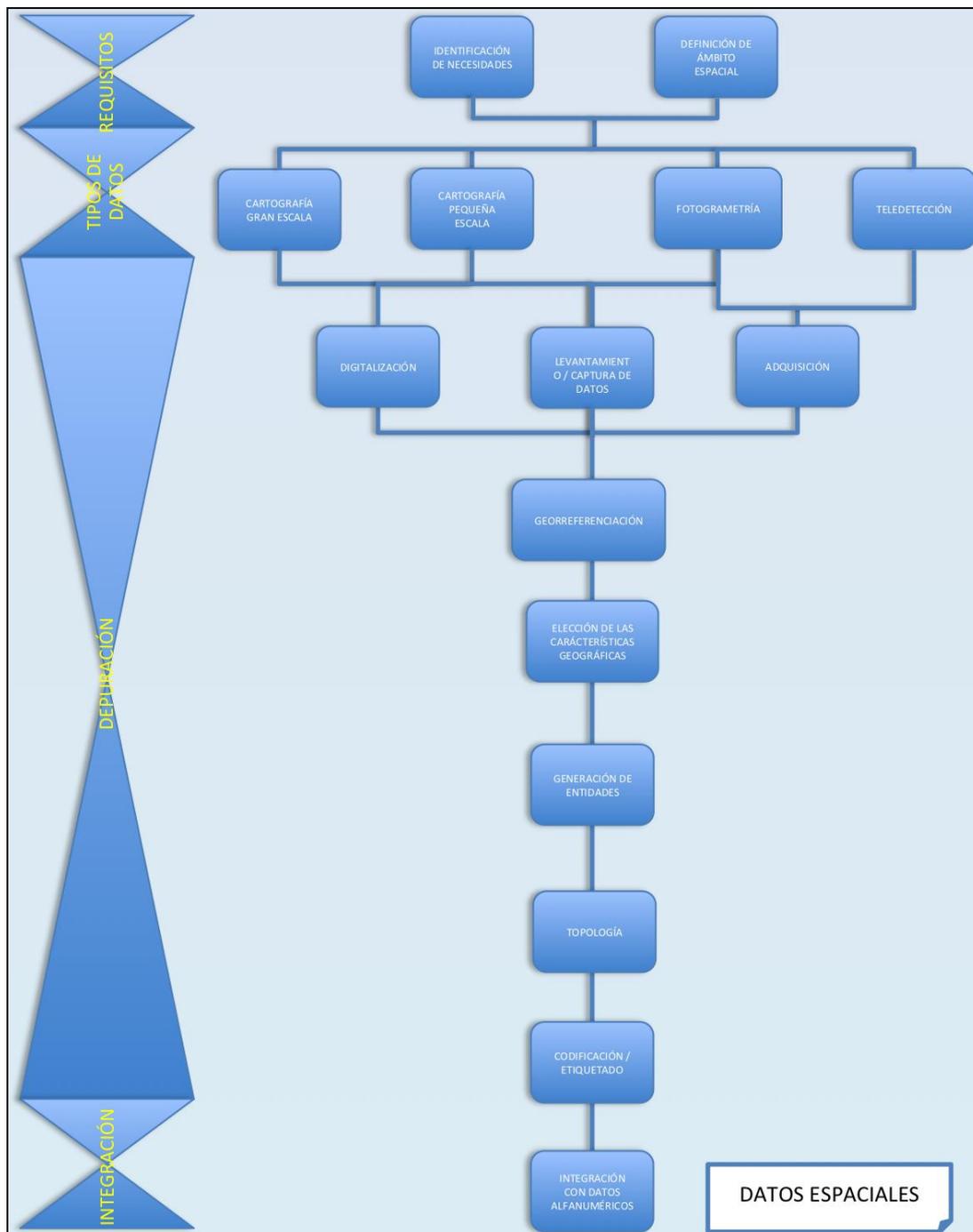


Figura 4: Mapa de fases para datos espaciales

La figura 4 define un mapa de fases que sintetiza las componentes caracterizadas en la fase anterior, atendiendo a un flujo de trabajo estándar para la incorporación e integración de los datos espaciales al proyecto.



En una primera diferenciación por niveles podemos distinguir cuatro grandes bloques:

**Requisitos:** Este nivel representa la fase inicial en la que se define la zona de actuación, así como las necesidades y requisitos que presenta el proyecto respecto a la misma.

- Identificación de necesidades: Todo proyecto surge como respuesta a una necesidad, que condiciona el desarrollo del mismo. Las necesidades de un sistema de Información Geográfica se traducen directamente en una referencia a los datos espaciales objeto de estudio, por ello, en fases iniciales debe concretarse positivamente lo que se desea hacer sobre esa base, el tipo de análisis buscado, el producto de salida que ofrecerá y el modo en el que el usuario interaccionará con ella.
- Definición de ámbito de actuación: Los datos espaciales están, lógicamente, limitados por la extensión de la zona a la que se refieren. Es un SIG hay que concretar y definir esta extensión geográfica desde un primer momento, así como la escala de trabajo, capas de información y el resto de propiedades cartográficas inherentes a la misma; pues el sistema se referirá a ella constantemente y condicionará de manera decisiva la arquitectura de la aplicación, la estructura de los datos no espaciales y la finalidad intrínseca del proyecto en su totalidad.

**Tipos de datos espaciales:** Este nivel resulta crítico en materia de costes, pues determinarán de forma directa una gran parte del presupuesto del proyecto.

- Cartografía a gran escala: Por “gran escala” entendemos las bases espaciales cuya escala resulta mayor de 1:100.000. En consonancia al nivel de detalle que se aplique y en conjunción con los parámetros definidos en el nivel anterior, su utilización requerirá de un gasto mayor cuanto más extensa sea la zona, más información espacial transmita y mayor sea la escala referida.

*Factores de esfuerzo: Extensión y escala de la zona, volumen de información.*

- Cartografía de pequeña escala: Sometida a mayores generalizaciones de información, en principio su coste resulta mucho menos que el de la cartografía a gran escala, pero si la extensión del terreno y los datos subyacentes son muy abundantes es probable que requiera de un gran esfuerzo. Aunque su adquisición no plantea, a priori, la realización de



trabajo de campo, sí que puede resultar necesario como elemento complementario de parte de los datos del sistema, por lo que no se puede descartar completamente.

*Factores de esfuerzo: Coste de adquisición, información espacial, extensión y escala.*

- **Teledetección:** Las imágenes de satélite deben ser adquiridas por el organismo competente, su coste dependerá directamente del precio de mercado en función de las características requeridas, como la resolución y el espectro; y de la extensión espacial que deseamos cubrir.

*Factores de esfuerzo: Coste de adquisición, resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal, extensión y escala,*

- **Fotogrametría:** En el caso de que el vuelo fotogramétrico no se adquiriera directamente y se decida realizar una toma de la zona del proyecto, en la estimación de horas de producción de la misión de fotografía aérea deben considerarse muchos factores, incluyendo mano de obra y alquiler de equipos. A pesar de que estos elementos importantes tienden a ser subjetivos, deben ser considerados de la forma más objetiva posible. Los gastos generales y el beneficio para las empresas de mapeo fotogramétrico legítimamente pueden ser mayores que los de muchas empresas de ingeniería aledañas. Como se dijo anteriormente el mantenimiento y actualización de equipos, así como el personal necesario para su funcionamiento y mantenimiento, son caros. La fotografía aérea y los estudios sobre el terreno se ven a menudo afectados por el clima y el acceso al lugar del proyecto, por lo que el riesgo puede ser mayor que para algunos proyectos de diseño. Por lo tanto, los márgenes de beneficio pueden ser mayores que los relacionados con proyectos de diseño. Se plantea la vigilancia de los siguientes aspectos:

### **Compilación fotogramétrica**

Para obtener información específica del procesado, han de ser calculados, estimados o medidos los siguientes elementos para ayudar en los costes de procesado relativos a la cartografía digital:

1. Número de modelos estereoscópicos a orientar
2. Dimensión del espacio a cartografiar



3. La complejidad de la orografía del terreno
4. La complejidad de los requisitos planimétricos
5. Formatos finales de los datos digitales

### **Equipo**

El hardware y el software auxiliares relacionados con las operaciones de varios miembros del personal son también elementos importantes en los costes a considerar. Los equipos como los aviones, cámaras, restituidores y escáneres pueden ser muy costosos. El director del proyecto debe consultar a otros que han tenido un trabajo similar terminado recientemente de los costes por hora de estos artículos.

**Depuración:** En este nivel los datos espaciales se depuran y se adecuan a los requisitos del proyecto, se trata de un conjunto de fases cruciales que deben culminar con la integración de la parte geográfica en el SIG. Las tareas a llevar a cabo en este nivel son numerosas y constituyen buena parte del desarrollo del proyecto, y dependerán de la magnitud del mismo y del estado inicial de los datos que se deben procesar.

- Generación de entidades: Las entidades, entendiendo como tales las últimas de las unidades geográficas jerarquizadas con vínculo en datos alfanuméricos, deben definirse en esta fase. Esta fase consiste en dar homogeneidad de conjunto al mapa, depurando errores, clasificando por capas de información y dotando al conjunto de cierta “limpieza” y orden en cuanto a datos. El esfuerzo empleado en esta tarea depende una vez más del estado previo de la cartografía y de la magnitud de los datos a vincular. No resulta el mismo coste si se utiliza una base cartográfica proveniente de otro sistema, en la que ya se habrán definido buena parte de las entidades más corrientes, que si estamos antes datos espaciales de nueva adquisición y debemos adecuar las entidades desde un principio.

*Factores de esfuerzo: Número de entidades, tipología, calidad general de la base cartográfica.*

- Elección de las características: Toda entidad cartográfica posee una serie de propiedades y características que la identifican como tal. En un



proyecto de esta índole, basado en la concordancia entre datos alfanuméricos y espaciales, debemos concretar claramente las definiciones de las entidades que se van a implementar. Por ejemplo, es posible que las entidades de tipo área supongan una multiplicidad de parámetros en diversas capas, si lo que buscamos es un SIG que nos permita gestionar las fincas por su rango de pendiente, resulta primordial atender en el sistema la propiedad “pendiente”, y disponer las entidades de forma acorde a la misma. El esfuerzo de esta fase suele ser menor, ya que a veces se realiza de forma conjunta con la anterior, y el software actual permite referir las características de la cartografía de forma semi-automática, siempre que posea la adecuada consistencia.

*Factores de esfuerzo: Volumen de información, tipología de entidades.*

- Topología: Con este término denominamos a las relaciones entre las entidades que componen un mapa. Nuevamente esta fase depende de la coherencia y la calidad de los datos, y puede ser una tarea menor si las fases anteriores se han completado con cierto rigor y las necesidades del sistema no implican excepciones o soluciones excesivamente complejas.

*Factores de esfuerzo: Coherencia de los datos, calidad de las fuentes espaciales.*

- Georreferenciación: En principio con las técnicas actuales disponibles de generación cartográfica, esta fase es casi simbólica, dado que si ya tenemos una base consistente las propiedades cartográficas inherentes ya suponen una adecuada georreferenciación. La excepción puede encontrarse en el caso de la realización de exhaustivos trabajos de campo con nula información de coordenadas cartográficas de partida, lo cual obligará a la búsqueda de bases que permitan la transformación de coordenadas necesaria para obtener una adecuada georreferenciación. El mayor trabajo en este aspecto puede darse en el caso de la realización de vuelos fotogramétricos de amplias zonas que parten desde cero, lo que implica el establecimiento de una red de puntos de control y el cálculo de aerotriangulaciones, dando lugar a cargas de trabajo considerables, constituyendo incluso un proyecto independiente del resto.

*Factores de esfuerzo: Integridad de la base de datos espacial.*



- Codificación y etiquetado: Una vez se posee una base cartográfica sólida, se han verificado las propiedades topológicas y las entidades, así como la consistencia de la misma, debe codificarse la información con la intención de ligar los indicadores espaciales a la parte de datos alfanuméricos que los relacionará. Por ejemplo, para un SIG que gestionará un camping, deben asignarse los identificadores a cada parcela, pudiendo así integrarlas en la base de datos que gestionará su estado (disponible, en malas condiciones, ocupada...) dentro del SIG. El esfuerzo, por tanto depende de la complejidad de los datos y de la magnitud de la base de datos a relacionar.

*Factores de esfuerzo: Complejidad de datos, estructura de la base de datos, volumen de información.*

- Integración: Como paso final en cuanto a la componente espacial del Sistema de Información Geográfica se realiza la integración de la base de mapas en el sistema. Esta tarea como tal está interrelacionada con las inmediatamente anteriores y en algunos casos resultará difícil de aislar, pero posee varias peculiaridades que justifican su existencia como tal, dado que hasta ahora se ha tratado sobre las propiedades intrínsecas espaciales y su relación con el resto de datos, pero aquí se considera también el sistema en su totalidad. Esto implica nuevos factores relativos a la usabilidad final por parte del usuario, jerarquía y disposición de los subsistemas e incluso el interfaz de las aplicaciones finales. Todo ello supone un reto importante en esta fase, en la que la cartografía debe encajar de forma precisa, puesto que la falta de una correcta adecuación puede comprometer al sistema de forma crítica. Estamos, por tanto, ante un apartado crítico cuyo esfuerzo puede llegar a ser significativo.

*Factores de esfuerzo: nivel de jerarquización, claves primarias, entidades, interfaz, outputs.*

### 5.3.2. Fases para datos alfanuméricos

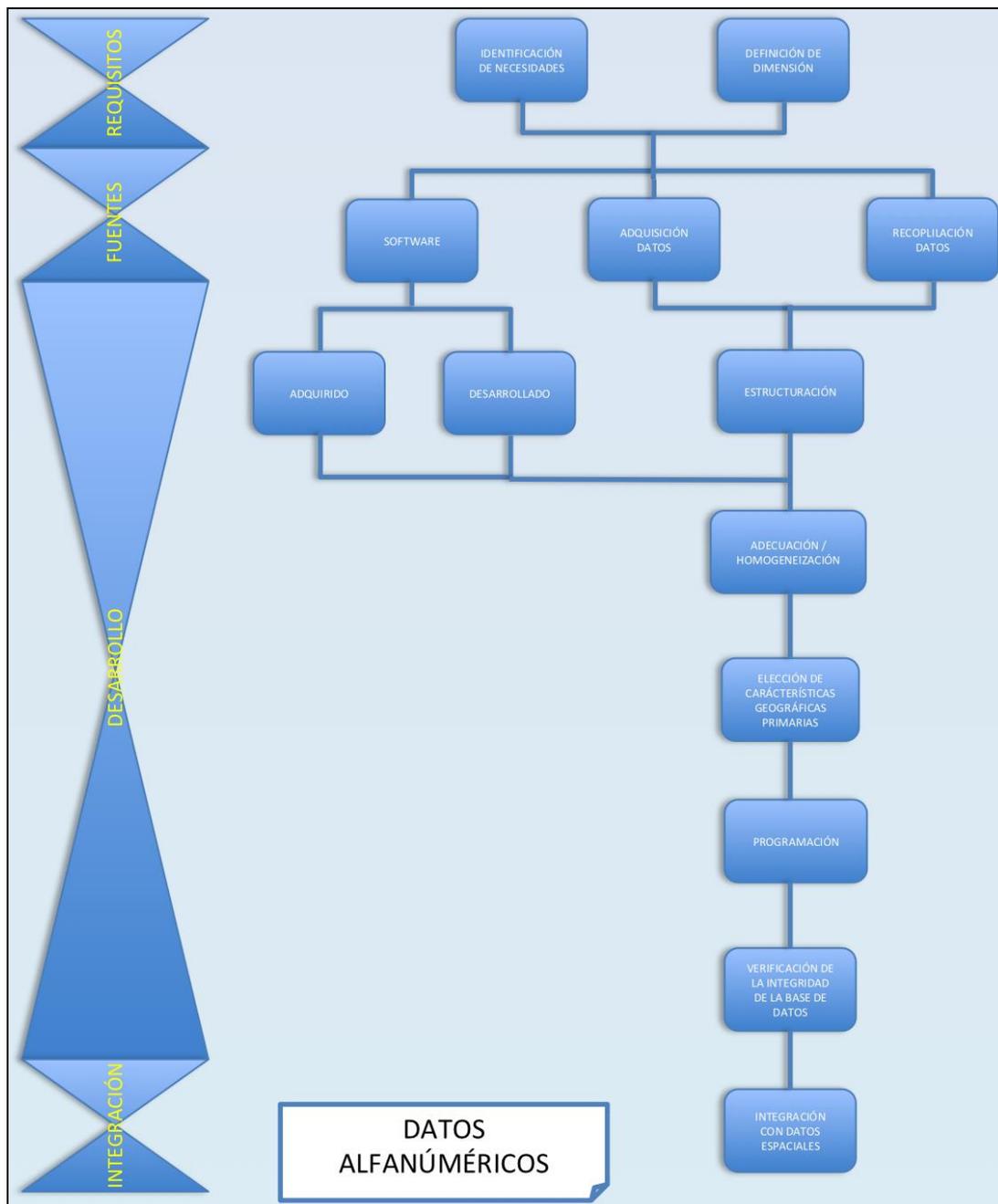


Figura 5: Mapa de fases para datos alfanuméricos

**Requisitos:** De forma análoga a los datos espaciales, este nivel representa la fase inicial en la que se definen las necesidades y requisitos que presenta el proyecto respecto a la misma, lo cual condiciona directamente la dimensión del sistema.



- -Identificación de necesidades: La función principal de un Sistema de Información geográfica consiste en gestionar determinados volúmenes de información vinculada a propiedades espaciales, por lo que surge como herramienta destinada al tratamiento de datos sobre los que se plantean una serie de necesidades determinadas.
- -Definición de dimensión: Fase interrelacionada con las necesidades, en general supone una condición decisiva para el alcance, los involucrados, plazos y costes; a efectos de datos alfanuméricos está directamente relacionada con la magnitud y la complejidad de la base de datos que compondrá el SIG.

**Fuentes:** Este nivel comprende las referencias al origen de los datos y al Sistema de Gestión de Bases de Datos (SGBD). En este apartado se toman los datos de forma bruta, bien sea mediante recopilación de los mismos, en el caso de que el futuro usuario del SIG ya posea la información en propiedad o un modo de obtenerla mediante sus propios medios, bien sea por medio de la adquisición directa de la información a terceros.

- Software (SGBD): La elección del SGBD dependerá completamente del tipo de datos que deberá gestionar, las necesidades y el presupuesto del proyecto. Así, puede optarse por la adquisición o por el desarrollo, si bien estas opciones no son excluyentes pues resulta muy común la compra de una licencia de software comercial sobre la que posteriormente se realizan desarrollos que optimizan el sistema y lo armonizan con el resto de componentes.

*Factores de esfuerzo: Relación entre adquisición y desarrollo, complejidad de la base de datos, funciones.*

- -Adquisición de datos: El esfuerzo vendrá definido por el coste de la información, no procede realizar proceso de estimación.
- -Recopilación de datos: Esta fase incluye el proceso de identificación, colección y almacenamiento de la información que gestionará el sistema. En el caso de requerir trabajo de campo, hay que contemplar el esfuerzo adicional que supone.

*Factores de esfuerzo: Volumen de datos, horas de indexación.*

**Desarrollo:** El tercer nivel a considerar en el proceso de consolidación de la componente de bases de datos alfanuméricas comprende la adecuación,



estructuración y demás fases “constructivas” que concluirán con la integración de la información con la base cartográfica dentro del sistema. A efectos de esfuerzo la importancia de este nivel resulta crítica pues como continuación de los anteriores y de forma proporcional a estos, el volumen de trabajo puede suponer una parte decisiva del total del desarrollo.

- Creación de la estructura: En esta fase se crean las tablas (bases de datos relacionales), índices, claves primarias y se jerarquizan de forma que se componga una estructura adecuada para recibir los datos ya compilados es al fase anterior.

*Factores de esfuerzo: Complejidad datos, número de categorías, naturaleza de la información.*

- Adecuación y homogeneización: La integridad de los datos debe ser contrastada para permitir la funcionalidad del proceso de gestión del sistema. Hasta este momento poseemos gran cantidad de información, hemos definido la estructura del sistema que la soportará y tenemos claras las necesidades que exigiremos al proyecto; pero este volumen de datos debe ser depurado y proyectado en un ámbito coherente con la infraestructura que estamos creando. El esfuerzo estimado para desarrollar esta tarea está en clara relación con el índice de heterogeneidad funcional de los datos, entendiendo como tal una cuantificación del grado intrínseco de diversidad de la adecuación de la información.

*Factores de esfuerzo: Heterogeneidad funcional de datos.*

- Elección de características geográficas primarias: En paralelismo con la fase homónima del conjunto de datos cartográficos, la búsqueda de las propiedades espaciales supone encontrar una serie de nexos de unión entre ambas componentes que permitirán su integración y su conexión en el sistema. En el caso de datos simples puede resultar una tarea sencilla pero en estructuras complejas requerirá una elaborada planificación y un esfuerzo significativo.

*Factores de esfuerzo: Complejidad de los datos alfanuméricos, complejidad de los datos espaciales, volumen de datos.*

- Programación: Como se ha indicado anteriormente hasta el más pequeño de los proyectos SIG puede necesitar el desarrollo de algoritmos ad hoc para cumplir los requisitos específicos y funcionales que necesitará el usuario. Nos hallamos ante una fase que no



necesariamente debe seguir el flujo lineal propuesto, pero que sí depende de las restantes, especialmente de la estructura de los datos. El esfuerzo estimado debe estar en relación con la funcionalidad adicional exigida.

*Factores de esfuerzo: Funcionalidad interna, funcionalidad externa.*

- Verificación de la integridad de la base de datos: Como fase final del proceso relativo a esta componente se debe verificar el trabajo realizado mediante test sobre datos piloto que garantizarán la integridad y solidez de estructura y datos. El esfuerzo correspondiente a este apartado está estrechamente relacionado con el resultado de las pruebas de fiabilidad a las que se debe someter el subsistema, por lo que se propone como indicador de estimación el porcentaje relativo de errores obtenidos respecto al volumen total de datos.

*Factores de esfuerzo: Errores relativos/ total de datos.*

- Integración con datos espaciales: Esta fase es la misma que la definida para el caso de los datos espaciales, por lo que el esfuerzo estimado será conjunto.

*Factores de esfuerzo: nivel de jerarquización, claves primarias, entidades, interfaz, outputs.*

## 5.4. Fase de integración

Hemos definido esta fase como aquella en la que se sintetizan y adecuan a la totalidad del Sistema de información Geográfica las técnicas de estimación empleadas anteriormente sobre la base de componentes.

De este modo, teniendo en cuenta los resultados de la estimación de esfuerzo por componentes realizada en la fase anterior se puede obtener un valor global de esfuerzo para cada proyecto, así como una estimación del coste del mismo.



## 6. Resultados de la aplicación del modelo de estimación

---

Para la validación de la metodología propuesta se requiere información en detalle de datos relativos a múltiples proyectos de diverso tamaño, que permita comparar los resultados obtenidos en la estimación con los reales alcanzados en la ejecución posterior. Resultaría conveniente por tanto disponer de un conjunto de datos de proyectos SIG de redes lo más pormenorizado posible para garantizar la diversidad de características y la consistencia de la metodología.

En ausencia de extensas recopilaciones de datos referentes a una amplia gama de Sistemas de Información Geográfica referentes a la gestión de redes de agua y saneamiento, limitación impuesta por la magnitud del presente trabajo, se ha optado por definir un sistema genérico de saneamiento basado en las características más comunes de este tipo de desarrollos, sobre el cual se aplica la metodología de estimación.

No se busca, por tanto, una presupuestación exhaustiva del coste de implementación de un proyecto determinado, sino de comprobar la adecuación del método al fin propuesto, como paso previo a un estudio de mayor extensión a desarrollar en el futuro en el que se contaría con datos reales sobre un número significativo de SIG de redes ya ejecutados.

### 6.1. Caracterización del caso tipo

Esta fase descriptiva del caso de aplicación constituye en sí misma la primera parte de la metodología propuesta, la fase de caracterización, si bien no ofrece importantes niveles de detalle pormenorizado, lo cual no sería apropiado dado que se trata del primer caso de estudio que se enfrenta al método de forma general para evidenciar su valía o disconformidades. Los resultados obtenidos a partir de este “test primario” deben permitir la realización de nuevos estudios que incorporen las conclusiones y las correcciones obtenidas.

Así, se describe a continuación un caso estándar de implementación de un Sistema de Información Geográfica para la gestión de redes de saneamiento de un municipio urbano de población estimada en 50.000 habitantes con una red de drenaje de una longitud aproximada de 50 Km, particularizando y escenificando las generalidades ya expuestas en el apartado anterior.



Se trata de un escenario en el que un municipio posee gran cantidad de información relativa a su red de saneamiento en formato no digital, dispersa, inexacta y plagada de errores. Ante la pretensión de habilitar un adecuado sistema de gestión informática se detectan numerosas carencias documentales que además se agravan ante los cambios acontecidos en la mejora de la red en los últimos años que ya están en diversos formatos digitales pero no han sido integrados ni incluidos en los datos ya existentes.

El tamaño del sistema de drenaje urbano de cualquier ciudad, está constituido por cientos de kilómetros de colectores y alcantarillas y decenas de miles de pozos e imbornales, que inevitablemente hacen que la gestión tradicional mediante mapas en papel sea imposible. Se hace por tanto imprescindible la puesta en marcha de sistemas avanzados de gestión que sean capaces de manejar la ingente cantidad de información espacial relacionada con la red de tal forma que se facilite la detección de las deficiencias existentes en la misma y, por tanto, orientar en la priorización de las inversiones.

Deben ser las necesidades particulares de cada ciudad las que determinen las características de dicho sistema y su grado de aplicación. En cualquier caso, este sistema avanzado de gestión debe estar basado en tres pilares fundamentales (Gutiérrez, 1995):

**Conocimiento del sistema:** No es posible la gestión de un sistema sin tener un conocimiento en profundidad de sus características. El conocimiento incluye por un lado las características de precipitación y usos del suelo (necesario en el ámbito de la hidrología urbana), y por otro la tipología, localización y características del estado y operación de cada uno de los elementos que constituyen la red, desde el más simple de los imbornales hasta la más compleja estación de bombeo (necesario para su modelación hidráulica).

**Modelación:** El gestor debe poder conocer cómo opera la red de colectores en cada punto para diferentes escenarios de precipitación, así el planificador podrá mejorar sus actuaciones y planes de inversiones.

En este sentido es necesaria la utilización de modelos adecuados y perfectamente calibrados, de tal forma que sus resultados reflejen con precisión la situación real.

**Control en Tiempo Real:** Estos sistemas tradicionalmente eran pasivos, en los que las descargas al medio receptor se producen descontroladamente. Dado el impacto ambiental de estas descargas, es de desear que el sistema implemente un módulo de control en tiempo real. El conocimiento previo de la red y el uso de



modelos que representen adecuadamente el funcionamiento del sistema serán piezas básicas de este control.

### 6.1.1. Componentes del Sistema

Descritos en páginas anteriores, se citan ahora de un modo más concreto los correspondientes al sistema propuesto.

**Datos:** Una única Base de Datos conteniendo información gráfica, tabular y relacional. Los datos son compartidos por todos los usuarios del sistema.

**Administrador del Sistema:** Se propone ArcInfo de ESRI como software sobre el que se implantar el sistema, dada sus amplias capacidades de gestión y la estandarización que ha supuesto la generalización de su uso. Precisa de un equipo informático de gran potencia con sistema operativo Unix. Desde este puesto de trabajo se puede realizar cualquier tipo de modificación de la Base de Datos, por lo que únicamente es accesible para el personal especializado encargado del mantenimiento de la información.

**Usuarios:** Son los puestos de trabajo desde los que se realiza la explotación de las funcionalidades del sistema. Cada uno de estos puestos de trabajo se implementa sobre un PC de características adecuadas, existiendo diversos niveles de acceso a la información. El software propuesto para que los usuarios puedan acceder a la Base de Datos es Arcview. En este entorno sólo pueden modificarse determinadas tablas de atributos, mientras que las modificaciones de la información gráfica deberán realizarse directamente desde ArcInfo.

**Interface de Usuario:** Es la forma que adopta Arcview como medio de comunicación entre el operador y la Base de Datos. Las peculiaridades de un interface para un SIG de redes han sido descritas en el apartado anterior.

Para llevar a cabo este proyecto, el elemento crítico es la información sobre la red. Es necesario disponer de datos de colectores, alcantarillas, pozos de registro, imbornales y todos aquellos elementos que componen la red de la ciudad. Esto plantea graves problemas debido a la variedad de información que es necesario recopilar de forma coherente y lógica para que pueda ser consultada de forma sencilla por el usuario.

Por otro lado, la concepción de la base de datos como un elemento fácilmente actualizable permite incluso la total funcionalidad del sistema aunque no esté introducida toda la información, de manera que conforme ésta esté disponible, la base de datos vaya siendo actualizada. De esta forma el sistema está



operativo desde el momento en que se introdujo el primer dato, y no al finalizar la tarea de recopilación de información; tarea que por otro lado no tiene un punto final en el tiempo, ya que la red de cualquier ciudad sufre continuas modificaciones y ampliaciones (Francés García, 1997).

### 6.1.2. La base de datos

Como se ha detallado anteriormente, el corazón del SIG es la base de datos, en la cual reside toda la información de la red de una forma estructurada y coherente para que pueda ser realizada cualquier consulta de manera sencilla, rápida y eficiente. Dicha información está almacenada en las tablas, las cuales están relacionadas por medio de la arquitectura que proporciona el SIG: bien con la información gráfica referenciada geográficamente, o bien con otras tablas que a su vez están relacionadas con los elementos gráficos.

Dentro de la base de datos de redes es necesario crear una cobertura o capa que recoja cada uno de los elementos que componen la red de drenaje. Estas coberturas recogen tanto la información gráfica como la información alfanumérica asociada contenida en las tablas de atributos correspondientes.

Todas las tablas, y por tanto las coberturas, quedan unidas entre sí gracias a la estructura relacional que proporcionan los SIG, que permite trabajar conjuntamente con elementos de la red de tipología distinta (por ejemplo, al seleccionar un colector se seleccionan automáticamente sus pozos de registro) gracias a una codificación única de cada colector que se repite en todos los demás elementos de la red que se relacionan con el mismo (pozos, compuertas, imbornales, etc.).

Se han clasificado todos los posibles elementos de una red de alcantarillado en tres categorías: lineales, puntuales y espaciales:

**Elementos lineales:** Se consideran como elementos lineales aquellos que pueden ser representados de forma abstracta por una línea dentro de la cartografía digitalizada:

El principal elemento lineal es, lógicamente, el colector o alcantarilla. Realmente se ha diferenciado entre tramo de colector y colector. Se considera como tramo de colector el limitado por dos pozos de registro, mientras que un colector queda definido por la unión de tramos consecutivos con un mismo código de colector. Los colectores sirven para definir subjetivamente las grandes cuencas vertientes de la ciudad y han sido definidos previamente por el ayuntamiento.



La información que se recoge en la base de datos para cada tramo de colector es la siguiente:

- Código de colector.
- Tipo de tramo (uniforme o transición).
- Longitud.
- Cotas de inicio y final del tramo.
- Pendiente.
- Tipo de conducción (de aguas negras, de pluviales o unitaria).
- Sección (circular, rectangular o irregular). Para secciones irregulares se acompaña su descripción.
- Altura y anchura máximas de la sección.
- Material.
- Caudal en régimen uniforme y a sección llena.
- Imagen asociada para secciones irregulares.
- Otros elementos lineales que se pueden incluir son los sifones y emisarios submarinos.

**Elementos puntuales:** Se entiende por elemento puntual aquel que puede ser representado gráficamente en los planos por un punto. Existen dos elementos puntuales de especial importancia dentro de la red de saneamiento, debido principalmente al número de unidades existentes. Se trata de los imbornales y los pozos de registro.

Los pozos de registro son elementos que se colocan en los cambios de dirección, pendiente o sección de los conductos, facilitando el acceso a las tuberías para su limpieza, inspección o mantenimiento. La información existente en la tabla de atributos asociada es la siguiente:

- Código de colector.
- Localización (nombre de la calle en la que está situado).
- Tipo de pozo (existencia o no de un cambio de sección).



- Diámetro de la trapa y dimensiones interiores.
- Cota de la trapa y profundidad del pozo.
- Altura de sedimentos.
- Existencia y material de los pates.
- Número de acometidas que recibe.
- Imagen asociada para cada tipo de pozo.

Los imbornales y sumideros son los elementos de recogida de las aguas pluviales. Se sitúan en aquellos puntos de la calzada o vial que permitan interceptar de forma más rápida y eficientemente las aguas pluviales de escorrentía. Su importancia no sólo radica en la definición del caudal de lluvia que puede entrar en la red, sino también por que en ciudades llanas como Valencia, son el elemento de definición de la cuenca de drenaje a cada tramo de colector. La información que se recoge en la base de datos a nivel de imbornales es la siguiente:

- Código de colector.
- Localización (nombre de la calle).
- Número del tramo o del pozo al que se vierte.
- Tipo de imbornal.
- Imagen asociada para cada tipología.

Otros elementos puntuales que deben quedar igualmente recogidos en la base de datos son las compuertas, estaciones de bombeo, aliviaderos, etc. Además, con representación mediante un polígono dado su tamaño tenemos los depósitos, estructuras de regulación y las depuradoras.

### 6.1.3. Componente espacial

Como se definió previamente se trata de aquellas propiedades del territorio que tienen una distribución en el espacio.

A las coberturas propias de la red de drenaje, hay que añadir otras que contienen la cartografía de la ciudad a diferentes escalas y que quedan como fondo de referencia al visualizar y obtener planos de la red. Para la visualización general se utilizará un esquema de la ciudad a escala 1:10.000, mientras que para



visualizaciones de mayor detalle se activan las coberturas de manzanas y nombres de calles a escala 1:1000. Además, debe disponerse de otras capas de información que pueden ser activadas, como son la de curvas de nivel, usos del suelo, riesgos de inundación, infraestructuras lineales, etc.

**Subcuencas vertientes:** Por medio de la delimitación de las subcuencas vertientes de la ciudad se puede determinar qué área de la ciudad es drenada por un determinado conducto.

**Tipos de suelo:** Se trata de una nueva cobertura de polígonos que cubre por completo el término municipal de la ciudad y en la que se recoge el tipo de suelo existente con el fin de evaluar la escorrentía.

#### 6.1.4. Recopilación de la información

Aunque existe la posibilidad de recopilar información de gabinete procedente de diversas fuentes (bases de datos en soporte informático o listados en papel, mapas del organismo encargado de la gestión de redes de agua y saneamiento de la ciudad, proyectos de construcción, planos y croquis procedentes de las brigadas de inspección o limpieza, etc.), debido a las dificultades que han aparecido, puede ser necesario realizar una toma de datos de campo por medio de técnicas topográficas con el fin de localizar espacialmente y describir completamente todos y cada uno de los elementos que componen el sistema.

Tanto la información gráfica referenciada espacialmente como los datos asociados a dichos elementos gráficos en forma de atributos deben ser chequeados, analizados, tratados y finalmente incorporados correctamente al sistema de forma que puedan ser utilizados con total confianza por parte del usuario. La introducción de datos deberá ser por tanto un proceso sistemático para que las posibilidades de aparición de errores sean mínimas. Además, es necesario el control a posteriori de la información introducida. Para facilitar este proceso, puede dividirse la ciudad en distritos. El objetivo de calidad debe quedar fijado en un mínimo del 90% de la información libre de errores en cada distrito (porcentaje que se eleva dependiendo del tipo de dato), siendo el tamaño de la muestra de datos de campo a controlar de al menos el 1% de la información total.

Los aspectos más importantes del **control de la información** de la base de datos son:

**Pendientes:** Dada la importancia de la pendiente de los colectores en una ciudad llana, el error admitido en la obtención de las cotas de las trapas de los pozos de registro debe ser de 1 cm cada 100 m como mucho, de tal forma que se



garantice la precisión de la diezmilésima en la determinación posterior de la pendiente superficial. En cuanto a las profundidades el error máximo admitido puede ser de 5 cm, lógicamente mayor puesto que se obtiene mediante la introducción de una mira o jalón dentro del pozo.

**Disposición en planta:** En cuanto a la planta, el error admitido es mayor (10 cm), ya que basta con que se obtenga un buen encaje de la red entre las manzanas de la ciudad, que sirven de base de referencia y que fueron suministradas por el Servicio de Urbanismo del ayuntamiento.

**Conectividad:** No pueden existir elementos sueltos (imbornales, pozos, tramos de colector, etc.) ni bucles en la red salvo justificación, aunque cabe admitir un 5% de errores de conectividad respecto del total de pozos.

**Coherencia:** Mediante la realización de histogramas y búsquedas en cada campo de la base de datos, se controla la existencia de valores irreales, como por ejemplo pendientes negativas, pozos con profundidades excesivas, colectores de diámetros mínimos, etc.

#### 6.1.5. La interface de usuario

La interface es el medio por el cual el usuario se comunica con la base de datos del SIG. Por otra parte, una interface debe facilitar la toma de decisiones presentando la información necesaria y suficiente en el formato adecuado (Labadie y Sullivan, 1986).

A pesar de la amigabilidad de las últimas versiones de cualquier SIG comercial, puede ser difícil trabajar directamente con las herramientas que éstos proporcionan para aquellos usuarios que no son expertos en SIG o en bases de datos (que son en la práctica la mayoría). El resultado es que es necesario desarrollar interfaces específicas para cada aplicación de un SIG.

La función fundamental del sistema es la gestión de la información, siendo misión de su interface la simplificación y automatización de las tareas más habituales. Estas tareas pueden agruparse en los siguientes apartados:

- Búsquedas e impresión de datos para informes, estadísticas o para alimentar modelos de simulación. En este último caso, la información requerida es toda la que se encuentra aguas arriba de un punto determinado de la red.



- Generación de mapas automática, generales de la ciudad o de una parte de ella.
- Control y depuración de errores en la base de datos, como puede ser la comprobación del completado de la base de datos, la conectividad de la red, o la existencia de datos poco razonables. Estas tareas de control son propias del administrador del sistema y no de cualquier usuario.

#### 6.1.6. Otros aspectos

Para un funcionamiento homogéneo del SIG y una gestión óptima del mismo, es imprescindible el conocimiento adecuado de todo el sistema. La información necesaria no sólo se refiere a la red de drenaje, sino que también debe incluir el conocimiento de la superficie donde se genera la escorrentía y las características de la precipitación.

La cantidad de datos en un sistema de estas características es tan grande que se hace imposible la simple gestión de la información por métodos tradicionales. Por poner el ejemplo de una solicitud muy habitual en cualquier servicio de alcantarillado, es muy costoso por el método tradicional suministrar el mapa actualizado de una calle en particular, necesario para la realización de unas obras de excavación o de conexión a la red de alcantarillado.

La toma de datos de campo debe seguir un procedimiento de calidad adecuado a la naturaleza de los mismos, atendiendo a la calidad de la información introducida, especialmente en lo que concierne a la conectividad de la red y, en el caso de una ciudad llana, a las pendientes de los colectores.

#### 6.2. Niveles, fases y factores de esfuerzo

Se procede a continuación a aplicar la metodología descrita a lo largo del presente estudio sobre el caso tipo caracterizado en el apartado anterior. Dado que nos encontramos ante una metodología novedosa con pretensiones de versatilidad no nos ceñiremos a datos numéricos concretos que puedan ser objeto de una mayor o menos subjetividad en cuanto a su elección. Lo que en realidad se desarrolla en este punto es una aplicación primaria de la metodología sobre dicho SIG con la intención de obtener una primera estimación de la idoneidad de la propuesta para los fines perseguidos, así como la detección de posibles problemas o carencias en la usabilidad de la misma, puestos de relieve sobre el caso de estudio.



A continuación se aplican los niveles y fases de procesos correspondientes a las componentes espacial y alfanumérica, detectando los factores definidos en la metodología, y su importancia en el desarrollo del sistema.

### 6.2.1. Fases para datos espaciales

Así pues, siguiendo el esquema de la figura 4 nos detenemos en cada fase para comprobar su aplicabilidad al caso:

**Nivel de requisitos:** Como se ha comentado, este nivel representa la fase inicial en la que se define la zona de actuación, así como las necesidades y requisitos que presenta el proyecto respecto a la misma.

- Identificación de necesidades: Informatización de las redes de saneamiento del municipio, dotándolo de una herramienta que permita su gestión en tiempo real.
- Definición de ámbito de actuación: Red de saneamiento municipal.

**Nivel tipos de datos espaciales:** Recordemos que este nivel resulta crítico en materia de costes, ya que determinarán de forma directa una gran parte del presupuesto del proyecto.

- Cartografía a gran escala: Se trata de una fase de vital importancia en este proyecto, y una en la que los factores de esfuerzo resultan determinantes. La complejidad de la red a cartografiar, así como la práctica nulidad de información ya digitalizada sobre la misma, y la precisión requerida a efectos de definición de pendientes supondrá un esfuerzo excepcional de trabajo de campo combinado con la digitalización de la documentación disponible. Esta tarea puede necesitar un largo periodo de tiempo (años) y resulta completamente definitoria en el coste final del proyecto.

*Factores de esfuerzo (red de distribución) = Muy altos.*

En cuanto a la base cartográfica general, en el supuesto de tener que realizar la cartografía integral del municipio desde cero el coste se dispararía, pero hoy en día toda España ha sido cartografiada digitalmente al menos a escala 1:5000, y generalmente se ofrece con gratuidad para usos no estrictamente comerciales, por lo que resulta muy probable que el esfuerzo referente a la cartografía general resulte mínimo, salvo actualización necesaria de zonas concretas.



*Factores de esfuerzo (base cartográfica general) = Muy bajos.*

- Cartografía de pequeña escala: No resulta necesaria para el proyecto.

*Factores de esfuerzo = 0*

- Teledetección: No resulta necesaria, salvo en el caso de estudios concretos de contaminación del agua por vertidos o similar.

*Factores de esfuerzo = 0*

- Fotogrametría: La fotografía aérea como fuente de datos espaciales no tiene sentido en este caso, ya que no muestra información reseñable de las redes y no resulta necesaria para generar nueva cartografía, dado que en principio ya disponemos de la necesaria a un coste mínimo. La excepción la constituirían determinadas actualizaciones de zonas sensibles. Por lo tanto queda relegada a una mera imagen de fondo de media resolución para el mapa índice del municipio o similares.

*Factores de esfuerzo = Muy bajos.*

**Nivel de depuración:** Nivel en el que los datos espaciales se adecuan a los requisitos del proyecto, mediante un conjunto de fases cruciales que terminan con la integración de la parte geográfica en el SIG.

- Generación de entidades: De acuerdo a la tipología básica expuesta anteriormente, toda la información se codificará y se asignará a una categorización de entidades. El esfuerzo puede llegar a ser significativo por la complejidad de algunas zonas de la red.

*Factores de esfuerzo: Medio.*

- Elección de las características: Las características han sido esbozadas en la fase de caracterización y, en el caso de este tipo de redes, son claras y concretas, por lo que sólo se debe proceder a la asignación de las mismas en un proceso integrado en la fase de generación.

*Factores de esfuerzo: Muy bajos.*

- Topología: Las relaciones topológicas entre los elementos de la red son claras y concretas, su integridad se puede comprobar por procesos automatizados que no revisten mayor coste.



*Factores de esfuerzo: Bajos.*

- Georreferenciación: Fase integrada en la captura de campo, tarea larga por la enorme cuantía de datos a digitalizar.

*Factores de esfuerzo: Altos.*

- Codificación y etiquetado: La asignación de etiquetas a las entidades vuelve a depender del volumen de información, por lo que su esfuerzo será significativo.

*Factores de esfuerzo: Altos.*

- Integración: Si se han realizado y revisado de manera adecuada las fases inmediatamente anteriores resultará relativamente sencilla la integración con el resto de datos. Nuevamente la enorme cantidad de información del sistema resulta definitiva.

*Factores de esfuerzo: Medios.*

Por lo tanto, en referencia a la bases de datos espaciales a nivel de fuentes de datos, parece claro que se trata de una zona claramente delimitada y necesitada de mapas de gran escala, por lo que el grado de esfuerzo en adquisición de cartografía resulta bajo, no así la digitalización de la redes que supondrán la realización de mediciones en campo o la digitalización de enormes cantidades de información espacial. Se aprecia aquí la dependencia clara del coste de la extensión de la red y del volumen de datos a introducir en el sistema, lo cual supone un cierto inconveniente a la hora de aplicar la metodología, pero podría ser subsanado definiendo nuevos identificadores basados en estudios estadísticos que relacionen la longitud total de la red y la información disponible con un coste parcial dependiente de los factores ya definidos.

El nivel de depuración de la cartografía posee la ventaja de la definición desde cero del sistema, que hace que todos los datos de campo del nivel anterior se tomen de forma adecuada al sistema en el que se integrarán. El nivel de integración se advierten bajos factores de jerarquización, un número concreto no muy extenso de claves primarias y entidades. En este caso la magnitud de la red resulta nuevamente crucial.



## 6.6.2. Fases para datos alfanuméricos

**Nivel de requisitos:** Al igual que en los datos espaciales, este nivel representa la fase inicial en la que se definen las necesidades del proyecto, lo cual condiciona directamente la dimensión del sistema.

- Identificación de necesidades: Gestión de red de saneamiento con escasa información digital. Necesidad de establecer una base de datos global del sistema partiendo de cero.
- Definición de dimensión: Fase interrelacionada con las necesidades, en general supone una condición decisiva para el alcance, los involucrados, plazos y costes; a efectos de datos alfanuméricos está directamente relacionada con la magnitud y la complejidad de la base de datos que compondrá el SIG.

**Nivel de fuentes:** Como se ha explicado en el apartado correspondiente este nivel comprende las referencias al origen de los datos y al Sistema de Gestión de Bases de Datos (SGBD). En este apartado se toman los datos de forma bruta, bien sea mediante recopilación de los mismos, en el caso de que el futuro usuario del SIG ya posea la información en propiedad o un modo de obtenerla mediante sus propios medios, bien sea por medio de la adquisición directa de la información a terceros.

- Software (SGBD): El SGBD viene, en nuestro caso, implementado dentro de la licencia de ArcGis, si bien resultará necesario efectuar adecuaciones y programación sobre el mismo en fases posteriores.

*Factores de esfuerzo: Medios.*

- Adquisición de datos: El esfuerzo queda definido por el coste de la información, siendo en nuestro caso, en principio, nulo, no procede realizar proceso de estimación.
- Recopilación de datos: Esta fase incluye el proceso de identificación, colección y almacenamiento de toda la información de las redes que gestionará el sistema. Requiere numeroso trabajo de campo y dedicación exclusiva prioritaria al comienzo del proyecto.

*Factores de esfuerzo: Muy altos.*

**Nivel de desarrollo:** En este nivel se construye la base de datos, en clara dependencia de las necesidades identificadas.



- Creación de la estructura: En esta fase se crean las tablas que hemos explicado en el apartado de caracterización, así como sus índices, claves primarias. No resulta una labor excesivamente compleja, pues los elementos de una red de saneamiento son limitados y están claramente definidos en la estructura de la red.

*Factores de esfuerzo: Bajos.*

- Adecuación y homogeneización: Esta fase supone uno de los mayores esfuerzos del proyecto, debido sobretodo a que este tipo de datos poseen tradicionalmente un alto grado de heterogeneidad por tratarse de documentos datados en fechas lejanas entre si, y todo debe ser “transformado” a una base común.

*Factores de esfuerzo: Muy altos.*

- Elección de características geográficas primarias: En paralelismo con la fase homónima del conjunto de datos cartográficos, su esfuerzo se supone limitado.

*Factores de esfuerzo: Muy bajos.*

- Programación: Se requiere programar el software para cubrir las necesidades del proyecto y del organismo gestor del SIG. Este apartado contribuye a la funcionalidad del sistema y su planificación resulta primordial.

*Factores de esfuerzo: Medio - altos.*

- Verificación de la integridad de la base de datos: Susceptible de ser automatizado en buena medida, depende de los procedimientos de calidad y no debe suponer un coste excesivo si el proyecto ha llegado a este apartado con un cierto rigor.

*Factores de esfuerzo: Medio - Bajos.*

- Integración con datos espaciales: Esta fase es la misma que la definida para el caso de los datos espaciales, por lo que esfuerzo estimado será conjunto.

*Factores de esfuerzo: Medios.*



Para las bases de datos alfanuméricas los factores destacados en nivel de fuentes de datos son los relativos a la recolección de los mismos, que obtendrá una calificación estimada de esfuerzo muy alta, pues su realización requiere un elevado uso de recursos debido a la cantidad de las mismas. A nivel de desarrollo de la DB el factor determinante vuelve a ser el volumen de información, la heterogeneidad de los datos no resulta excesiva, y abarata el coste de la estructura del sistema, así como las funcionalidades a implementar, por lo que la importancia de sus factores en el modelo de estimación se puede considerar de valor medio. La integración se corresponde con lo expuesto anteriormente, puesto que son niveles paralelos y convergentes.

Resulta, pues, claro que el mayor esfuerzo de la implementación del SIG viene dado por la adecuación de los datos y el trabajo de campo, tarea que puede suponer un 70 – 80% del coste final del proyecto, frente a un desarrollo de la estructura interna del sistema que resulta económicamente más sencillo, debido en parte a las amplias soluciones ya disponibles en el mercado y a la complejidad limitada de la tipología de este tipo de redes.

Como se ve, resulta factible establecer una mera estimación global basada en simples factores cuantificadores de tres rangos (bajo, medio, alto), por lo que una especificación que nos permita dotar de una mayor amplitud de rangos puede adquirir una precisión bastante aceptable.



## 7. Conclusiones

---

Las principales conclusiones de este trabajo son las siguientes:

- Se ha propuesto un modelo de estimación de costes para sistemas de información geográfica genérico y se ha probado su valía en el caso de sistemas de gestión de redes de saneamiento.
- La estimación de los costes de desarrollo de los proyectos de Sistemas de Información Geográfica de gestión de redes presentan dificultades debidas al volumen de datos a tratar y no tanto a la heterogeneidad de los mismos, como puede suceder en sistemas de otra índole.
- Para abordar el problema de la estimación de costes en proyectos SIG se ha utilizado una metodología novedosa basada en la identificación inicial de los componentes, su caracterización y posterior estimación, para finalmente integrar los resultados generando un cómputo del esfuerzo global.
- La evaluación de los resultados del modelo propuesto requiere la aplicación sobre proyectos SIG catalogados y jerarquizados. Para ello se propone una labor de recopilación de sistemas-tipo, generando una base de datos de proyectos SIG que permita desarrollar la presente propuesta metodológica de estimación de esfuerzos.
- La metodología propuesta resulta *a priori* válida en su aplicación a proyectos de Sistemas de Información Geográfica de gestión de redes de saneamiento, lo que abre una línea de estudio que consistirá en aplicar muestreos estadísticamente sólidos en estudios posteriores para realizar ajustes y detallar los factores y componentes propuestos.



## Bibliografía

---

Allan J. Albrecht and John E. Gaffney, "Software Function, Lines of Code, and Development Effort Prediction: A Software Science Validation", IEEE Transactions on Software Engineering, vol SE-9, No 6, November 1983.

Alonso Sarría, Francisco "Introducción a los Sistemas de Información Geográfica". 2001.

Bestebreurtje, J.G.A. "GIS Project Management". Manchester Metropolitan University. 1997.

Calvo Melero, Miguel. "Sistemas de información geográfica digitales". IVAP, 1.993.

Charles R. Symons, "Function point Analysis: Difficulties and Improvements", IEEE Transactions on Software Engineering, vol 14, no1, January 1988.

David J Maguire, Michael F Goodchild y David Rhind "Geographical Information Systems, Principles and applications". Longman Scientific & Technical. 1994.

Falkner E., Morgan D., "Aerial Mapping: Methods and Applications" 2nd Ed.CRC Press Company. 2002

Felicísimo, Ángel Manuel "Modelos Digitales del Terreno. Introducción y Aplicaciones en las Ciencias Ambientales". Pentalfa Ediciones. Oviedo, 1994.

Francés García F. y Bellver Jiménez V. "Aplicación de un sistema de información Geográfica en la gestión avanzada de la red de colectores de valencia" 1997.

Gracia Luis M. Blog personal. <http://unpocodejava.wordpress.com/> 2010.

Harmon J. E., Anderson S. J. "The Design and Implementation of Geographic Information Systems". Wiley, 2003.

Marcela P., Varas C. Modelo de Gestión de Proyectos Software: Estimación del Esfuerzo de Desarrollo. Marcela P., Varas C. 1995.

Martínez Alzamora, F. y otros "Obtención de modelos hidráulicos de redes de suministro de agua desde SIG. Conexión ArcView – EPANET 2 Esp".2002.

Michael Zeiler. "Modeling Our World". Environmental Systems Research Institute, 1999.

Moles "Tecnología de los sistemas de información geográfica". Ed/ra-ma, 1995.



Nyerges, Timothy Y Jankowski, Piotr. "Regional and Urban GIS . A Decision Support Approach .New York". The Guilford Press, 2010

Paul A. Longley, Michael F. Goodchild, David J. Maguire, David W. Rhind. "Geographical Information Systems and Science". Wiley. 2005.

Reviles, R. y Jeansoulin, R. Fundamentals of Spatial Data Quality. United states of America. Iste, Ltd, 2006.

Santos Preciado, J. M. Sistemas de Información Geográfica. UNED, 2004

Somers R. "Developing GIS Management Strategies for an Organization Developing GIS Management Strategies for an Organization" Journal of Housing Research". 1998.

Somers R. "Quick guide for GIS implementation" Urisa, 2001.

Villanueva Balsera, J. Tesis doctoral: "Estimación de costes y plazos en proyectos de sistemas de información" Universidad de Oviedo .2005.