



Los sistemas GMAO y SIG como herramientas para la gestión integrada en la administración local

Aplicación técnica e innovadora de la metodología del mantenimiento industrial (sistemas GMAO) y de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el ámbito de las administraciones locales

Autores:

Balsa Barreiro, José (A Coruña, España)

Licenciado en Geografía por la Universidad de Santiago de Compostela
Ingeniero Superior en Geodesia y Cartografía por la Universidad Politécnica de Valencia
Ingeniero Técnico Industrial, especialidad Mecánica por Universidad Politécnica de Valencia
Master en Planificación y Desarrollo Local por la Universidad de La Coruña
Doctorando en Ingeniería Civil por la Universidad de La Coruña

Brocal Ruíz, Ricardo (Valencia, España)

Licenciado en Geografía por la Universidad de Santiago de Compostela
Ingeniero Superior en Geodesia y Cartografía por la Universidad Politécnica de Valencia

Índice

PARTE 1: Introducción

- 1. Introducción
 - 1.1. Introducción al proyecto
 - 1.2. Justificación a un proyecto de este tipo

PARTE 2: Gestión del Mantenimiento

- 2. Gestión del mantenimiento
 - 2.1. Metodología del mantenimiento
 - 2.1.1. Definición de Mantenimiento
 - 2.1.2. Objetivos del mantenimiento
 - 2.1.3. Evolución del mantenimiento
 - 2.1.4. Metodología del mantenimiento
 - 2.1.5. Fiabilidad, probabilidad de fallo, disponibilidad y mantenibilidad
 - 2.1.6. Tipos de mantenimiento
 - 2.1.7. El modelo TPM (Total Productive Maintenance)
 - 2.1.8. Las “5 S” del mantenimiento
 - 2.1.9. ¿Cómo se determina el tipo de mantenimiento que debemos seguir?
 - 2.1.10. Aspectos económicos del mantenimiento
 - 2.1.10.1. Costes del mantenimiento
 - 2.1.11. La Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO)
 - 2.1.11.1. Funciones de los GMAO
 - 2.1.11.2. Ventajas de los GMAO
 - 2.1.11.3. Características técnicas de los sistemas GMAO
 - 2.1.11.4. Proyecto de implantación de un sistema GMAO
 - 2.1.11.4.1. Etapas en el desarrollo del proyecto
 - 2.1.11.4.2. Factores críticos para el éxito del proyecto
 - 2.2. La incorporación de la gestión del mantenimiento en las administraciones locales
 - 2.2.1. “Valencia siempre nueva”: Reparación de deficiencias en vía pública en 72 horas

PARTE 3: Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

3. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

3.1. Definición de Sistema de Información Geográfica (SIG)

3.1.1. Introducción

3.1.2. Definición

3.2. Software SIG

3.2.1. Qué es ARCInfo (visión general)

3.2.2. Comparación entre raster y vectorial

3.2.2.1. Ventajas y desventajas del modelo raster

3.2.2.2. Ventajas y desventajas del modelo vectorial

3.2.3. Los SIG frente a otros sistemas afines

3.2.3.1. SIG versus CAD

3.2.3.2. SIG versus Cartografía Automática

3.2.3.3. SIG versus Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD)

3.2.3.4. SIG versus Teledetección

3.2.4. Tipo de programas SIG

3.3. Aplicaciones y futuras tendencias de los SIG

3.3.1. Enumeración de las posibles aplicaciones de los SIG

3.3.2. Aplicaciones de los SIG

3.3.3. Futuras tendencias de los SIG

3.4. Funciones de los SIG

3.5. La importancia del concepto de topología en los sistemas vectoriales

3.5.1. Topología de polígonos

3.5.2. Topología de líneas (arcos o red)

3.5.3. Topología de puntos

3.6. Problemas con el proceso de definición de entidades

3.6.1. La naturaleza dinámica del mundo real

3.6.2. La escala

3.6.3. Definición de elementos discretos

3.6.4. El concepto de capas de datos

3.7. ¿Por qué un SIG?

3.7.1. Ventajas de trabajar con un SIG

3.8. Estructura de los datos geoespaciales

3.8.1. Las Geodatabases

3.8.1.1. ¿Qué es una base de datos geográfica?

3.8.1.2. Evolución de los modelos de datos

3.8.1.3. ¿Qué es una *Geodatabase*?

3.8.1.4. Geodatabase corporativa y geodatabase personal

3.8.1.5. Beneficios del modelo de la *geodatabase*

3.8.1.6. El concepto de topología aplicado al modelo de *geodatabase*

3.8.1.7. Aportación del modelo de la *geodatabase* a los SIG

3.9. Estandarización de los datos y descripción de las normas ISO relativas a las bases de datos de información geográfica

3.9.1. Conceptos relacionados: una visión general

3.9.2. Metadatos y Normas ISO

3.9.2.1. La necesidad de creación y aplicación de unas normas

3.9.2.2. Antecedentes

3.9.2.3. Definición y aspectos generales

3.9.2.4. Organizaciones productoras de normas

3.9.2.5. Terminología asociada

3.9.2.6. Funciones de los metadatos

3.9.2.7. Objetivos

3.9.2.8. Normas de los Metadatos y el NEM

3.9.2.9. El NEM (*Núcleo Español de Metadatos*)

3.9.2.10. El ámbito de los Metadatos

3.10. Fases para la implantación de un SIG

3.10.1. Fases

3.10.1.1. Software para SIG

3.10.1.2. Definir el problema o tarea

3.10.1.3. Descargar o elaborar el mapa adecuado

3.10.1.4. Conseguir los datos pertinentes

3.10.1.5. Organizar la información en una base de datos

3.10.1.6. Interrelación de los datos con el mapa utilizando software SIG

3.10.1.7. Realizar el análisis de la información que revela el SIG

3.10.1.8. Presentación de los resultados

3.11. Software SIG

3.11.1. Software SIG: ArcGIS

3.11.1.1. ArcGIS Desktop

3.11.1.2. ArcMap

3.11.1.3. ArcCatalog

3.11.1.4. ArcToolbox

3.11.1.5. ArcView

3.11.1.6. ArcEditor

3.11.1.7. ArcGis Explorer

3.11.1.8. Formatos de datos compatibles

3.11.1.8.1. Extensiones propias de ArcGis

3.11.2. Principales software SIG

PARTE 4: SIG y producción cartográfica

4. SIG y producción cartográfica

PARTE 5: SIG integrado en el ámbito local

5. SIG integrado en el ámbito local

5. 1. Recogida de Residuos Sólidos Urbanos

5. 2. Una nueva visión de la planificación de la vegetación

5. 3. Iluminación: gestión e integración

5. 4. La trama urbana: inicio hacia un espacio de calidad

5.5. Desplazamientos dentro del espacio local

5.6. Aplicaciones de los SIG y los nuevos conceptos.

PARTE 6: Conclusiones

Índice de figuras

PARTE 2: Gestión del Mantenimiento

- Figura 2.1: Portal web de la Asociación Española de Mantenimiento.
- Figura 2.2: El papel de la comunicación dentro de la terna “información-decisión-acción”.
- Figura 2.3: Curva tipo del modelo de análisis ABC o de Pareto.
- Figura 2.4: Determinación de zonas para la curva tipo del modelo ABC.
- Figura 2.5: Elección de planes de mantenimiento en función de la aparición de la frecuencia de aparición del *Mean Time Between Failure* [MTBF].
- Figura 2.6: Costes de la empresa en función del nivel de mantenimiento.
- Figura 2.7: Coste total del mantenimiento en función del tiempo de parada de producción por causa del mantenimiento.
- Figura 2.8: Gráfico representativo del LCC (*Life Cycle Cost*) desde el momento de toma de decisión de compra de una instalación o equipo.
- Figura 2.9: Cartel indicativo del servicio “Valencia siempre nueva”.

PARTE 3: Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

- Figura 3.1: Disposición de la información dentro de un SIG en capas o *layers*.
- Figura 3.2: Componentes de un SIG – relación con la segunda definición del término SIG –.
- Figura 3.3: Esquema de la base de datos de un SIG. (Fuente: Alonso Sarria, 1996).
- Figura 3.4: Representación del mundo real por parte de los modelos de datos raster y vectorial.
- Figura 3.5: Modelo de datos raster.
- Figura 3.6: Modelo de datos vectorial.
- Figura 3.7: Aplicación-visualizador SIG para la gestión de los “Jardines del Real” de la ciudad de Valencia. Esta aplicación es un ejemplo del gran número de posibles usos que tiene o puede tener un SIG.
- Figura 3.8: Formación de polígonos en la topología Arco-Nodo.
- Figura 3.9: Formación de líneas en la topología Arco-Nodo.
- Figura 3.10: Formatos de bases de datos con los que podremos trabajar dentro de ArcGIS.
- Figura 3.11: La lectura y conexión con bases de datos y tablas puede hacerse en *ArcView* de varias maneras. Existe incluso una extensión propia.
- Figura 3.12: Tipos de datos almacenables dentro de una *geodatabase*.

Figura 3.13: Niveles de una IDE.

Figura 3.14: Relaciones entre los diferentes componentes Web de la información geográfica.

Figura 3.15: Estándares en el ámbito de la IDEE.

Figura 3.16: Lista de estándares de la ISO/TC 211.

Figura 3.17: Asociaciones y relaciones entre normas de diferentes organizaciones.

Figura 3-18: En esta imagen podemos ver cómo una entidad visual [polígono señalado en negro] tiene asociado información alfanumérica [tabla de la izquierda]. Es interesante ver cómo las infraestructuras viarias son representadas por medio de elementos lineales, mientras que los municipios lo son a través de polígonos cerrados.

Figura 3.19: ArcGis Explorer.

Figura 3.20: Extensiones de ArcGIS –versión 9–.

Figura 3.21: Listado con los principales software SIG.

PARTE 4: SIG y producción cartográfica

Figura 4.1: Mapa de municipios de la provincia de Ourense colgado en la web de Turgalicia (2009). El desequilibrio gráfico y visual se basa en el empleo de simbología inadecuada y en la falta de criterios para la restricción representativa de algunas entidades.

Figura 4.2: La supresión de escalas y símbolos de orientación, el empleo de elementos cartográficos inadecuados y el desequilibrio gráfico-visual merman gravemente la calidad de un mapa.

Figura 4.3: Leyenda asociada al mapa turístico de Galicia publicado por Turgalicia (2007). El empleo de algunos colores inadecuados como la paleta de azules asociada a una serie de infraestructuras y a los puertos de montaña es poco adecuado, dado que ese color y esa tonalidad suelen estar reservados a los elementos hidrográficos.

Figura 4.4: La promoción turística de muchos países se basa en una cartografía de calidad accesible desde la web.

PARTE 5: SIG integrado en el ámbito local

Figura 5.1: Inadmisibile ubicación de un contenedor de residuos orgánico sobre la acera, restando de forma notable el ancho practicable de la misma al crear un estrechamiento, que además es utilizado como “parapeto” para el aparcamiento de motocicletas.

Figura 5.2: La falta de previsión en el cambio del tipo de contenedor (de mayor capacidad y carga automática lateral) respecto al aparcamiento y las aceras da lugar a localizaciones desordenadas que desaprovechan el espacio.

Figura 5.3: Contenedor para la recogida de pilas en el interior de un centro comercial.

Figura 5.4: Ejemplo de clasificación CIE de los viales públicos.

Figura 5.5: Valores recomendados por la CIE.

Figura 5.6: Pantalla de la aplicación de control del sistema Starsense de Phillips.

Figura 5.7: Elevación del sol sobre el horizonte de Febrero a Octubre y su recorrido a lo largo (planta) desde su salida hasta su puesta (perfil) en verano.

Figura 5.8: Elevación del sol sobre el horizonte de Noviembre a Enero y su recorrido a lo largo (planta) desde su salida hasta su puesta (perfil) en invierno.

Figura 5.9: Visualización de algunas pantallas de la aplicación TransModeller desarrollada por Caliper Corporation.

Figura 5.10: Mapa de emisiones de CO2 generadas por el tráfico rodado en la ciudad de Zaragoza.

Figura 5.11: Mapa de ruido en los alrededores de la A-6 en A Coruña.

Figura 5.12: Detalle de un cruce de cuatro calles de un área residencial sin pasos de peatones ni elementos alguno que asegure el flujo de peatones e impedidos.

Figura 5.13: Ejemplo de una acera de un área residencial realmente estrecha junto a una falta de previsión a la hora de considerar el aprovechamiento del espacio por parte de los vehículos aparcados.

Figura 5.14: Plano de aceras, pasos de peatones y rampas.

Figura 5.15: Esquematización de aceras.

Figura 5.16: Resultado del análisis de movilidad peatonal.

Figura 5.17: Plano de luminarias y paso de peatones.

Figura 5.18: Esquematización de luminarias y paso de peatones.

Figura 5.19: Resultado del análisis de luminarias y pasos de peatones.

Figura 5.20: Representación en tres dimensiones de un cruce y la localización de contenedor de basuras.

Figura 5.21: Plano de un cruce, la localización de contenedor de basuras y ángulo visual.

Figura 5.22: Esquematización de un cruce, la localización de contenedor de basuras y ángulo visual.

Figura 5.23: Resultado del análisis de un cruce y el ángulo visual.

Figura 5.24: Representación en tres dimensiones de las sombras.

Figura 5.25: Plano de las sombras.

Figura 5.26: Resultado del análisis de las sombras.

Lista de acrónimos

AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
CAD	Diseño asistido por ordenador (Computer-Aided Design)
CEN	Comites Européan de Normalisation
CGCCT	Centro de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria
CGIS	Canadian Geographic Information System
CORINE	Coordinated Information on the European Environment Program
ESA	Agencia Espacial Europea
ESRI	Environmental Systems Research Institute
FAO	United Nations Food and Agricultural Organization
FIG	Fédération Internationale des Géometres
GIS	Geographical Information System
GMAO	Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador
ICA	Instituto de Cartografía de Andalucía
ICC	Institut Cartogràfic de Catalunya
ICSU	International Council of Scientific Associations
ICV	Instituto Cartográfico Valenciano
IDE	Infraestructuras de Datos Espaciales
IDEE	Infraestructura de Datos Espaciales Española
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INSPIRE	INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe
ISO	International Organization for Standarization
LBS	Location Based Services
LCGSA	Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis
LIS	Land Information Systems
MDT	Modelo Digital del Terreno

NCGIA	National Center for Geographic Information and Analysis
NEM	Núcleo Español de Metadatos
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OGC	Open Geospatial Consortium
ONU	Organización de las Naciones Unidas
SATD	Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones
SBL	Servicios Basados en la Localización
SGBD	Sistema de Gestión de Bases de Datos
SI	Sistema de Información
SIC	Sistema de Información Catastral (SIC)
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIT	Sistemas de Información Territorial
UNEP	United Nations Environmental Program
USCE	Oficina del Censo de los Estados Unidos (United States Census Bureau)
W3C	World Wide Web Consortium
WCS	Web Coverage Service
WFS	Web Feature Service
WMS	Web Map Service

1

Introducción

1.1. Introducción al proyecto

Las administraciones locales se ven abocadas a hacer una gestión eficiente y eficaz de los recursos públicos con los que cuentan, pasando a convertirse básicamente en entes gestores de carácter público. Además, su necesidad de transparencia se ve acrecentada por el hecho de que las administraciones locales son las más próximas al ciudadano. Desde esta perspectiva, podemos asegurar que la máxima responsabilidad del gobierno local es la de gestionar eficientemente los recursos públicos para satisfacer las necesidades y expectativas de la ciudadanía, alcanzando los objetivos clave planteados por un equipo de gobierno elegido democráticamente a través de un proceso electoral.

En ese interés por cuantificar el nivel de eficiencia de la gestión municipal, surgen una serie de modelos calificadores tanto de forma cualitativa como cuantitativa. Así, muchos ayuntamientos españoles, en un ejercicio de transparencia y ética, intentan adoptar *Planes de Calidad* a su modelo de gestión. Entre los objetivos finales que se persiguen con este tipo de acciones está la consecución de niveles de calidad altos en su modelo de gestión, basados en las normativas europeas, y de entre éstos podemos destacar algunos como el *Modelo Europeo de Excelencia EFQM*.

El origen de todos estos modelos de calidad, ahora extrapolados a la administración pública, está en los modelos industriales. El interés por conocer el nivel de calidad con el que fue fabricado un producto fue el origen de toda esta nueva metodología de la calidad. Sin embargo, el término “calidad“ es un concepto muy amplio, sin un significado único (sino que depende del punto de vista que adoptemos), cuya aplicación a nivel industrial ha sufrido una clara evolución conceptual.

Las décadas 1950-1960 fue una época de gran crecimiento industrial, en la que el mercado absorbía todo lo que se fabricaba. En este contexto apenas tenía sentido para las empresas instaurar planes de calidad, ya que de una forma u otra iban a vender todo lo que fabricaban (mercado>oferta). De alguna forma, la calidad en las industrias se entendía como “conformidad respecto a las especificaciones” del producto fabricado y se basaba únicamente en la inspección del producto final una vez fabricado.

La crisis de 1973 supuso un cambio el contexto económico mundial. Las empresas empezaron a recortar gastos ya que el mercado daba síntomas de saturación (oferta>mercado). El cliente empieza a exigir calidad y surge la necesidad de readaptar el concepto a la realidad. Se impone así la visión de calidad como “aptitud para el uso” de un producto. Aparece todo el proceso de normalización (normas ISO), se elaboran manuales de calidad y se llevan a cabo auditorias periódicas en todas las industrias.

La evolución del mercado ha supuesto una evolución del concepto de calidad. El nuevo escenario económico acaecido desde la década de 1980 ha llevado a una sustitución del término de calidad por el de “Excelencia empresarial”, en la que la calidad pasa a ser un objetivo de todos (no sólo de un departamento de calidad) y en la que el nivel de calidad pasa a ser entendido como nivel de satisfacción por parte del cliente.

El concepto de calidad, en un principio asociado a la terminología industrial, ha pasado al sector servicios y de ahí que hoy estemos acostumbrados a ver como muchos gremios se emplean modelos de calidad propios. El último paso, y el que más nos interesa aquí, es ver cómo el concepto de calidad se integra dentro de los modelos de gestión de las administraciones locales. Una estructura típica de gestión de sistema de

calidad de un municipio estaría compuesta por un Comité de Calidad, un Equipo de Seguimiento del Plan de Calidad y un Responsable de Calidad.

La responsabilidad de gestión municipal vincula a gobernantes y gestores con los ciudadanos y la sociedad, y se deriva de las decisiones y actos relativos a la gestión de los recursos públicos. Utilizar recursos y gestionar los servicios conforme a la legalidad vigente y de forma que se logre ofrecer el máximo valor a cambio del gasto realizado constituye el campo de la responsabilidad de la gestión. El concepto así interpretado comprendería pues, no solamente la exigencia de honradez y cumplimiento de la legalidad en la utilización de los recursos (responsabilidad legal), sino también la exigencia de una gestión eficiente y eficaz de los servicios públicos (responsabilidad gerencial).

El empleo de metodologías y técnicas propias del mundo industrial dentro del sector público obliga a un nuevo rol y cambio de funcionar de las administraciones públicas. Los ayuntamientos cada vez se ven más obligados (entre otras estrategias) a gestionar mejor sus recursos, contener sus gastos, promocionarse más activamente,... lo que los asemeja en sus objetivos a una empresa privada. Siguiendo esta lógica deductiva, las administraciones locales han de asumir metodologías, técnicas y tecnologías propias del sector industrial.

Un ejemplo de esto es la adopción de sistemas de gestión de la calidad, el cual hemos comentado previamente. Pero este no es el único. Nosotros hemos propuesto en este trabajo la posibilidad de integrar, de forma simultánea o no, dentro de la administración local la metodología del mantenimiento y la adopción de una visión técnico-espacial para la resolución de problemas en base a la implementación de un sistema de información geográfica.

Los sistemas de gestión de calidad se enmarcan dentro de la metodología del mantenimiento, la cual es una ciencia/técnica propia de la ingeniería industrial. Entre sus objetivos está la posibilidad de gestionar mejor los recursos, maximizar beneficios, recortar gastos, incrementar la vida útil de una determinada máquina o servicio, etc. Esta metodología puede ser muy importante en una administración local ya que permite ofrecer un servicio más rápido y eficaz, una mejor gestión de los recursos humanos y del nivel de stocks de materiales, una mejor asignación de recursos, etc. La forma de gestionar el mantenimiento suele llevarse a cabo a través de sistemas de *Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador* (GMAO), los cuales permiten organizar tareas teniendo en cuenta un gran número de parámetros.

Los *Sistemas de Información Geográfica* o SIG (GIS según su denominación en inglés: *Geographical Information Systems*) permiten adoptar una perspectiva técnico-espacial de las problemáticas y/o fenómenos. A través de los SIG vinculamos a nuestros datos la variable espacial, la cual nos permite asociar un nuevo parámetro y plantearnos el porqué algo se produce en un lugar y no en otro. De forma inminente podemos ver el nivel de concentración o dispersión de un determinado fenómeno y si su manifestación está dentro de lo que cabía esperar o no. El éxito de un SIG dependerá, sobre todo, del nivel de calidad de la cartografía con la que se trabaje.

La cartografía es una de las grandes “materias” olvidadas por parte de numerosas empresas e instituciones. Sin embargo, esto es mucho más preocupante cuando quien lo hace es la propia Administración.

Las administraciones están obligadas a manejar grandes cantidades de datos, los cuales son la base de cualquier política o decisión que se vaya a tomar. Es decir, los datos manejados por la administración (sea la que sea) son los oficiales (que no siempre

quiere decir los reales), y tales datos resumen la realidad. En el momento en el que se aplica una política (de cualquier tipo: penalización, multa, subvención o ayuda, etc.) los datos manejados van a ser la “piedra angular” sobre la que se trabaje.

La mayoría de los datos con los que se trabajan en cualquiera empresa, organismo, etc. son, en un gran porcentaje, representables en el espacio. Aún que es muy difícil cuantificar dicho porcentaje, hay algunos autores que afirman que ésta ronda el 80% respecto al total de los datos. Aunque pueda parecer una cifra un tanto elevada, se trata de una cantidad bastante factible, al fin y al cabo, casi todos los datos son susceptibles de ser representados en el espacio.

Si para trabajar con datos en general empleamos los denominados *Sistemas de Información* (SI), en el caso de datos espaciales (representables en el espacio) empleamos los denominados *Sistemas de Información Geográfica* (SIG). Los SIG están ganando un terreno cada vez más amplio, ya que permiten trabajar a la misma vez con información gráfica y alfanumérica asociada (bases de datos). Esto es muy importante ya que podemos asociar un valor numérico a un elemento en el espacio y trabajar en cualquiera de las dos vertientes.

Imaginemos una decisión política que pueda afectar a 300.000 individuos. Trabajar con una base de datos de tales dimensiones sería muy complicado y además no seríamos conscientes de las “alteraciones espaciales” que tal decisión política conllevaría (como pudiera ser que indirectamente se indujera a un empobrecimiento de una zona). Un SIG permitiría ver los aspectos espaciales asociados en el momento de llevar a cabo una política del tipo que sea. Por este motivo los SIG se están imponiendo como *Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones* (SATD), ya que nos permiten ver las repercusiones espaciales que puede suponer la aplicación de una determinada política y/o decisión.

Por otra parte, la realidad es muy dinámica y cada día cambian numerosos elementos que forman parte de la vida real: se abren carreteras y autovías, las ciudades se expanden, etc. Todos estos cambios influyen en el aspecto espacial y en la representación del mismo. De este modo, esta realidad obliga a actualizar la cartografía constantemente. Esta necesidad de actualizar la cartografía casi que a diario obliga a contar con un sistema que nos permita representar dichos cambios de un modo rápido y eficiente. Conocer el espacio implica tener una buena cartografía. La adopción de cualquier tipo de políticas y proyectos va a conllevar una clara connotación espacial. Es entonces una tarea necesaria el tener una buena cartografía y poder gestionarla internamente.

De este planteamiento radica el importante papel que pueden desarrollar los SIG dentro de la administración local, ya que tienen en cuenta la relevancia espacial que una determinada política causa o puede causar. Por esta razón son muchos los que reclaman el aspecto centralizador e integrador de los SIG dentro de la administración, reforzado éste por el hecho de que son una herramienta fundamental de apoyo para la toma de decisiones, aspecto clave este último a nivel político/gubernamental.

El empleo de los SIG hasta ahora ha estado relativamente limitado a la simple localización de fenómenos o recursos, producción cartográfica (Capítulo 3 y 4) y a la realización de análisis espaciales de carácter simple. Además, en este documento queremos presentar diferentes aplicaciones de los SIG con un carácter innovador tanto por el planteamiento como por los conceptos utilizados (Capítulo 5).

La gran capacidad de análisis de información tanto de los GMAO como de los SIG los convierte en herramientas de gran interés para la administración local del futuro. Tanto los GMAO como los SIG suelen ser sistemas centralizadores de las empresas en

las que están implementadas. Mientras que los GMAO permiten organizar todos los recursos (horarios, stocks, pedidos), los SIG son herramientas base para entender cuál es el desarrollo y evolución de un determinado fenómeno. De ahí que ambas tecnologías/metodologías sean la piedra angular de las empresas y servicios en los que estén instauradas. Por esta misma razón, en una parte del trabajo abogamos por el enorme interés que podría llegar a tener dentro de la administración pública en general la fusión de la metodología del mantenimiento con los SIG (apartado 2.2.1: “Valencia siempre nueva”).

La administración local es la organización pública de ordenamiento que presenta un contacto más directo con la realidad geográfica, social y económica. Esta cercanía le permite obtener y utilizar los datos locales desde una posición privilegiada. Sin embargo, esta posibilidad necesita estar acompañada de una herramienta que permita manejar información de diferentes naturalezas de un modo flexible, con el fin de adaptarse a la dinámica de la realidad, pero con resultados de calidad que permitan presentar soluciones al tiempo que opciones. La administración local trabaja con diferentes ámbitos del ordenamiento, que pueden incluso estar separados en diferentes departamentos, pero que quedan todos en el ámbito de decisión o análisis del municipio. Esta circunstancia se adecúa perfectamente a las características de los SIG: su capacidad para tratar la información de diferentes naturaleza dentro de un mismo escenario permite, no sólo prever posible consecuencias, si no también establecer relaciones entre los diferentes elementos con el fin de maximizar la gestión y el ahorro. En la actualidad, los distintos planes, como por ejemplo la Agenda 21, que surgen en la gestión y ordenación desde los diferentes niveles administrativos (internacional, europeo, nacional, autonómico) establecen la búsqueda del aumento en el control del uso de los recursos, en la utilización sostenible de estos junto a la obtención de soluciones

integradas. Esto se traduce en la introducción de nuevos conceptos y variables dentro del conjunto utilizado para la toma de decisión y desarrollo de proyectos: de nuevo el SIG permite emplear estos nuevos criterios dentro de la ordenación local con sencillez, poniendo a disposición de cualquier administración local una herramienta de gran capacidad que permite obtener dichos resultados integrados y sostenibles.

1.2. Justificación a un proyecto de este tipo

El presente documento intentar ser una exposición de ideas y métodos que permitan la mejora de la gestión de la administración local. Nuestra propuesta se fundamenta en la adopción por parte de la administración local de metodologías, técnicas, modos de trabajo y tecnologías que vienen siendo aplicadas en la empresa privada desde hace unos años, todas las cuales han demostrado un alto nivel de eficiencia.

La puesta en práctica de una perspectiva propia de la ingeniería industrial (técnicas de mantenimiento) y de la civil en general (SIG, análisis técnico-espacial, etc.) puede suponer un nuevo reto de futuro para unos ayuntamientos que han pasado a convertirse básicamente en entes gestores de sus recursos. De este modo la administración local dispondrá de una herramienta que se acomoda a las diferentes problemáticas con las que debe lidiar en un escenario unificado y con la flexibilidad que precisa un ambiente cercano pero cambiante.

La presentación del presente trabajo de investigación a este premio pretende hacer constatar la importancia que tienen este tipo de trabajos, de corte técnico, dentro de la Administración. Aunque tradicionalmente a este tipo de convocatorias sólo se presenten

estudios teóricos de corte político o económico (ciencias sociales en su conjunto), aprovecho esta oportunidad para reclamar un mayor interés hacia los trabajos técnicos como el aquí presentado, tan necesarios y positivos para poder llegar a tener una Administración eficiente y de futuro.

2

Gestión del mantenimiento

El Mantenimiento es una ciencia/técnica de gran peso específico en el modelo industrial tradicional. Su importancia ha ido incrementándose con el paso de los años, a la vez que ha ampliado el número de campos de aplicación, pasando a ser fundamental en los campos de la ingeniería y la economía. Así, ha dejado de ser un simple medio para evitar la parada de la producción (funcionamiento de las máquinas) y ha pasado a ser un elemento clave en el campo de las decisiones en el ámbito del diseño y ejecución de todo tipo de proyectos. De esta forma se entiende la importancia que tiene, ya en el diseño, considerar todos los factores que posibiliten un mínimo coste de producción, operación y mantenimiento.

Las administraciones locales, las cuales en los últimos años han pasado a convertirse en entes gestores, deben recurrir desde el momento presente a modelos de desarrollo infraestructural basándose para ello en criterios de eficiencia-eficacia y de máxima rentabilidad. Todo ello obliga a adoptar modelos de optimización de gastos que integren la vida útil (construcción-ejecución-mantenimiento-operatividad) de la obra que ejecuten.

A continuación lo que haremos será explicar los aspectos más relevantes del mantenimiento como ciencia/técnica, adoptando como base la visión más tradicional del mismo, a partir de la cual veremos qué puede aportar su implantación dentro del mundo de la gestión público en el campo de las administraciones locales.

2.1. Metodología del mantenimiento

2.1.1. Definición de Mantenimiento

La definición del Mantenimiento, desde una perspectiva industrial, puede asimilarse al conjunto de acciones o técnicas que permiten conservar o restablecer un equipo en un estado específico y asegurar un determinado servicio con un coste mínimo y con un nivel máximo de seguridad (Macián, Tormos & Olmeda, 2007). El mantenimiento como ciencia/técnica tiene su origen en el vocabulario militar y su aparición tiene lugar alrededor de 1950 en EEUU, unos años antes de su introducción en Europa.

El concepto de Mantenimiento es un término que cualquier ciudadano de la calle asimila sin necesidad de aportar una definición del mismo. El paso del tiempo y la necesidad constante por parte de las empresas de reducir costes y maximizar beneficios ha obligado a que el mantenimiento pase a ser en casi todas las industrias uno de los ejes de la misma, base para su funcionamiento óptimo.

El mantenimiento industrial pasa a ser una ciencia/técnica que obliga al técnico responsable en cuestión a conocer en detalle el funcionamiento de las máquinas o equipos y de cuáles son los parámetros que pueden mejorarlo, incrementando la eficiencia de todo el proceso industrial. Casi la mayoría de los autores prefieren hablar de “Ingeniería del Mantenimiento”, pues en esta denominación se alude al matiz técnico comentado.

Entre los conceptos que engloba la definición del término en cuestión y que debemos destacar estarían los siguientes:

- Conservar, entendido en el sentido de prevenir fallos o incidencias.

- Restablecer, entendido en el sentido de corregir y subsanar fallos o incidencias.
- Estado específico: parámetros de la máquina o sistema.
- Determinado servicio: obtener un nivel de calidad requerido.
- Coste mínimo: para conseguir máxima rentabilidad económica.
- Máxima seguridad: para el usuario, el reparador y la máquina.

2.1.2. Objetivos del mantenimiento

Entre los principales objetivos del mantenimiento estarían los siguientes:

1. Reducir al máximo los costes debidos a las paradas por averías accidentales que comporten pérdidas de producción o de servicios, incluyendo en tales costes los correspondientes al propio Mantenimiento.
2. Limitar el deterioro de la maquinaria y en consecuencia, el incremento de los rechazos o la degradación de la calidad del producto o servicio.
3. Proporcionar conocimientos y asistencia, a partir de la experiencia adquirida, a todos aquellos sujetos que intervienen en el proyecto y gestión de nuevas instalaciones.

Estos objetivos pueden englobarse en un objetivo fundamental, que es de la consecución de un determinado número de horas disponibles de funcionamiento de la planta, instalación, máquina o equipo, en condiciones de calidad de fabricación o servicio exigible con el mínimo coste y el máximo de seguridad para el personal que utiliza y mantiene las instalaciones y maquinaria.

El objetivo permanente del Mantenimiento es obtener un ratio mínimo en el cociente:

$$\text{ratio}[\downarrow] = \frac{(\text{gastos mantenimiento} + \text{gastos parada fortuita})[\downarrow]}{\text{beneficios por servicio prestado}[\uparrow]}$$

Lo que nos interesa en rojo (entre corchetes)

El fin último del Mantenimiento diremos que es determinar el momento que debe cesar la vida útil de la máquina (por obsolescencia, por pérdida de rendimiento, por pérdida de competitividad,...).

Todos estos servicios son medibles y pueden expresarse en cifras: horas de funcionamiento, calidad del servicio (dato aportable por el departamento de calidad si existe), mínimo coste integral (depende del tipo de empresa y del grado de desgaste y envejecimiento de sus instalaciones), nivel de seguridad y grado de rendimiento energético, entre otros.

La eficacia de la seguridad de una empresa se mide por dos indicadores principalmente:

1. Índice de frecuencia (IF), el cual indica el número de accidentes graves o no graves y se cuantifica como el número de accidentes por millón de horas trabajadas.
2. Índice de gravedad (IG), el cual indica la gravedad de los accidentes. Se mide como el número de días de baja cada mil horas trabajadas.

La evolución industrial y económica asociada ha ido dotando al mantenimiento como ciencia/técnica de una importancia impensable y prueba de ello es que según un estudio de la Asociación Española de Mantenimiento (AEM¹), en el año 1995 el Mantenimiento tenía un porcentaje de actividad de aproximadamente el 10% del PIB nacional (Macián, Tormos & Olmeda, 2007).

¹ <http://www.aem.es>, Acceso, 25/VII/2009.



Figura 2.1: Portal web de la Asociación Española de Mantenimiento. (Fuente imagen: <http://www.aem.es>; Acceso, 25/VII/2009)

El tratamiento del tema que hacemos aquí, vinculado directamente a la visión más tradicional del concepto de mantenimiento, es susceptible de ser aplicado en cualquier nivel de las administraciones públicas. En este caso, nos va a interesar en este trabajo asimilarlo al nivel de las administraciones locales y de ahí que dediquemos un apartado propio en este capítulo a ver cuál sería el interés de aplicar técnicas de mantenimiento industrial en las administraciones locales [punto 2.2].

2.1.3. Evolución del mantenimiento

Si hacemos un análisis histórico del desarrollo industrial vemos que el mantenimiento ha ido adaptándose a los cambios productivos en un afán por ofrecer el mejor servicio e incrementar la producción y la seguridad laboral.

El paso del denominado “entretenimiento” al “mantenimiento” ha sido la base en este proceso evolutivo. El primero de los términos (entretenimiento) se entiende como el proceso de reparación de un parque de material con el fin de asegurar la producción, mientras que el segundo (mantenimiento) hace referencia a la elección de los medios para prevenir, corregir o renovar el material con el fin de optimizar costes.

La explicación a este proceso evolutivo que permite pasar desde el sufrimiento del material (entretenimiento) hasta el dominio del mismo (mantenimiento) se debe a una serie de factores:

- Incremento de los costes relacionados con la parada de una/s máquina/s por avería o por la propia necesidad de mantenimiento.
- Mayor complejidad de los equipos y máquinas.
- Incremento del precio de los equipos y máquinas.

La aparición de las nuevas tecnologías supone una evolución acelerada de las técnicas de mantenimiento. Así, la aparición de la terotecnología supone un escalón más en el proceso evolutivo al que hacíamos referencia anteriormente dentro de la ciencia/técnica del mantenimiento. La terotecnología² se define como “una combinación de prácticas de gestión, finanzas, ingeniería y mantenimiento que se aplican a las

² El término *tero* proviene del griego y tiene, entre otros significados, los siguientes: observar, cuidar, custodiar, vigilar, guardar, etc.

maquinas y a los bienes físicos con el fin de lograr los costes más económicos durante su ciclo de vida” (Macián, Tormos & Olmeda, 2007).

La terotecnología comprende aspectos como (1) especificación/diseño en relación a fiabilidad, mantenibilidad, durabilidad o (2) explotación racional en cuanto a instalación, mantenimiento/operación, modificaciones/sustituciones, obtención de información, etcétera. Así, se entiende la importancia que tiene, ya en el diseño, considerar todos los factores que posibiliten un mínimo coste de producción, operación y mantenimiento.

El mantenimiento ha pasado de comprender únicamente la reparación de utensilios (artesanía), a tener una estructura planificada (programación de paradas planificadas en los modelos de fabricación en serie). La época de guerras, al ser un periodo de fabricación masiva de materiales bélicos y similares, conllevó un desarrollo del mantenimiento a cualquier precio. La década de 1960, también de producción masiva y de aparición de nuevas técnicas como la industria electrónica y la aeroespacial, obligó a adoptar un mantenimiento predictivo basado en técnicas de monitorizado, priorizándose en consecuencia criterios de fiabilidad.

La década de 1970, marcada por la crisis energética de 1973, supuso para las empresas la necesidad de adoptar criterios de optimización técnica y económica con objeto de mantener y/o aumentar la rentabilidad de las empresas.

Los años 1980 conllevaron la tecnificación (e informatización) del mantenimiento en todos los niveles, lo que supuso la adopción de una gran variedad de técnicas de diagnóstico y monitorización. La adopción de la informática en tareas de gestión del mantenimiento fue el talón de Aquiles del modelo de mantenimiento actual y fue

también en los años 1980 cuando se emplean por primera vez los llamados *Sistemas Expertos* para el diagnóstico de averías e incidencias en maquinaria industrial.

Ya desde la década de 1990 hasta la actualidad, la gran mejora de las capacidades tecnológicas ha propiciado la consolidación y democratización del mantenimiento en todas las fases del sistema productivo. El auge de las técnicas de monitorizado, unido al descenso espectacular del precio de los equipos y al incremento (de mayor relevancia si cabe) de las prestaciones de los mismos, ha permitido que las nuevas técnicas de mantenimiento sean más asequibles y de mas fácil acceso para las pequeñas y medianas empresas, las cuales en anteriores etapas, no podían hacer frente a la aplicación de las mismas. La tendencia es hacia la implementación de programas de mantenimiento que permiten la monitorización online de diversos parámetros.

2.1.4. Metodología del mantenimiento

El orden de acción y ejecución del mantenimiento debe pasar por una serie de fases de obligado cumplimiento para el éxito del mismo. Estas fases podemos encontrarlas en (Macián, Tormos & Olmeda, 2007) y pueden enumerarse del siguiente modo:

1. Observación, entendida como el estudio detallado de un acontecimiento o fenómeno. La eficacia de dicha acción dependerá básicamente de la actitud del sujeto (el cual debe aportar una visión objetiva y no prejuzgar).
2. Análisis. Éste puede ser definido como la acción de descomposición de un todo en un conjunto de partes/elementos más simples y más fácilmente

estudiables. Cobra especial importancia en este proceso el conocimiento y estudio de los procesos de ligadura de estas partes/elementos simples entre sí.

Existen diferentes tipos de análisis (de costes, de tiempos, de fallos), los cuales serán aplicables según la necesidad de nuestro caso particular de estudio.

3. Comunicación, considerada como una acción fundamental e imprescindible entre la información, decisión y acción. Puede ser oral, escrita o gráfica, siendo normalmente escrita el modelo más empleado a través de impresos, los cuales tienen una serie de ventajas asociadas: permiten archivar la información, evita malas interpretaciones y contribuye a separar/determinar responsabilidades.

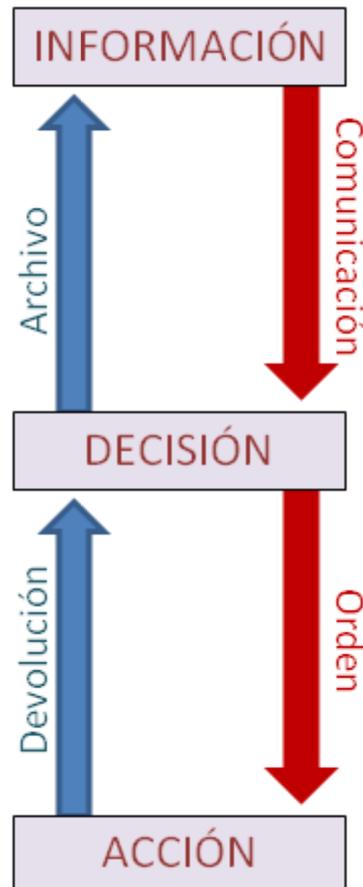


Figura 2.2: El papel de la comunicación dentro de la terna “información-decisión-acción” (Fuente imagen: Elaboración propia)

4. Determinación de acciones prioritarias. Lo que se pretende en esta fase es establecer un criterio lógico y eficaz para la resolución de los diversos problemas que van apareciendo. Lo más importante en un primer momento es la distinción entre lo que es más/menos urgente y lo más/menos importante.

Entre los métodos más extendidos y conocidos para la determinación de las acciones prioritarias está el método de análisis ABC o de Pareto, el cual permite decidir entre numerosos problemas cuales deben ser abordados con prioridad para, a partir de este punto, establecer las prioridades sobre las intervenciones a seguir (toma de decisiones).

El origen del método ABC se debe a los trabajos del economista *Wilfredo Pareto*, el cual se dio cuenta, estudiando el reparto de impuestos en EEUU, que el 20% de los contribuyentes pagaban, aproximadamente, el 80% del total de impuestos. A partir de este estudio, y extrapolando sus resultados, podemos observar que en muchas situaciones del mundo real se sigue esta tendencia siendo una constante el hecho de que un número reducido de elementos sean los responsables de un gran número de fallos.

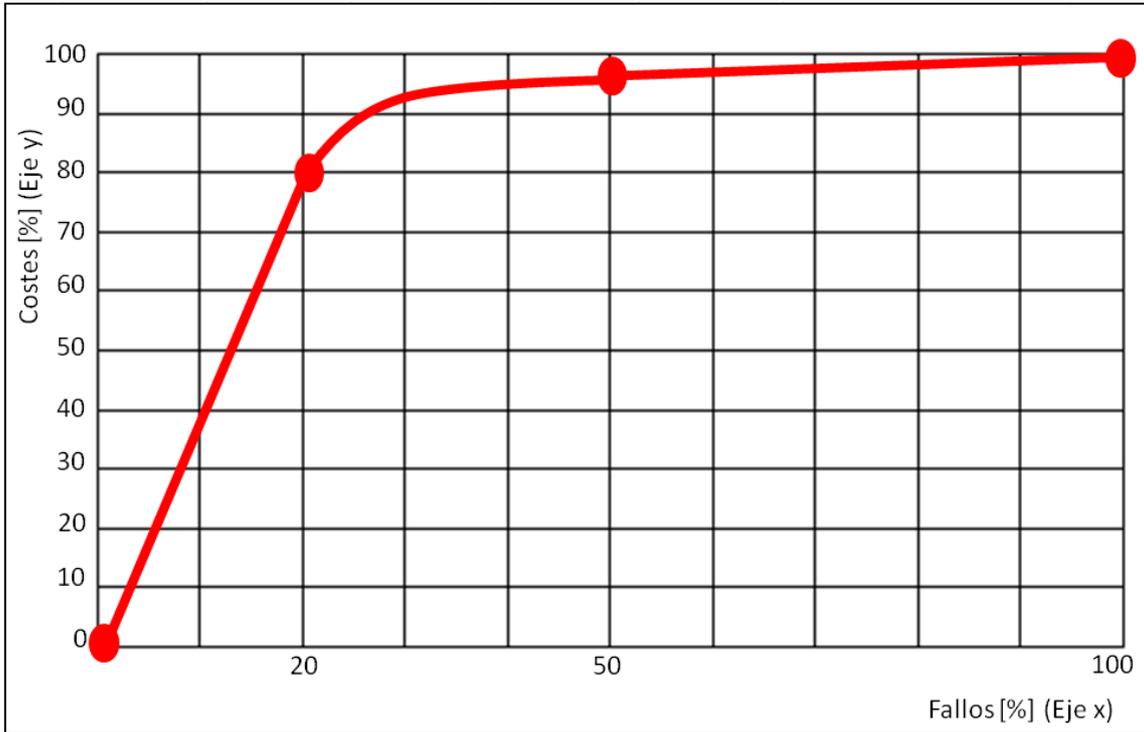


Figura 2.3: Curva tipo del modelo de análisis ABC o de Pareto (Fuente imagen: Elaboración propia)

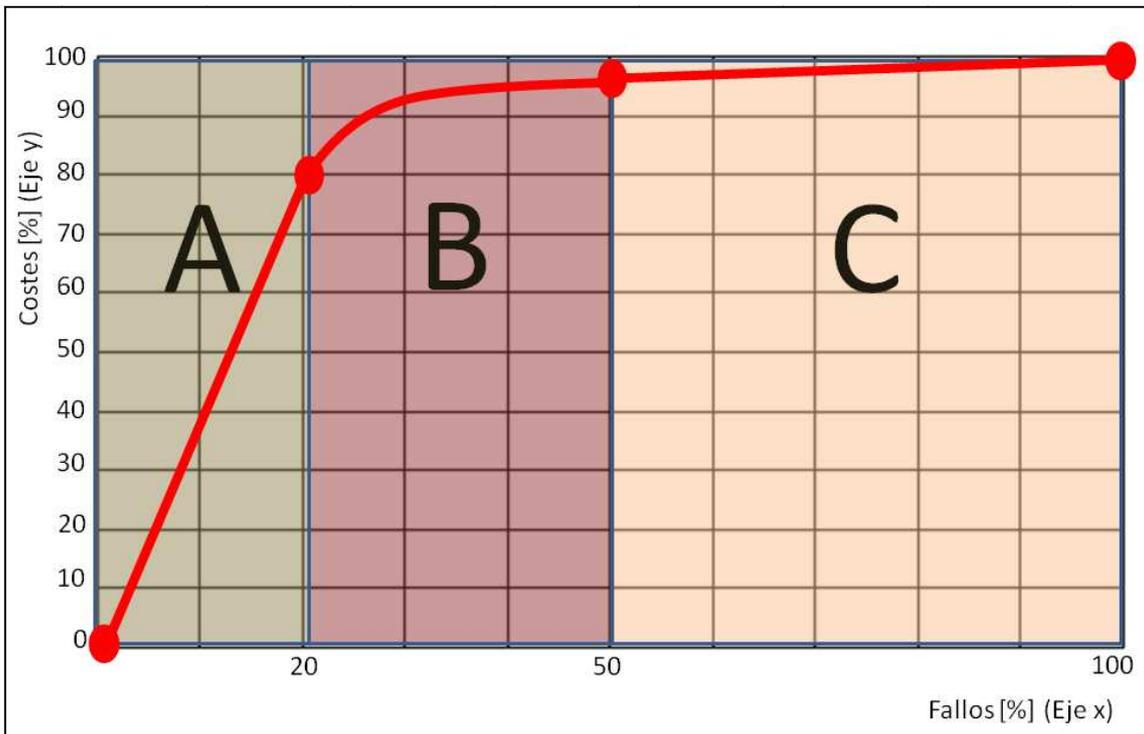


Figura 2.4: Determinación de zonas para la curva tipo del modelo ABC: zona A [20% fallos y 80% costes], zona B [30% fallos y 15% costes] y zona C [50% fallos y 5% costes] (Fuente imagen: Elaboración propia)

Los resultados obtenidos a partir del análisis previo nos ayudan en la toma de decisiones en materia de mantenimiento. Así, actuaremos preferentemente sobre los elementos de la categoría A aplicando una política de monitorizado permanente en los puntos clave, con mayor probabilidad de fallo, mejorando de esta forma la fiabilidad de nuestro equipo de trabajo. Asimismo podremos aplicar una política coherente de stocks de piezas de recambio (en función de la zona en la que se encuentren en el gráfico de Pareto), llegando incluso a anular el almacenaje de los elementos y piezas de la categoría C, por tener unas probabilidades de fallo muy bajas.

2.1.5. Fiabilidad, probabilidad de fallo, disponibilidad y mantenibilidad

La fiabilidad [R(t)] es la probabilidad de que un dispositivo cumpla la función requerida, bajo unas condiciones de utilización por un periodo de tiempo determinado. La forma de cuantificar la fiabilidad es a partir del parámetro MTBF (*Mean Time Between Failure*), el cual es igual a:

$$MTBF = \frac{\sum \text{tiempo entre averías}}{n^{\circ} \text{ de averías} + 1}$$

La probabilidad de fallo [F(t)] es un concepto complementario al anterior y están relacionados a partir de la siguiente expresión:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

La mantenibilidad se define como la probabilidad de que un aparato en fallo sea restaurado completamente a su nivel operacional dentro de un periodo de tiempo dado,

cuando la acción de reparación se efectúa de acuerdo con procedimientos establecidos. Se cuantifica a partir del tiempo medio de reparación MTTR (Mean Time To Repair).

La disponibilidad se define por su parte como la probabilidad de que un dispositivo este funcionando y puede cuantificarse a partir de la siguiente relación:

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Vemos que la disponibilidad es función tanto de la fiabilidad (MTBF) y de la mantenibilidad (MTTR) y resulta óptima desde un punto de vista económico en el 95-98%.

2.1.6. Tipos de mantenimiento

Existen una gran variedad de clasificaciones de tipos de mantenimiento en función de diversos factores. La más generalmente aceptada, aun no siendo universal, es la que distingue las siguientes tipologías de mantenimiento:

1. **Mantenimiento correctivo**, según el cual la máquina (equipo o instalación) es utilizada hasta que sobreviene el fallo. El mantenimiento queda reducido a la reparación y por tanto requiere inversiones mínimas. Presenta, claro está, una serie de desventajas importantes: imprevisión de la avería, de los suministros, pérdidas de tiempo, alto coste por paradas improductivas, inseguridad, etcétera.

Hay una serie de casos en los que la adopción de este modelo de mantenimiento está justificada:

- Cuando los costes indirectos del fallo sean mínimos y los requerimientos de seguridad lo permitan.
- Cuando los paros eventuales de producción no sean críticos para la producción o el trabajo de la empresa.
- Cuando la empresa adopte una política de renovación frecuente y asidua del material de trabajo.

En un automóvil o en una planta industrial hay una serie de piezas a las que se le aplica esta política de mantenimiento (correctivo). Este modelo solemos emplearlo también en nuestros hogares cuando, por ejemplo, se nos funde una bombilla. Lo que hacemos es comprar una nueva y cambiarla una vez que el fallo sobreviene, justo en el momento de fundirse.

Algo muy similar ocurre en la gran mayoría de empresas con el material informático. La rotura, en cualquier instante, de la práctica totalidad de elementos hardware (monitores, CPU, impresoras, etc.) significa el desechado inmediato de dichos elementos y su sustitución por otros nuevos.

2. **Mantenimiento preventivo**, el cual consiste en efectuar intervenciones en las maquinas/equipos/instalaciones antes de que se produzca la avería y a intervalos fijos previamente determinados. Con ello lo que se intenta es prevenir la avería antes de que ésta ocurra.

Así, se hace necesario definir una metodología a fin de poder definir las frecuencias de las intervenciones en cada máquina/equipo/instalación. Hay que tener en cuenta que, sea cual sea la naturaleza y el nivel de mantenimiento

preventivo puesto en práctica, sustituirá irremediablemente un porcentaje de fallos residuales que requerirán de intervenciones correctivas.

Dentro del mantenimiento preventivo pueden distinguirse dos tipos de actuaciones o acciones:

- Intervenciones, que vienen a ser un conjunto de actividades de mantenimiento encaminadas a la sustitución de componentes, piezas,... independientemente de su estado. Para ello se utiliza un método sistemático organizado de forma que no se produzcan interferencias o sean las menos posibles con los programas de producción. Este procedimiento se conoce con el nombre de **mantenimiento programado o sistemático**.
- Inspecciones, cuyo objetivo es comprobar el correcto funcionamiento de la maquinaria y equipos, normalmente mientras están funcionando, mediante una inspección visual de la misma y su entorno o anotando alguno de sus parámetros característicos (nivel de funcionamiento óptimo, nivel de alarma, etcétera). Este procedimiento se conoce como **mantenimiento predictivo**.

Los inconvenientes que plantea este tipo de mantenimiento básicamente son, (a) provocar ciertos paros a la producción para poder así efectuar las intervenciones y (b) la pérdida económica que resulta de la sustitución de las piezas o elementos antes de su final de su vida útil.

Este modelo de mantenimiento estamos acostumbrados a verlo en nuestras vidas diarias. Así, por ejemplo, en un automóvil la correa de transmisión debe

ser cambiada cada cierto tiempo o cuando el número de kilómetros supera un valor indicado por el fabricante (normalmente en turismos entre 80.000 y 100.000 km). Si hacemos un símil con la medicina, las revisiones con las que vamos a un médico especialista sigue el mismo modelo. Así, en condiciones normales, el médico programa una serie de visitas (mantenimiento sistemático) en las cuales se ve nuestro estado de salud y se comprueban una serie de parámetros básicos (aparición de dolencias o síntomas de enfermedad, análisis de sangre,...).

3. **Mantenimiento predictivo**³ (mantenimiento preventivo según condición o según estado), el cual consiste en predecir el estado y grado de fiabilidad de una maquina o instalación sin necesidad de pararla. Para ello se recurre a determinadas técnicas que permiten la realización de mediciones de parámetros críticos en las mismas. Las mediciones que obtenemos se comparan con una serie de patrones de funcionamiento correcto, los cuales vienen definidos por el propio fabricante, por el departamento de mantenimiento (en caso de existir) o por una institución propia. De esta forma se detectan y analizan las variaciones encontradas y a partir de este punto se adoptan las acciones preventivas que sean necesarias y adecuadas. Entre las técnicas más difundidas aplicadas al mantenimiento predictivo podemos enumerar las siguientes: análisis de vibraciones, análisis de lubricantes, termografía, ensayos no destructivos, etcétera.

³ Realmente es una variante del mantenimiento preventivo, aunque dado su interés por parte de muchas empresas, la mayoría de las clasificaciones de tipos de mantenimiento lo distinguen como un tipo propio, separado y diferente del mantenimiento preventivo.

La principal ventaja de este modelo de mantenimiento es la de que permite ajustar con mayor precisión el ciclo real de los componentes susceptibles de recambio o renovación. En el ejemplo que poníamos antes de cambio de la correa de transmisión en un vehículo a los 80.000 km, el estado real de dicha correa seguramente puede aguantar mucho más, pero el fabricante prefiere adoptar una posición sobre segura para evitar males mayores.

Entre las desventajas que presenta están los elevados costes de los sofisticados equipos de medida necesarios (los cuales permiten obtener medidas mientras las máquinas están en funcionamiento) y la cualificación técnica del personal que realiza dichas medidas y debe interpretarlas.

4. **Mantenimiento modificativo**, el cual aglutina las acciones complementarias del mantenimiento tradicional, que optimizan los resultados de éste, como pueden ser, por ejemplo, trabajos de mejora y modificación, instalación de nuevos equipos, ampliaciones, estudio de viabilidad, etc. Todo ello encaminado a evitar posibles fallos de elementos o equipos.

2.1.7. El modelo TPM (*Total Productive Maintenance*)

El concepto de TPM hace referencia a la unión e integración de las facetas de mantenimiento y producción, dándole al propio operario la responsabilidad del mantenimiento.

La dinámica de los círculos de calidad, tan exitosa para la implantación de la calidad en la producción, se está desarrollando en el ámbito del mantenimiento. Se basa en la reunión de pequeños grupos de operarios que llevan a cabo el control del mantenimiento

para obtener conclusiones, siendo indispensable la responsabilidad individual y la jerarquización. Se impone así la filosofía de que “cada uno ejecuta y controla su trabajo” y desarrollando esta mentalidad, se definió que “cada uno cuida de su propio equipo”. En otras palabras, surge la propuesta del “mantenimiento autónomo”, siendo ésta una de las características básicas del TPM.

A continuación enumeramos cuales son las características en las que se basa el TPM:

- Tiene como objetivo la constitución de una estructura empresarial que de la máxima eficiencia del sistema de producción (eficiencia global).
- Crear mecanismos para la prevención de diversas pérdidas, siendo el límite superior el nivel “cero accidentes, cero defectos y cero averías/fallos” y teniendo como objetivo el ciclo total de vida útil del sistema de producción.
- Englobar todos los departamentos o áreas de trabajo de la empresa o institución.
- Contar con la participación de todos.
- Alcanzar la pérdida cero por actividades sobrepuestas de pequeños grupos.

2.1.8. Las “5 S” del mantenimiento

Para poder llegar a los objetivos planteados por la TPM se hace necesario conseguir entornos (de trabajo) ordenados, limpios y disciplinados. De esta manera se obtiene un marco favorable para que el operario practique el “kaizen”.

El término japonés “kaizen” significa “mejora continua”, la cual debe ser vista como el fruto de las pequeñas y continuas aportaciones de las personas que están involucradas en todo el proceso evolutivo o de servicios.

Las “5 S” serían el primer paso por el que tendríamos que pasar para la implantación del TPM. El modelo en cuestión no es una simple limpieza a fondo llevada mediante una serie de acciones puntuales, sino que más bien es una sistemática de trabajo que debe replantearse a diario.

La denominación de “5 S” proviene de los acrónimos de una serie de términos japoneses, los cuales representan los puntos objeto de atención de esta filosofía de trabajo:

- **Seiri** (Clasificar). Está relacionado con la idea de separar lo necesario de lo que no lo es.
- **Seiton** (Ordenar). La idea es la de ordenar de la forma lo más eficaz posible, minimizando lo máximo posible el número de búsquedas y el tiempo necesario.
- **Seiso** (Chequear). Mejorar las deficiencias y anomalías existentes en el equipo, útiles y herramientas.
- **Seiketsu** (Limpieza). Relacionado con la necesidad de trabajar en entornos de trabajo limpios.
- **Shitsuke** (Disciplina). Respetar siempre las reglas y ser riguroso en su aplicación.

Resulta especialmente importante, para el éxito de esta filosofía de trabajo, definir cuáles serán las parcelas concretas de responsabilidad de cada uno de los operarios que forman un grupo de trabajo, evitando de esta forma redundancias o vacíos. Como

objetivo fundamental se tiene el lograr cambios en las actitudes y mentalidad de los operarios para obtener una concienciación de la importancia de atenerse a una disciplina y responsabilizarse de la misma y de sus resultados.

Normalmente, para que los implicados se acostumbren a la importancia del programa, se establecen revisiones a los grupos de trabajo mediante las “patrullas 5 S”, en las cuales están involucradas la dirección y estamentos más elevados de la empresa/institución. Estas revisiones lo que se encargarán será de subsanar posibles deficiencias o defectos y resaltar, en el caso de existir, los logros obtenidos.

2.1.9. ¿Cómo se determina el tipo de mantenimiento que debemos seguir?

Lo primero que debemos hacer es marcar cuales son los objetivos que perseguimos con el mantenimiento. Estos han de ser compatibles con los de la empresa y obviamente variarán de unas a otras. Entre los objetivos que suelen ser más comunes estarían los siguientes:

- Maximizar la disponibilidad de equipos.
- Mantener un nivel de servicio.
- Incrementar la seguridad de trabajo.
- Aumentar la vida de las máquinas.
- Disminuir los costes de mantenimiento.
- Aumentar el valor residual (por reemplazo antes de fallo) de los equipos.

Entre la información que requeriremos para llevar a cabo un correcto proceso de elección de un plan de mantenimiento estaría la siguiente:

- a) Características del deterioro de los equipos,
 - Tiempo medio entre fallos (MTBF).
 - Modo de fallo y de su aparición (instantánea o progresiva).
 - Naturaleza del parámetro de fallo y su potencial utilización como medio de diagnóstico.
 - Tiempo de reparación
- b) Factores económicos,
 - Coste del material.
 - Coste de mano de obra.
 - Coste de una parada (planificada o no planificada).
 - Valor residual por reemplazo antes de fallo.
 - Coste del monitorizado.
- c) Factores de seguridad,
 - Usuario.
 - Manipulador.
 - Clientes.
 - Deterioro medioambiental.
 - Disposiciones legales.

Suele emplearse como aspecto técnico más destacado la influencia de la distribución del tiempo medio entre fallos (MTBF) en la elección de una política de mantenimiento y de ahí que el siguiente gráfico representa muy bien de forma esquemática cuando aplicar uno u otro tipo de modelo de mantenimiento:

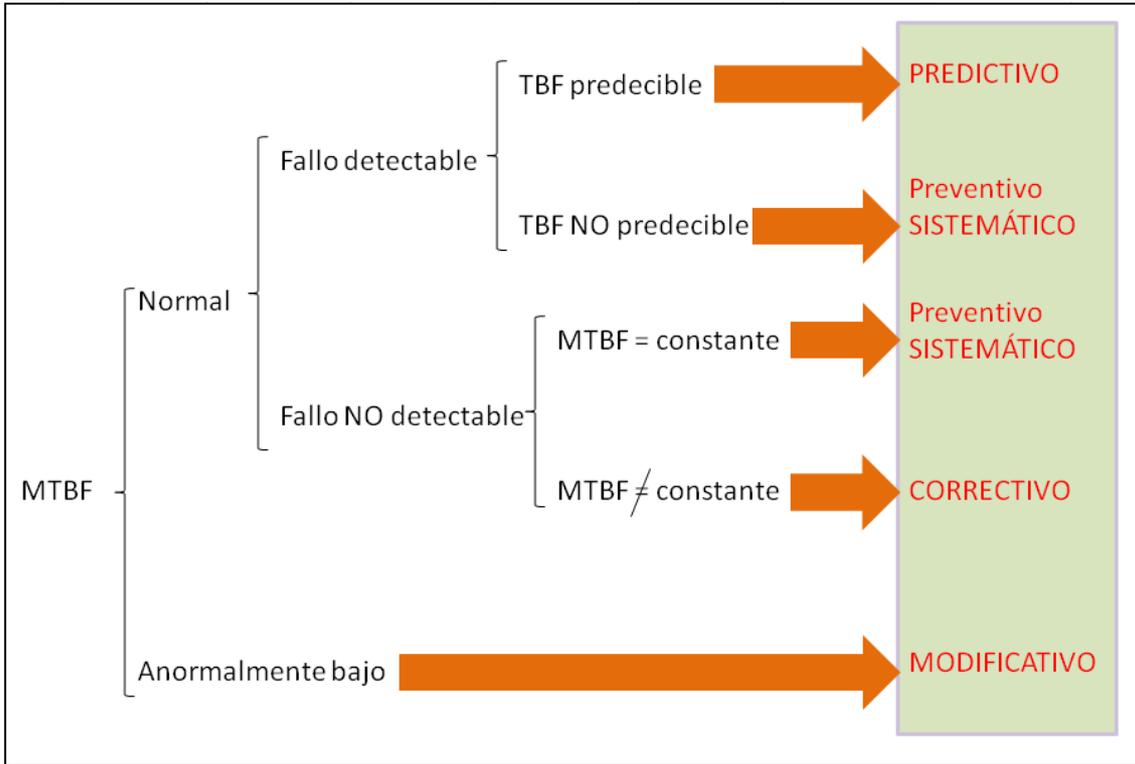


Figura 2.5: Elección de planes de mantenimiento en función de la aparición de la frecuencia de aparición del *Mean Time Between Failure* [MTBF] (Fuente imagen: Elaboración propia)

2.1.10. Aspectos económicos del mantenimiento

El objetivo último de la gestión del mantenimiento es mejorar u optimizar los procedimientos y actuaciones de manera que las metas u objetivos de la empresa se puedan alcanzar más fácilmente, con el condicionante de que la suma de los costos de mantenimiento más las pérdidas de producción o servicio causado por un mantenimiento inadecuado sean mínimos. En la siguiente figura podemos ver como existe un nivel óptimo de mantenimiento que hace que el coste total de la empresa teniendo en cuenta la pérdida de producción asociada al mantenimiento sea mínimo.

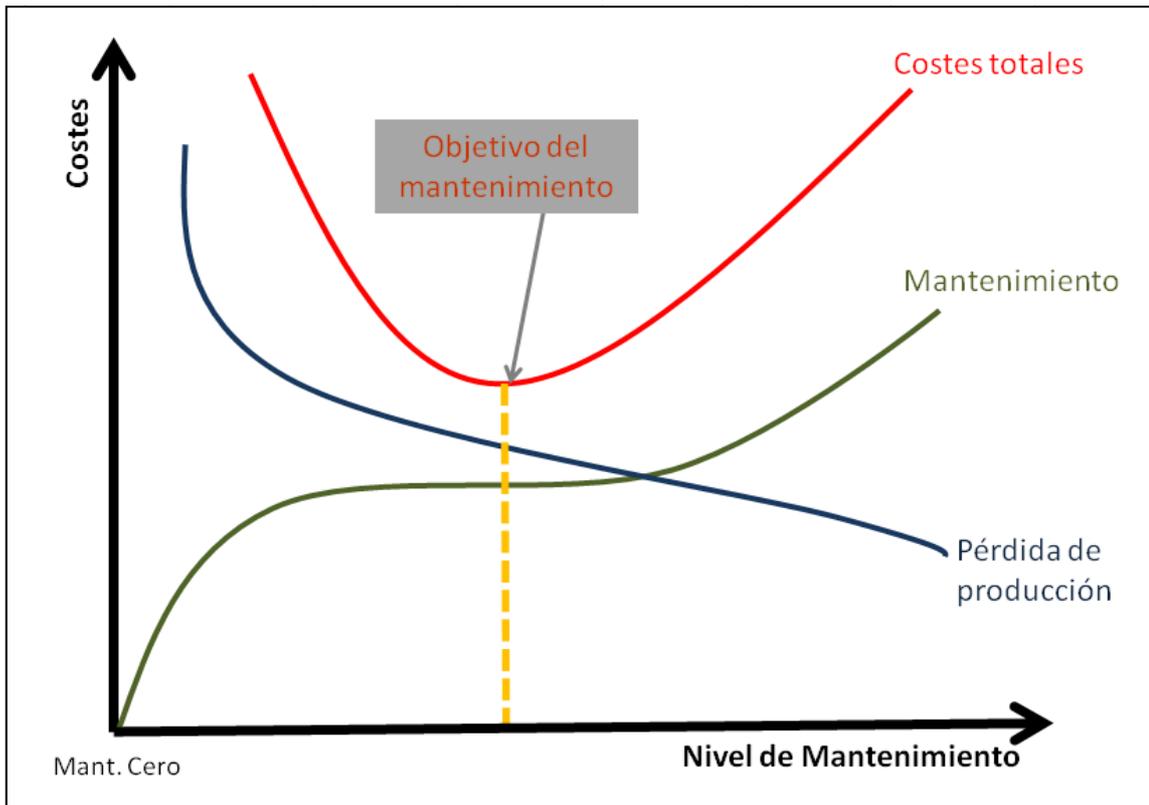


Figura 2.6: Costes de la empresa en función del nivel de mantenimiento
(Fuente imagen: Elaboración propia)

La actividad del mantenimiento está tomando cada vez más importancia dentro de las empresas e instituciones debido sobre todo a los aspectos económicos que éste implica, como son:

- El elevado coste de las inversiones que obliga a que los equipos sean más y mejor explotados con el fin de obtener mayor productividad.
- Los equipos son cada vez más sofisticados y, en consecuencia, requieren mayores costes de mantenimiento.
- La aparición de averías en equipos importantes puede llegar a comprometer el programa de actividades de la empresa, lo que puede llegar a producir una pérdida de rentabilidad considerable.

- Cuando el margen de beneficios no es muy grande, los costes de mantenimiento son muy importantes, por lo que conviene optimizarlos constantemente.

De esta forma, el análisis de los costes de mantenimiento permite al responsable del mismo tomar decisiones en cuanto a:

- Establecer un presupuesto provisional.
- Seguir los gastos en relación a lo presupuestado.
- Verificar la eficacia de la acción de mantenimiento.
- Decidir si conviene o no la contratación externa.
- Abordar el problema de renovación del material.

2.1.10.1. Costes del mantenimiento

Desde un punto de vista general del mantenimiento se pueden evaluar los siguientes tipos de costes:

a) Costes directos del mantenimiento [C_{dm}]. Son los gastos acumulados, variables y fijos, relacionados directamente con el mantenimiento, así como los ocasionados por una intervención de avería.

Dentro de estos podemos destacar los siguientes:

- La mano de obra [C_{mo}], que se calcula como el producto del tiempo invertido por el coste horario de la mano de obra.
- Los (costes fijos) generados por el servicio de mantenimiento [C_f] como, por ejemplo, los sueldos del personal,

seguros, impuestos indirectos, gastos de calefacción, alumbrado, alquiler, teléfonos, vehículos de servicio, etcétera.

- Los de posesión de repuestos, herramientas y máquinas (tasas de amortización, evaluación de pérdidas y depreciación de almacenaje, gastos de stock), además de los originados por el consumo de repuestos y material (facturas de compras, gastos de transporte, coste de repuestos, etcétera) [C_c].
- Los costes de contratos [C_e]: cláusulas económicas de contrato personal, contratación externa de trabajos, etcétera.

Así, el coste directo de mantenimiento es la suma de todos los costes particulares descritos anteriormente, quedando pues la siguiente relación:

$$C_{dm} = C_{mo} + C_f + C_c + C_e$$

b) Costes indirectos del mantenimiento [C_{im}]. Son los originados por la parada de producción o servicio imputables al mantenimiento, cuando esta ocurre por avería.

$$C_{im} = T \times T_{pm}$$

Siendo T la tasa horaria de parada (€/hora), la cual se obtiene de la relación siguiente: $T = \frac{\text{Pérdida de producción}}{\text{n}^\circ \text{ de horas de parada}}$. Por su parte, T_{pm} es el tiempo de parada de producción por causa del mantenimiento.

El tiempo total de parada (T_{pt}) menos el tiempo de parada de producción por causa del mantenimiento (T_{pm}) es el tiempo imputable a otras causas ajenas al mantenimiento (T_{pf}), como, por ejemplo, falta de materia prima, de operarios, energía, etcétera. Por tanto:

$$T_{pt} = T_{pm} + T_{pf}$$

c) Coste total de mantenimiento [C_m]. Es la suma de los dos anteriores y por lo tanto:

$$C_m = C_{dm} + C_{im}$$

Este coste también se puede obtener para un fallo en particular:

$$C'_m = C'_{dm} + C'_{im}$$

El coste total de mantenimiento tiene un óptimo que depende, principalmente, de los tipos de mantenimiento implantados, de los medios invertidos y de la organización del propio proceso de mantenimiento. En la figura siguiente se muestra una curva típica de la evolución de los costes del mantenimiento en función del tiempo de parada. Se dice que cuando el coste es elevado por exceso de mantenimiento estamos en una situación de sobremantenimiento, mientras que si es elevado debido a un excesivo tiempo de parada estaremos una situación de submantenimiento.

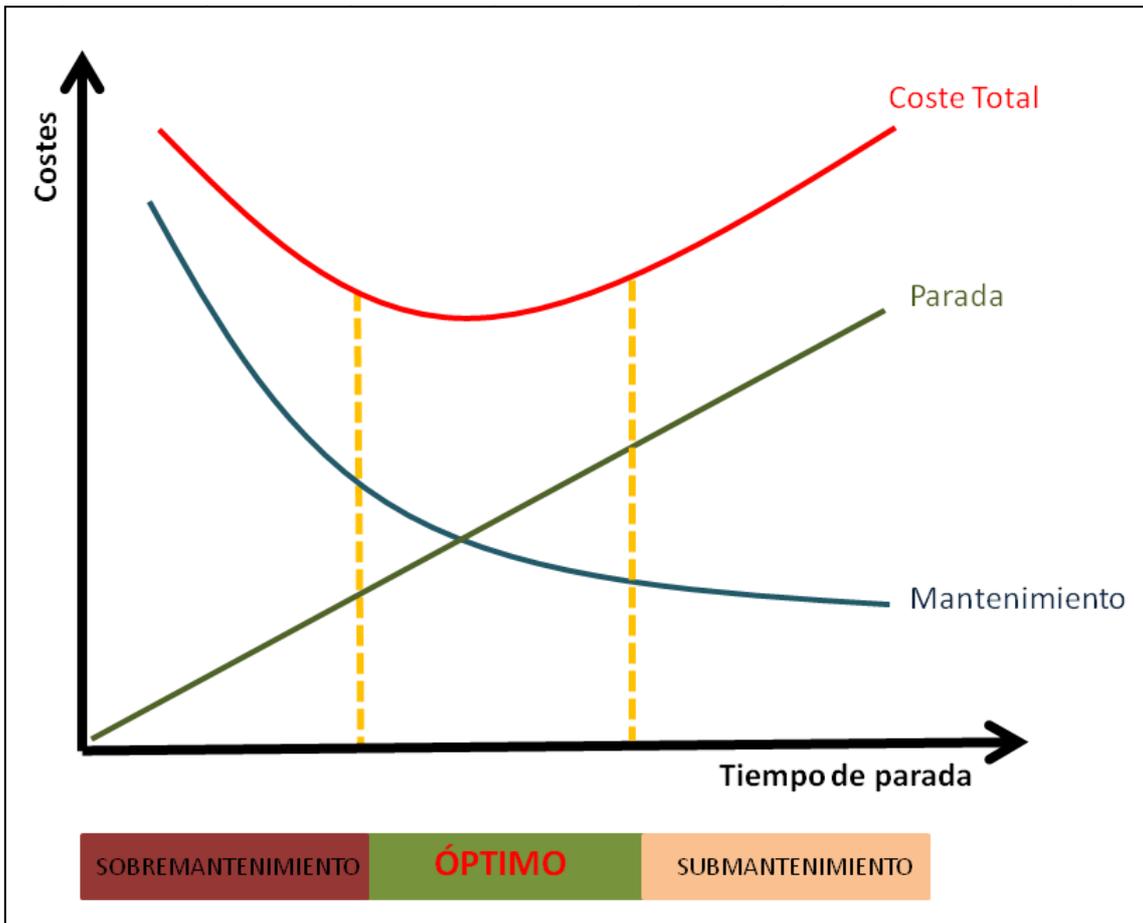


Figura 2.7: Coste total del mantenimiento en función del tiempo de parada de producción por causa del mantenimiento (Fuente imagen: Elaboración propia)

2.1.11. La Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO)

También denominado en ocasiones como CMMS, acrónimo de *Computerized Maintenance Management System*. En la práctica, un sistema GMAO es, en esencia, un Programa Informático (Software), que permite la gestión de mantenimiento de los equipos y/o instalaciones de una o más empresas o similar/es. Básicamente es una base de datos que contiene información sobre la empresa y sus operaciones de mantenimiento. Esta información sirve para que todas las tareas de mantenimiento se realicen de la forma más segura y eficaz. También se emplea como herramienta de gestión para la toma de decisiones.

Las plataformas de gestión del mantenimiento asistido por computadora pueden ser utilizadas por cualquier organización que necesite gestionar el mantenimiento de sus equipos, activos y propiedades. Algunas de las soluciones existentes están enfocadas a mercados específicos (mantenimiento de flotas de vehículos, infraestructuras sanitarias, etc.) aunque también existen productos que enfocados a un mercado general.

El software ofrece una amplia variedad de funcionalidades, dependiendo de las necesidades de cada organización, existiendo en el mercado un gran rango de precios.

Los programas GMAO suelen estar compuestos de varias secciones o módulos interconectados, que permiten ejecutar y llevar un control exhaustivo de las tareas habituales en los Departamentos de Mantenimiento como:

- **Órdenes de trabajo:** asignación de recursos humanos, reserve de material, costes, seguimiento de información relevante como causa del problema, duración del fallo y recomendaciones para acciones futuras.
- **Mantenimiento preventivo:** seguimiento de las tareas de mantenimiento, creación de instrucciones paso a paso o *checklists*, lista de materiales necesarios y otros detalles. Normalmente los programas de gestión del mantenimiento asistido por computadora programan procesos de mantenimiento automáticamente basándose en agendas o la lectura de diferentes parámetros.
- **Gestión de activos:** registro referente a los equipos y propiedades de la organización, incluyendo detalles, información sobre garantías, contrato de servicio, partes de repuesto y cualquier otro parámetro que pueda ser de ayuda para la gestión. Además también pueden generar parámetros como los índices de estado de las infraestructuras.

- **Control de Inventarios (gestión de almacén):** gestión de partes de repuesto, herramientas y otros materiales incluyendo la reserva de materiales para trabajos determinados, registro del almacenaje de los materiales, previsión de adquisición de nuevos materiales, etc.
- **Seguridad:** gestión de los permisos y documentación necesaria para cumplir la normativa de seguridad. Estos requisitos de seguridad pueden incluir Estas especificaciones pueden incluir accesos restringidos, riesgo eléctrico o aislamiento de productos y materiales o información sobre riesgos, entre otros.

Los sistemas de gestión del mantenimiento asistido por computadora se encuentran muy próximos al software de *Facility Management*⁴, dedicados a la gestión de los edificios y sus servicios. Tal es la proximidad entre ambos sistemas que, en muchos ámbitos empresariales, llegan a considerarse intercambiables.

Una tendencia en el mundo de los GMAO es la creciente sofisticación del **mantenimiento basado en el estado** del activo. Este tipo de mantenimiento incluye procesos de mantenimiento predictivo y preventivo, que pueden ser definido tan solo dependiendo del estado del activo. Las condiciones físicas son monitorizadas de forma periódica o continua en busca de atributos como vibraciones, partículas en los aceites, desgaste, etc.

El mantenimiento basado en el estado es una alternativa al mantenimiento correctivo, que se encarga sólo de reparar los activos una vez estos dejan de funcionar o el mantenimiento dependiente del uso (mantenimiento preventivo), que inicia los procesos dependiendo del tiempo de uso del activo o la lectura de algunos parámetros.

⁴ El término *Facility Management* es similar al de ‘gestión de propiedad’, pero a menudo se aplica solamente a grandes propiedades inmobiliarias o comerciales en las que la gestión y el funcionamiento es más complejo.

2.1.11.1. Funciones de los GMAO

Las funciones principales de un software de gestión del mantenimiento son:

- La entrada, salvaguarda y gestión de toda la información relacionada con el mantenimiento de forma que pueda ser accesible en cualquier momento de uno u otro modo.
- Permitir la planificación y control del mantenimiento, incluyendo las herramientas necesarias para realizar esta labor de forma sencilla.
- Suministro de información procesada y tabulada de forma que pueda emplearse en la evaluación de resultados y servir de base para la correcta toma de decisiones.
- Las distintas aplicaciones comerciales inciden más o menos profundamente en cada uno de estos puntos, originando productos adecuados para todas las necesidades. Aunque conceptualmente un software de gestión del mantenimiento es un producto genérico, aplicable a cualquier tipo de organización, existen desarrollos específicos dirigidos a algunos sectores industriales.
- Estas herramientas también deben ser adecuadas independientemente de la metodología o filosofía empleada para la gestión del mantenimiento, si bien algunos productos ofrecen módulos especiales en este sentido para facilitar su implantación.

Otra tendencia muy importante en estos momentos es la posibilidad de conectar estas aplicaciones con los sistemas de gestión de la organización ERP o bien integrarlas

completamente en estos, para facilitar el intercambio de información entre los diversos sectores implicados.

2.1.11.2. Ventajas de los GMAO

- Optimización de los recursos
 - Laborales: Mejora de la planificación, seguimiento y aplicación.
 - Materiales: Mayor disponibilidad, disminución de existencias, fácil localización.
- Mejoras en la calidad y productividad de la organización.
- Disminución de los tiempos de paro en elementos productivos. Mayor fiabilidad y disponibilidad.
- Información actualizada, inmediata de todos los componentes del proceso.
 - Mejora de los procesos de actuación establecidos.
- Posibilidad de realizar estudios y anticipar cargas de trabajo o consumo de piezas.
- Conocimiento inmediato de los gastos originados por cualquiera de los elementos controlados.
- Ajuste de los planes de mantenimiento a las características reales.

- Permitir la participación en un TPM (*Total Productive Maintenance*), sistema cuyo objetivo era eliminar pérdidas, reducir paradas, garantizar la calidad y disminuir costes en las empresas con procesos continuos (objetivo TPM: “cero accidentes, defectos y averías”).
- Trazabilidad del equipamiento, entendida ésta como un conjunto de procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permiten conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto, o lote de productos a lo largo de la cadena de suministros, en un momento dado y a través de unas herramientas determinadas. Un **sistema de trazabilidad** es un conjunto de disciplinas de diferente naturaleza que, coordinadas entre sí, nos permiten obtener el seguimiento de los productos a lo largo de cualquier cadena del tipo que sea.
- Posibilidad de implementar cualquiera de las metodologías de mantenimiento existentes.
- Mejor control de actividades subcontratadas.
- En general el control de cualquiera de los procesos implicados en el mantenimiento.

2.1.11.3. Características técnicas de los sistemas GMAO

Para tener automatizada la gestión del mantenimiento deberemos utilizar herramientas informáticas, ya que un sistema GMAO es una aplicación informática. Por

tanto, la primera tarea será elegir un sistema informático. Para ser capaz de elegir correctamente el sistema informático que resuelva nuestras necesidades, teniendo en cuenta también el precio, conviene tener algunas nociones sobre las características técnicas de los sistemas informáticos en general y de los sistemas GMAO en particular.

a) Características del software

La primera gran duda que aparece a la hora de plantearse este tema es si para nuestro caso es mejor comprar un software comercial o es mejor encargar una aplicación implementada y desarrollada a medida por una empresa de software, siendo esta opción considerablemente más cara. Los sistemas comerciales suelen ser más generalistas y, por tanto, nunca se ajustan perfectamente a las necesidades de un caso concreto. Para evitar este problema muchas empresas recurren a la compra de sistemas a medida, los cuales por ser creados específicamente para una organización concreta tienen en cuenta todas las particularidades (características inherentes) de la misma. Por esta misma razón, el coste de un sistema desarrollado a medida siempre será considerablemente superior al de los sistemas comerciales y, por ello, muchas empresas no pueden afrontar esta opción.

En cualquier caso, sea como sea nuestro sistema, éste debe cumplir una serie de características técnicas desde el punto de vista informático, las cuales son imprescindibles para el buen funcionamiento de un sistema GMAO. Entre estas enumeramos las siguientes (Lerma & Tormos, 2002):

- Integrabilidad. El sistema GMAO debe convivir con otros sistemas informáticos de la empresa y debe dejar la puerta abierta a su integración en otros programas o módulos adquiribles en el futuro. Si hacemos un análisis más profundo desde este punto de vista, deberemos exigirle a un GMAO:

- Integración funcional. El sistema deberá estar subdividido en módulos para facilitar la inversión y ser fácilmente adaptable a nuevos módulos cuando estos se vayan adquiriendo.
 - Integración con otros sistemas. Nuestro GMAO debe poder integrarse, mediante interfaces, con los otros sistemas informáticos presentes en la empresa.
 - Portabilidad. El sistema debe ser multiplataforma, es decir, debe poder funcionar con diferentes equipos informáticos, con diferentes sistemas operativos y con diferentes bases de datos. Esto permitirá utilizar la infraestructura informática disponible, así como poder adaptar el sistema GMAO a cualquier infraestructura a la que la empresa decida migrar.
- Adaptabilidad. Ante la posibilidad de que el sistema, durante de periodo de adaptación al mismo, necesita ajustes sobre su funcionalidad. Por ello, deberemos exigirle:
 - Parametrización. El sistema deberá poder adaptarse a las necesidades concretas de cada instalación con los mínimos cambios posibles.
 - Posibilidad de modificación. Para dejar abierta esta posibilidad, habrá que tener en cuenta cual es el entorno de desarrollo usado para su implementación, el cual deberá ser amigable.

- Facilidad de uso. Dado el sistema deberá ser usado por personal que no tiene por qué tener conocimientos informáticos, se le deberá exigir características que garanticen la fácil adaptación de los futuros usuarios al mismo, es decir, deberá ser:

- Interactivo. El acceso a la funcionalidad del sistema debe ser a través de pantallas interactivas (en continua comunicación con el usuario). Además deberá estar diseñado para que la comunicación entre distintos tipos de usuarios se realice mediante el sistema.

- Rápido. El sistema debe ofrecer respuestas rápidas que no entorpezcan la dinámica de trabajo.

- Fácil de usar. El sistema presentará una interfaz amigable, con una operativa sencilla basada en pantallas claras y bien organizadas, además de contar con suficientes ayudas en línea.

- Soporte post-venta. Como hemos comentado anteriormente, la implantación del sistema no termina el día en el que se compra el sistema, sino que dicho sistema deberá ser adaptable con el tiempo mediante la inserción de módulos. Por tanto, habrá que tener en cuenta la posibilidad de que el sistema se adapte a nuevas tecnologías o a nuevas necesidades, por lo que es muy importante el servicio que dará en el futuro la empresa vendedora. De esta forma, deberemos exigir:

- Actualizaciones. El fabricante debe tener una política de actualizaciones constantes del producto (parches, drivers o similares) de forma que éste se vaya adaptando a nuevos

conceptos de mantenimiento, vaya incorporando nuevas técnicas de mantenimiento y responda a la evolución tecnológica de la informática.

- Mantenimiento y soporte. El fabricante debe asegurar el buen funcionamiento del sistema ante posibles errores que pudieran surgir o posibles mejoras que se deseara introducir. Además debe proporcionar soporte a los clientes en los problemas que se les pueden presentar durante la explotación y uso del sistema.
- Apoyo en la implantación por parte del fabricante en cuanto a consultoría, para la resolución de cualquier tipo de dudas que puedan surgir en el momento de puesta en marcha del sistema.

b) Material informático

La infraestructura informática necesaria para soportar un GMAO comprende tres elementos básicamente, a tener en cuenta: hardware, software y comunicaciones. La combinación de estas tres partes dará lugar a la arquitectura base para el funcionamiento del sistema.

La parte de hardware incluye todo el material que los usuarios ven y tocan, es decir, ordenadores (servidores y puestos de trabajo), impresoras y cualquier otro tipo de dispositivos tales como lectores de códigos de barras, grabadores de CD, terminales móviles, etc. Por *servidor* se entiende un ordenador conectado a una red que se encarga de dar servicio a todos los demás ordenadores de la red, mientras que por *puesto de*

trabajo al conjunto de ordenadores conectados a una red desde donde los usuarios se conectan al sistema para trabajar y desde donde tienen conexión con el servidor.

El software incluye a todos los programas necesarios para que la aplicación funcione, es decir, desde el sistema operativo de las máquinas, gestores de bases de datos, lenguajes de desarrollo de software, hasta el paquete de software seleccionado para la gestión del mantenimiento. Un sistema de gestión de bases de datos (SGBD) es el software que da soporte para la implementación de un sistema automático de acceso, a la vez que proporciona las herramientas para la creación de bases de datos, efectúa consultas a la misma, permite introducir nueva información y actualizar la existente, ocuparse de la seguridad de las transacciones y de la gestión del acceso concurrente.

Por último, la parte de comunicaciones engloba a una infraestructura propia de comunicación que incluye redes, cableado, tarjetas de comunicación, etc. La necesidad obliga a que los diferentes usuarios de un sistema de este tipo se puedan intercomunicar entre sus diferentes puestos de trabajo para el correcto funcionamiento del sistema. Entrando más en detalle, se debe disponer de un tipo concreto de red (red de área local o LAN para distancias cortas y red de área extensa o WAN para distancias mayores). Obviamente, la infraestructura de comunicaciones depende de las características organizativas concretas de cada empresa, de las utilidades que se pretenda obtener del sistema GMAO, etc.

Respecto a las diferentes soluciones de arquitectura posibles encontramos diversos tipos:

- Monopuesto. Arquitectura consistente en un solo PC que contiene tanto los datos como la aplicación. No permite el acceso al sistema de diferentes

usuarios al mismo tiempo ni desde diferentes lugares de trabajo, siendo adecuada únicamente para pequeñas empresas.

- Cliente/servidor de dos niveles. Existe un servidor donde se encuentra alojada la base de datos y que da servicio a través de la red a todos los usuarios que se conectan desde diferentes puestos de trabajo, todos ellos conectados a la misma red. La aplicación se encuentra en cada uno de estos puestos, los cuales utilizan su propio procesador y disco duro para ejecutar la aplicación.

- Cliente/servidor a tres niveles. Ídem que el anterior, pero en este caso existen dos servidores, uno para los datos y otro para la aplicación, de manera que los puestos de trabajo se conectan a ambos servidores para hacer funcionar la aplicación, tal y como sucede con las intranets.

- Arquitectura mediante mainframe. Muy similar al anterior pero, en este caso, tanto los datos como la aplicación se encuentran en el host o mainframe corporativo y los puestos de trabajo son terminales que ni siquiera utilizan su propio procesador para hacer funcionar la aplicación.

2.1.11.4. Proyecto de implantación de un sistema GMAO

2.1.11.4.1. Etapas en el desarrollo del proyecto

Para disponer de un sistema GMAO en una empresa hay que pasar por diferentes etapas, que corresponden a la metodología de desarrollo de productos software:

1º) Estudio de requerimientos

Es la primera etapa en la concepción de un sistema informático, es muy importante ya que del buen resultado de esta parte dependerá la calidad del sistema final.

En esta primera etapa deberá aclararse que puntos piensan cubrirse con la implantación del sistema. Para ello debe conocerse perfectamente el procedimiento de trabajo en la empresa, el estado de inventariado de equipos y repuestos, el personal que utilizara el sistema y el alcance del mantenimiento a gestionar.

También en este punto debe plantearse el sistema a instalar. En principio pueden considerarse dos opciones distintas: sistema desarrollado a medida, cuyo caso se deberá contactar con la empresa encargada del desarrollo de la aplicación o paquete estándar de GMAO.

Una vez elegido el sistema a instalar se procede a la recogida de toda aquella información básica para el funcionamiento del sistema GMAO tal como inventario de activos a mantener, planes de mantenimiento o inventario de repuestos, etc.

En el caso de los activos a mantener y los repuestos de mantenimiento deben identificarse todas aquellas características que son necesarias para la gestión y para el sistema. Para recopilar esta información pueden diseñarse formularios donde incluir los datos antes de pasarlos al sistema. Es en esta misma fase cuando se definirán los planes de mantenimiento programado si aun no existen, o se revisaran los existentes si ya estaban disponibles en la empresa. Así deberán definirse el alcance de los trabajos programados, periodicidad, previsión de personal para cada trabajo, previsión de repuestos, definición de parámetros a medir en las distintas gamas, definición de procedimientos de trabajo para cada tarea, definición de instrucciones de seguridad, etcétera.

Por último, se deberá estudiar el entorno que soportara el sistema GMAO. Es decir, se estudiarán los equipos y las comunicaciones necesarias para el correcto funcionamiento del GMAO. Esto incluye tanto puestos de trabajo como servidor de datos y/o aplicación, línea de comunicaciones, tipo de red, etc.

El resultado de esta etapa de recopilación de información será:

- Funcionalidades del sistema, es decir, descripción de la información de entrada, información de salida y tratamiento interno de los datos que va a tener el sistema.
- Interfaces, es decir, el aspecto de las pantallas y las necesidades de comunicación con otros sistemas de la empresa.
- Configuración, en función de la cantidad de datos a manejar y de la complejidad de procesos a resolver, selección del material necesario, ordenadores, periféricos, etc.
- Condiciones a modificar, es decir, por el hecho de la implantación del nuevo sistema que cosas hay que prever que deben de ser añadidas o modificadas al proceso actual, por ejemplo nueva codificación, nueva documentación técnica, etc.
- Estudios de rentabilidad, es decir, establecer cuáles van a ser las ventajas que va a reportar la existencia del nuevo sistema GMAO, no solo en cuanto a costes, sino en otros aspectos como satisfacción del personal, rapidez de respuesta del departamento, etc.

2º) Decisión

Una vez identificadas las necesidades que pretenden cubrirse con el sistema GMAO, es el momento de plantearse el sistema a instalar, tomar la decisión de realizar el desarrollo o comprar una herramienta comercial. En este segundo caso se deberá seleccionar la herramienta concreta, mientras que en el primero se tomarán todas las decisiones sobre los diferentes aspectos del nuevo sistema, infraestructura a utilizar, funcionalidad a cubrir, etc.

3º) Análisis detallado

Esta etapa corresponde al equipo informático encargado de la realización del sistema (esta etapa solo se dará si la decisión pasa por desarrollar una aplicación a medida), y se trata de especificar cómo va la aplicación a resolver cada uno de los objetivos ya identificados. Así, se establecerán las transacciones a realizar. Se diseñarán las pantallas, se definirán las codificaciones a utilizar, se especificarán los procedimientos, etc. Es en esta etapa cuando el jefe de mantenimiento debe verificar si las soluciones informáticas no cambian en absoluto las especificaciones obtenidas en la primera etapa.

4º) Preparación de la puesta en marcha

En esta fase de colaboración, el equipo informático realizará la implementación de los programas que forman la aplicación, mientras que el equipo de mantenimiento deberá encargarse de efectuar las modificaciones necesarias en los procedimientos de trabajo, preparar la información que servirá de base para la nueva aplicación y prever el procedimiento a seguir para la recepción del programa.

5º) Implantación y validación

Como paso previo a la puesta en explotación del sistema, se procede a una conversión de los datos recogidos en la etapa anterior. Esta conversión puede ser:

- Proceso manual. Introducir de datos en el sistema a partir del propio sistema, los cuales se obtienen de los formularios de captura de datos.
- Proceso informatizado. En el caso de que se tengan datos en soporte informático, pueden desarrollarse una serie de procesos de conversión que trasvasen los datos del formato inicial al formato necesario para el funcionamiento del GMAO.

También previamente a la explotación del sistema, debe plantearse una etapa de formación de los usuarios del mismo, desde oficiales de mantenimiento hasta responsables de planta, además de los responsables de informática si los hubiere. Para realizarse dicha formación deben realizarse una serie de tareas:

Definición de los distintos perfiles de acceso al sistema. Esto depende de la política que quiera seguirse en cuanto a quien tendrá acceso al mismo. Existen empresas en las que el acceso al sistema está restringido a personal administrativo para el mantenimiento del sistema (introducción de datos) y a los responsables de mantenimiento (obtención de informes de gestión). En el otro extremo está el caso de instalaciones donde el acceso al sistema llega hasta los oficiales de mantenimiento que son los responsables de introducir en el GMAO los datos de los trabajos que realizan. Por lo tanto, en función de los distintos perfiles del personal que tenga acceso al sistema, y en función de las tareas que realicen con el mismo, deberán crearse una serie de grupos que tendrán una formación común y específica para su trabajo.

- Aportación de documentación para la formación. La creación de los distintos grupos de formación implica la redacción de distinto material para el curso en el que detalle específicamente el funcionamiento del sistema para aquellas funciones del mismo que atañen al grupo en cuestión.
- Definición del horario del curso. Este horario vendrá definido por la carga lectiva aplicable a cada grupo, así como de su disponibilidad. Como regla general, se suele adoptar un periodo de una o dos semanas para que el personal se familiarice con el sistema.
- Manuales. La implantación de un GMAO implica la entrega de documentación en forma de un manual de usuario con información detallada de cómo funciona todo el sistema, y que debe resolver cualquier duda con respecto a su funcionamiento. Por otra parte, se deberá entregar también el manual técnico donde se detalla cómo ha sido desarrollado el sistema para que sea fácil cualquier posible ampliación futura que podrían realizar personas diferentes a las que han participado en el desarrollo.

Una vez llevada a cabo la carga de datos y la formación se procede a la implantación del sistema y comienza el periodo de validación o garantía durante el cual la empresa receptora del sistema comprobara el buen funcionamiento del sistema y que todas las funcionalidades pactadas estén resueltas.

6º) Seguimiento post-implantación

Como paso final se tiene la fase de seguimiento, para el éxito de la cual es muy importante la asistencia in situ de personas conocedoras del GMAO que asesoren durante un cierto periodo de tiempo al personal que este en contacto con el sistema.

2.1.11.4.2. Factores críticos para el éxito del proyecto

El proyecto de implantación de un sistema GMAO tiene los siguientes factores críticos para asegurar su éxito:

- Fiabilidad de los datos de partida. Si estos datos no son precisos el responsable de mantenimiento puede encontrarse en producción con problemas tales como una mala programación del mantenimiento, incorrecta definición de fichas técnicas, definición de la estructura organizativa no optimizada o unos procesos de trabajo con el sistema que no se adecuen a las necesidades reales de la planta.
- Involucración de la dirección, la cual tiene un papel muy importante en cuanto a la definición de alcance del sistema, definición de la estrategia del mismo y en la involucración del resto del personal que trabajara con el sistema.
- Existencia de instrucciones técnicas y/o procedimientos, los cuales facilitarán el control, seguimiento y homogeneización de los trabajos de mantenimiento. La definición de los flujos de trabajo se ve facilitada si existen instrucciones técnicas además de mejorarse la exactitud de la información que se obtenga del sistema.
- Apoyo in situ. El apoyo de expertos en sistemas de gestión del mantenimiento durante las primeras semanas/meses de la puesta en marcha del sistema es fundamental para la buena marcha futura del sistema. Durante esta etapa se produce un apoyo continuo al usuario en el que se realizan las distintas tareas:
 - Revisión de la formación, lo cual supone un apoyo constante de los expertos en el sistema al personal de

mantenimiento y la resolución de todas las dudas que puedan producirse en cuanto a funcionalidad y procedimientos.

- Resolución de incidencias que puedan producirse durante los primeros días del sistema.
- Soporte técnico. Se incluye en este punto la revisión periódica de las bases de datos por expertos, revisión del software operativo de servidores de datos y aplicaciones, etc. Todas estas medidas están orientadas a conseguir una optimización del rendimiento del sistema.

2.2. La incorporación de la gestión del mantenimiento en las administraciones locales

A lo largo de este capítulo hemos establecido una visión generalista de qué es y qué supone el *mantenimiento*, un vocablo inherente a la propia evolución del ser humano. Desde el momento en que el hombre fabricó su primer utensilio de caza, surgió la necesidad de que éste estuviera en las condiciones más óptimas requerimiento para ello un afilado del mismo o un refuerzo del “cordaje” que amarraba las partes.

La visión que mucha gente del mantenimiento es la de un conjunto de acciones y/u obras que tienen por objeto reparar algún elemento deteriorado, siendo esto precisamente lo que se denomina “entretenimiento” (vocablo de origen francófono, poco acertado en español). El mantenimiento es una ciencia/técnica que tiene entre otros objetivos la búsqueda y elección de los medios para prevenir, corregir o renovar el material con el fin de optimizar costes. Hay una afirmación muy acertada en (Macián,

Tormos & Olmeda, 2007) que hace referencia a las dos fases anteriores como un proceso evolutivo en el cual se pasa del sufrimiento del material (entrenamiento) hasta el dominio del mismo (mantenimiento).

Sin embargo, el mantenimiento como ciencia compleja se aplica casi exclusivamente en el ámbito industrial, amparado por el interés de las empresas por maximizar beneficios y reducir costes. Para muchos el objetivo último del mantenimiento es el de establecer la vida útil de una máquina, lo que supone un factor clave en la política que va a adoptar una empresa.

Pero esto que suena tan sencillo en realidad no lo es tanto. Si hacemos una simplificación con un ejemplo entenderemos el contexto: cuando una empresa compra una máquina cualquiera hace un desembolso por la misma (coste de inversión), el cual es un valor inicial, único y constante. Para poner a funcionar esa máquina se necesitaran de una serie de elementos como materia prima, operarios, energía,... que son los denominados costes de explotación, los cuales, para no hacer más complejo el ejemplo, podemos considerarlos constantes con el tiempo. Si estableciéramos un parámetro denominado “coste de explotación acumulado” veríamos como éste crecería de forma lineal con el tiempo. Un último coste sería el correspondiente al mantenimiento de la máquina, el cual como sabemos por experiencia propia, va a ser considerablemente más elevado con el paso de los años.

Si sumamos los tres costes anteriores podríamos trazar en un gráfico una línea que representara el “coste total acumulado”, la cual tendría una forma de arco cóncavo. Si consideramos que la susodicha máquina genera unos ingresos regulares con el tiempo (línea de “ingresos acumulados” de crecimiento lineal), ya tendríamos todas las claves para saber cuál es el momento en que nuestra máquina es rentable y cuando no lo es.

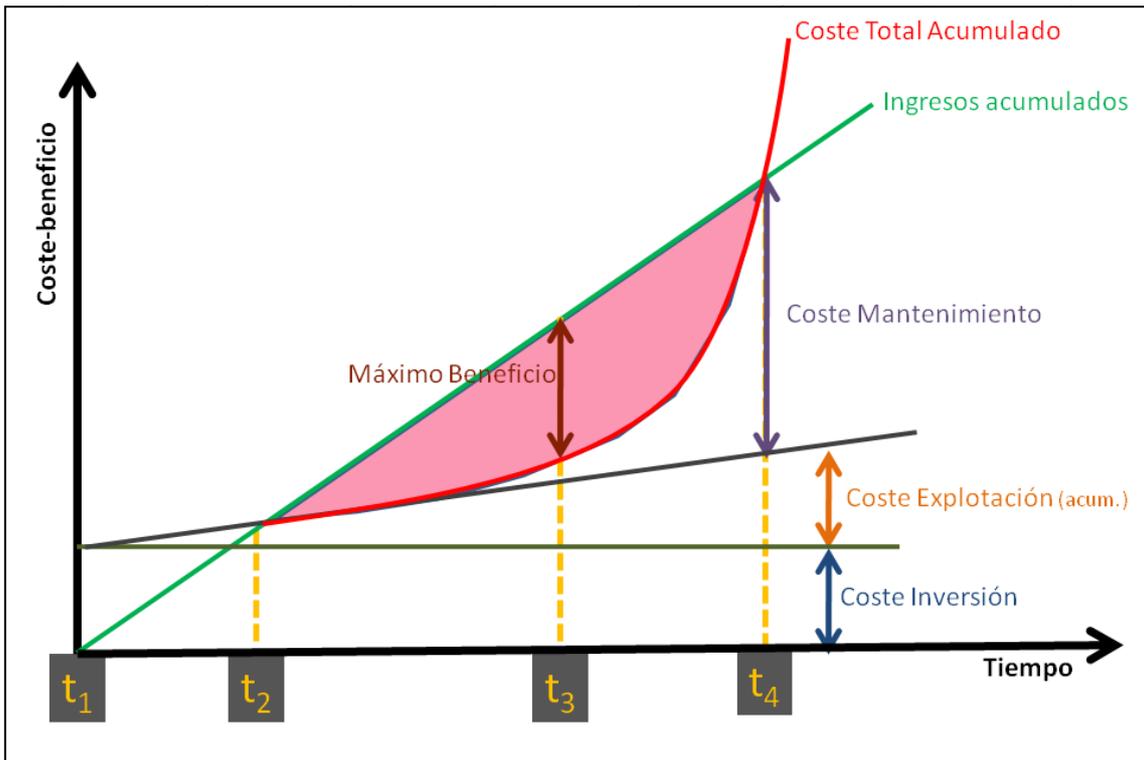


Figura 2.8: Gráfico representativo del LCC (*Life Cycle Cost*) desde el momento de toma de decisión de compra de una instalación o equipo (Fuente imagen: Elaboración propia)

El gráfico anterior representa, para el caso teórico, el coste de posesión de material (*Life Cycle Cost*), en este caso hemos supuesto una máquina. Es un caso ideal porque en él se supone que la línea de costes de explotación, al igual que la de los ingresos acumulados, presentan un crecimiento lineal y constante con el tiempo.

La lectura que podemos hacer de dicho gráfico es la siguiente: una máquina cualquiera tiene una serie de costes acumulados, los cuales son la suma de lo que nos costó inicialmente (coste de inversión), de lo que cuesta ponerla a funcionar (costes de explotación) y de lo que cuesta tenerla en perfectas condiciones (costes de mantenimiento). Esa misma máquina va a ser una herramienta de trabajo que nos va a permitir ingresar una serie de capitales a lo largo del tiempo. A la vista del gráfico vemos que el tiempo de amortización de la máquina empieza en t_2 , que es cuando los ingresos superan a los costes. Entre t_2 y t_4 (área de color rosa) la máquina nos está

reportando unos beneficios, siendo t_3 el momento en el que el beneficio es máximo. Con el paso del tiempo, los costes de mantenimiento crecen exponencialmente y es a partir de t_4 cuando los costes son superiores a los ingresos, pasando en este momento a ser una máquina no rentable.

Surge entonces la siguiente pregunta: ¿Cuál es el momento ideal para reemplazar la máquina en cuestión? Pues, aunque pueda parecer lógico decir que en t_4 es el momento idóneo lo cierto es que la solución óptima está sometida a una mayor complejidad debido a una serie de factores entre los que destaca el plan de futuro de la empresa. La adquisición de una nueva máquina supondrá un nuevo coste de inversión, el cual hasta el paso de un tiempo determinado no se logrará amortizar. Por tanto, si la empresa tiene un plan de futuro a largo plazo puede recomendarse un recambio a partir de t_4 , pero si dicha empresa no tiene un plan de futuro demasiado ambicioso puede ser recomendable el mantener la vieja máquina y afrontar sus costes de mantenimiento, porque esta solución acabará resultándole más rentable.

Este tipo de estudio y/o análisis que nos aporta el mantenimiento, adaptado hasta ahora únicamente al modelo industrial, puede ser extrapolable a cualquier nivel de la Administración en general y de las administraciones locales en particular, siendo este el caso en el que aquí nos vamos a centrar. El mantenimiento como ciencia ha de traspasar su barrera como disciplina técnica, propiedad casi exclusiva de la ingeniería industrial, para abarcar otros campos científicos.

Las razones por las que el mantenimiento ha de ser adoptado como nueva metodología de trabajo a nivel municipal son las siguientes: (a) la conversión de los municipios en simples entes gestores, (b) el cambio de modelo de crecimiento

económico a nivel nacional, (c) la crisis financiera e inmobiliaria actual, (d) la necesidad de mejora continua en la gestión municipal, (e) el mayor control por parte de niveles administrativos superiores, etcétera.

(a) Los municipios españoles de principios del siglo XX han asumido por completo su rol de administraciones locales, con mucho menos poder político del que deberían desplegar como nivel de gobierno, convirtiéndose esencialmente en entes gestores (VVAA, 2003). En este contexto surge la necesidad de emplear las técnicas más eficientes en gestión y control, entre las que podríamos hablar de sistemas GMAO, Sistemas de Información Geográfica (SIG),... Estos modelos de tratamiento de la información permiten minimizar los tiempos de trabajo (ofrecen respuestas instantáneas), aumentar la coordinación y la multidisciplinariedad entre áreas o equipos de trabajo, además de permitir un recorte considerable del personal laboral.

Tanto en sistemas GMAO como en SIG puede llevarse a cabo la gestión de diferentes tareas correspondientes a distintas áreas de una forma centralizada, con un único equipo de trabajo responsable de dichos sistemas. La coordinación es la base para el éxito tanto de una empresa como de una administración local. Es el estado ideal, pero muy difícilmente alcanzable fuera de la empresa privada. La existencia de herramientas de gestión potentes tales como la mayoría de los GMAO o SIG son una buena “excusa” para centralizar la información y llevar a cabo una gestión centralizada en cualquier nivel administrativo, incluida el local (Balsa Barreiro, 2008).

Esto genera obligatoriamente un incremento de la coordinación entre equipos de trabajo, lo que supone a su vez otra ventaja asociada: la estandarización de los datos. En consecuencia, los datos van a pasar de unos equipos de trabajo a otros, lo que supondrá adoptar unos criterios concretos de estandarización de los mismos. Por su parte, el

hecho de que un solo equipo sea el responsable del sistema de gestión supondrá un claro recorte de personal administrativo en las diferentes áreas de trabajo. A esto se une la eficiencia del sistema, lo que conllevará, a su vez, una reducción del personal dentro de cada una de las áreas o departamentos de trabajo.

Este tipo de sistemas de gestión son herramientas fundamentales de ayuda para la toma de decisiones por parte de políticos, ya que permiten llevar a cabo jerarquizaciones de las prioridades y analizar las diferentes alternativas posibles. Solamente ésta, es por sí sola, una razón de peso suficiente para la implantación de estos sistemas en cualquier nivel administrativo, ya que permite al equipo de gobierno tomar decisiones en base a una estructura coherente y a una serie de fundamentos lógicos.

(b) Por su parte, la transformación de modelo de crecimiento económico a nivel nacional ha supuesto un pequeño cambio de tendencia, el cual se verá magnificado con el paso de los años ya que, a día de hoy, estamos solamente en una fase inicial. Sin ánimo de generalizar en exceso, el crecimiento económico de España se ha basado en su gran desarrollo turístico desde la segunda mitad del siglo XX, debido fundamentalmente a una serie de factores: su proximidad a los países europeos más desarrollados, sus buenas condiciones meteorológicas, su gran litoral, su estabilidad política de cara al exterior, sus bajos precios, la seguridad ciudadana que proyectaba de cara al exterior, etc. El modelo inicial desarrollado se basó en un turismo masivo de sol y playa. Las grandes cifras de turistas supusieron un desarrollo vertiginoso del sector de la construcción, sobre todo en el litoral del mediterráneo, convirtiéndose estos dos sectores (construcción y turismo) en los dos pilares fundamentales de la economía española.

Conscientes del agotamiento del modelo y de la necesidad de desarrollar un modelo eficiente y sostenible, algunos de los gobiernos regionales han intentado diversificar su

modelo turístico y hacer un desarrollo urbanístico armónico y no masificado de sus respectivos litorales. Además, el encarecimiento de precios en España, el gran desarrollo de los diferentes medios transporte, el recorte de los tiempos de viaje y la aparición de nuevos enclaves turísticos similares en otros países más pobres han sido otros factores clave que nos ayudan a comprender los cambios en el modelo existente y la aparición de las nuevas tendencias.

El cambio en el modelo turístico ha obligado a gestionar más y de forma más eficiente, teniendo en cuenta más factores. La necesidad por desarrollar núcleos turísticos con altos índices de calidad urbanística y medioambiental obliga a no masificar espacios, dar prioridad a espacios verdes y deslocalizar la actividad industrial. Este es un fenómeno muy visible en las grandes ciudades españolas, como ha ocurrido en Bilbao, tras la inauguración del Museo Guggenheim y el cierre de toda la actividad siderúrgica en la ciudad, o en la ciudad de Barcelona, después de los Juegos Olímpicos de 1992 y la apertura de la ciudad al mar.

El primer gobierno socialista del nuevo siglo (2004-08) anticipó el fin del viejo modelo económico y se preparó para el cambio apostando por las nuevas tecnologías, el modelo I+D+i y los modelos de desarrollo respetuosos con el medioambiente: apuesta por el desarrollo de las energías renovables, Ley de Costas, modelos edificatorios de eficiencia energética, cumplimiento de los compromisos internacionales de reducción de niveles de contaminación, etc.

La crisis financiera e inmobiliaria de 2008 ha supuesto el techo, por el momento, de un sector inmobiliario que había crecido de forma exagerada en los años precedentes en base a un modelo especulativo. Muchas administraciones locales han reducido sustancialmente su nivel de ingresos ya que la construcción era su principal fuente de

recaudación de impuestos. En consecuencia, y como primera decisión ante la crisis han intentado recortar gastos “superfluos” y recortar algunos servicios básicos, aludiendo para ello a la necesidad de vivir en un clima de austeridad económica. (c) La necesidad de mejorar el modelo económico de estas administraciones locales a corto y a medio plazo pasa obligatoriamente por la necesidad de implantar sistemas de gestión eficientes que permitan a estos municipios seguir ofreciendo los mismos servicios que antes, pero ahora con unos niveles de ingresos muy inferiores respecto a los que venían teniendo.

Otro factor importante que condiciona la nueva realidad socioeconómica de nuestro país es que España ha pasado de ser país prioritario en la recepción de fondos de cohesión europeos a ser país emisor de los mismos. Los países del sur de Europa, adheridos en su mayor parte en la década de 1980 supuso el primer intento de equilibrio económico de la Europa más occidental. El fuerte crecimiento económico por parte de España desde su entrada en la CEE (1986) hasta casi la actualidad ha coincidido con la llegada masiva de fondos europeos. Para el periodo 2007-2013 España pasa de ser objetivo prioritario de recepción de fondos a ser uno de las economías más sólidas de Europa y, en consecuencia, uno de los principales países emisores de fondos junto al llamado núcleo duro (Alemania, Francia, Inglaterra e Italia).

Todo este contexto de cambio de modelo económico y de crisis económica obliga a las administraciones locales a ser más eficientes y eficaces, gestionando más y mejor. Se convierte así en necesidad acuciante el contar con sistemas gestores de gran capacidad, que permitan manejar y analizar grandes volúmenes de información, reducir gastos, que permitan estudiar las diferentes alternativas posibles y maximicen la rentabilidad de las inversiones, en el marco de austeridad económica en el que vive la Administración.

(d) La adaptación a las nuevas tecnologías y el desarrollo de nuevos procedimientos de trabajo es otro de los motivos por los que deben de adoptarse este tipo de sistemas de gestión. Los requisitos cada vez más exigentes tanto por parte de los ciudadanos como por parte de (e) los niveles administrativos superiores implican la necesidad de gestionar de forma más eficaz y eficiente a como se venía haciendo. Aparecen nuevos parámetros que deben ser tenidos en cuenta y que condicionan el tipo de decisiones a adoptar. La adición de nuevos condicionantes sólo supone la suma de nuevas capas o *layers* en los SIG o de nuevos parámetros en los sistemas GMAO, cuya información podrá cruzarse instantáneamente con el resto de la misma para ver el nivel de correlación que hay entre la misma o como cual es el nivel de afectación de unos parámetros sobre los otros.

El mantenimiento es una ciencia o técnica implantada y mejorada casi exclusivamente por el sector industrial, pero que cuenta con grandes posibilidades de desarrollo en un sector como el de las administraciones públicas, en el que apenas se ha tenido en cuenta. El mantenimiento es una técnica inherente al propio ser humano, el cual viene aplicando técnicas de mantenimiento desde el principio de su existencia. La forma más eficiente que hay de gestionar todas las tareas susceptibles de mantenimiento es, a día de hoy, mediante los sistemas GMAO, de los cuales hemos hablado largo y tendido anteriormente. Este tipo de sistemas no son sinónimos de mantenimiento, pero sí son la forma más eficiente de llevarlo a cabo ya que permiten rentabilizar dinero y tiempo.

Una correcta gestión del mantenimiento supone una gran reducción de costos, un aumento de la rentabilidad de los esfuerzos y de la eficiencia en el empleo de los recursos propios (materiales, mano de obra,...), incremento del control sobre los recursos gracias a una mejor asignación basada en estudios y experiencias previas, aumento de la eficacia de trabajo (hay más control sobre el trabajo y sobre la mano de

obra, una mejor asignación cuantitativa y cualitativa de recursos, control de stocks y materiales). En consecuencia, el mantenimiento nos permitirá hacer más y mejor.

A nivel de un municipio son tareas obligadas del mantenimiento saber en qué momento debe ser asfaltada de nuevo una vía pública, cuándo debe ser reparado el mobiliario urbano de un parque, cuántas papeleras deben ser puestas en un determinado jardín (basándonos en una experiencia previa), cada cuánto se debe hacer una limpieza de los contenedores de basuras, cuántos obreros deben de trabajar en la pavimentación de una acera, cuantas veces debemos cortar o regar el césped de un parque, etc. El número de tareas posibles es casi infinito y de ahí la gran importancia de hacer una gestión lo más eficiente posible.

Para tareas de mantenimiento preventivo (las que más nos van a interesar a nivel local) las empresas suelen recurrir a los llamados **sistemas expertos**, los cuales son sistemas inteligentes que ayudan a organizar de forma sistemática todas las tareas de una forma ordenada en función de la prioridad de cada una de las mismas. La posibilidad de crear sistemas expertos adaptados a las necesidades y problemáticas propias de las administraciones locales es una gran alternativa de futuro para la mejora de la gestión de nuestros municipios.

A la hora de implantar un sistema de mantenimiento no existe una regla general de cuál es el óptimo. El nivel de mantenimiento adecuado dependerá de numerosos factores como el tamaño del municipio, sus recursos, su estructura, la cualificación del personal laboral con el que cuenta, etc. Cada municipio tiene sus características propias que lo conforman como un caso único. El nivel óptimo es el caso ideal (mantenimiento óptimo), el cual se encuentra en un nivel intermedio entre los estados de

sobremantenimiento y el submantenimiento, los cuales “pecan” por exceso y por defecto respectivamente.

Muchas empresas y/o administraciones locales se decantan por subcontratar a una serie de empresas tanto las tareas de mantenimiento como su propia gestión. Esta opción tiene sus aspectos positivos, pero también una serie de contras de gran peso como la pérdida del control del mantenimiento, tanto en el sentido positivo como en el negativo, y pérdida del *know how*, lo que desemboca en la dificultad para ponerse al día respecto a las nuevas técnicas, medios, tecnologías, conocimientos, etcétera.

2.2.1. “Valencia siempre nueva”: Reparación de deficiencias en vía pública en 72 horas

Desde hace unos años, muchos municipios españoles han puesto marcha un servicio de reparación de desperfectos en el mobiliario urbano o en la pavimentación de las calles/aceras. Este servicio tiene la gran novedad de que desde el momento de comunicación del desperfecto, las autoridades locales se comprometen a repararlo en un periodo de tiempo muy corto.

El *Ajuntament de Valencia* puso en marcha en noviembre de 2005 un servicio innovador llamado “Valencia siempre nueva”, cuyo objetivo es la reparación en un plazo máximo de 72 horas (3 días) todas las posibles deficiencias en la vía pública que sean denunciadas por los ciudadanos a través de un teléfono de atención gratuita durante las 24 horas del día. Entre las posibles deficiencias que contempla el servicio estarían

las siguientes: desperfectos en el pavimento, como baldosas levantadas, rotas o sueltas, socavones en el asfalto, y mobiliario urbano de las aceras.

Si hay algo que caracteriza positivamente a este servicio es el alto grado de “feedback” o comunicación de retorno con los ciudadanos", pues al 100% de los vecinos que dejaron un aviso se les comunica el estado de la reparación, lo que supone acercar la política a los problemas reales de la calle a través de un servicio rápido y eficiente.

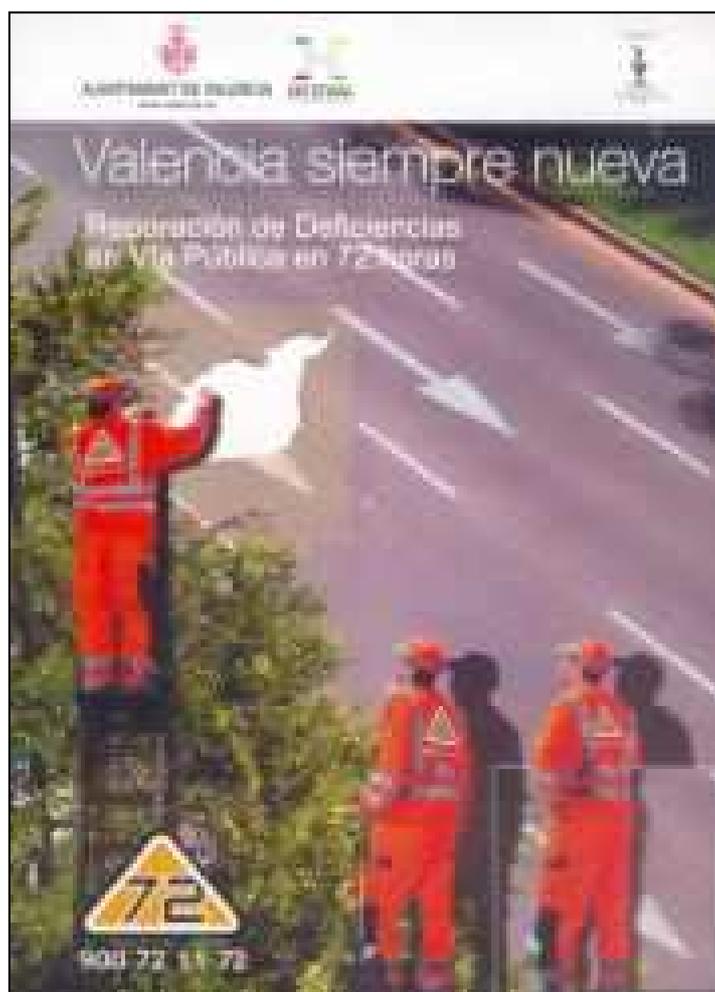


Figura 2.9: Cartel indicativo del servicio “Valencia siempre nueva”.
(Fuente imagen: Ayuntamiento de Valencia, 2005).

Los servicios de este tipo tienen una serie de ventajas muy claras como el hecho de que son programas muy populares y muy próximos al ciudadano, los cuales acercan el

gobierno local a los problemas más básicos de los ciudadanos, dando una respuesta eficaz y rápida ante cualquier eventualidad o problema que pueda surgir en un momento determinado. Además, permiten a las autoridades locales sacar una serie de conclusiones relacionadas con el nivel de concentración de requerimientos del servicio, nivel de descontento popular con sus infraestructuras, niveles de vandalismo, etc.

Este tipo de servicio obliga a tener en cuenta técnicas de mantenimiento y de localización espacial, para poder así dar una respuesta rápida y eficaz en el momento en el que se produce una llamada por parte de un ciudadano. Además, el ayuntamiento tendrá que tener una serie de stocks o almacenes de materiales, listos para ser usados en cualquier momento. Por ejemplo, en el caso del pavimento de aceras, el consistorio tendrá que tener almacenados una serie de excedentes de todos los tipos de pavimento empleado en las distintas partes de la ciudad. Y lo mismo pasaría con el mobiliario, ya que normalmente las farolas, papeleras y bancos (por citar algunos ejemplos) son diferentes en las distintas partes de la ciudad.

Entonces surge la duda de siempre: ¿Cuál es el nivel de almacenamiento que deben tener de cada uno de estos recursos? La respuesta pasa obligatoriamente por la necesidad de hacer un estudio previo y elaborar un sistema de gestión de los recursos y del mantenimiento de los mismos (sistemas GMAO).

Pero falta una parte muy importante para el funcionamiento óptimo de este tipo de programas: la localización de las incidencias. Un ciudadano anónimo puede llamar al servicio y decir que delante de su edificio (el cual tiene un número asignado y está en una calle determinada) hay un socavón. En este caso la localización es bastante precisa y seguramente los operarios podrán llegar al lugar del incidente sin ningún problema. Pero el problema no tiene una solución tan fácil si el incidente se produce, por ejemplo,

en un parque. La solución en este caso pasa por la necesidad de contar con sistemas de localización espacial (navegadores GPS, PDA+GPS, imágenes aéreas), los cuales dotaran de coordenadas a un punto cualquiera haciéndolo localizable fácilmente una vez identificado.

El hecho de que servicios de este tipo cuenten con sistemas de georreferenciación espacial tipo SIG está justificado además porque este tipo de programas pueden ser la base para comprender el porqué una serie de incidentes se producen en una zona y no en otra o cual debe ser la distribución de los recursos materiales empleados en los diferentes almacenes de la ciudad. Si hacemos un mapa de donde se producen los mayores desperfectos en mobiliario urbano sabríamos de forma inmediata cual es el nivel de concentración del vandalismo de la ciudad y cuál debería ser la zona más vigilada. Además veríamos rápidamente, cruzando simplemente las variables espacial y temporal, el éxito o fracaso de las políticas empleadas. Y de la misma forma, podríamos hacer, por ejemplo, una redistribución del tráfico en función del peso y del tamaño de los camiones en base a un mapa de la aparición de socavones en las calles de la ciudad, etc.

3

Sistemas de información geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema para la gestión, análisis y visualización del conocimiento geográfico, el cual puede ser estructurado en diferentes conjuntos de información:

- **Mapas interactivos.** Proporcionan una visión interactiva de la información geográfica, la cual permite dar respuesta a cuestiones concretas y tomar decisiones en función de las respuestas a las cuestiones planteadas. Los mapas proporcionan al usuario las herramientas necesarias para interactuar con la información geográfica.
- **Datos geográficos.** En la base de datos se incluye información vectorial y raster, Modelos Digitales del Terreno (MDT), redes lineales, información topográfica, topologías y atributos.
- **Modelos de geoprocésamiento.** Son flujos de procesos que permiten automatizar tareas que se repiten con una cierta frecuencia, pudiendo enlazar unos procesos con otros.
- **Modelos de datos.** La información geográfica en la *geodatabase* es algo más que un conjunto de tablas almacenadas en un *Sistema Gestor de Bases de Datos* (SGBD). Incorpora, al igual que otros sistemas de información, reglas de comportamiento e integridad de la información, todos ellos elementos que juegan un papel fundamental en los SIG.
- **Metadatos.** Son los datos que describen la información geográfica, los cuales facilitan información como el nombre del propietario, formato, sistema de coordenadas o extensión de la información geográfica. Un *catálogo de metadatos* permite al usuario organizar, realizar búsquedas y acceder a la información geográfica compartida. Cualquier catálogo de metadatos debe tener

herramientas disponibles para la generación, edición y sincronización de forma automática con la información que describen los metadatos.

Los SIG facilitan el enlace de la información geográfica (¿dónde están las cosas?) con la información descriptiva (¿qué son las cosas?). A diferencia de la cartografía tradicional (en papel), un SIG puede presentar sobre un mapa de una determinada región, de manera interactiva, varias capas que se superponen y que contienen información temática como; por ejemplo, recursos naturales, asentamientos humanos, edificios educativos, redes de transporte, usos del suelo, áreas geológicas, etc.

La representación de la información en los SIG se dispone en diferentes capas o *layers*. Una capa en un SIG se basa simplemente en un conjunto de números georreferenciados (formato raster) o grupos de coordenadas que definen la ubicación de los objetos espaciales (formato vectorial). Para su óptima visualización es necesario aplicar una paleta de colores para así discernir fácilmente el tipo de información visualizada en cada momento.

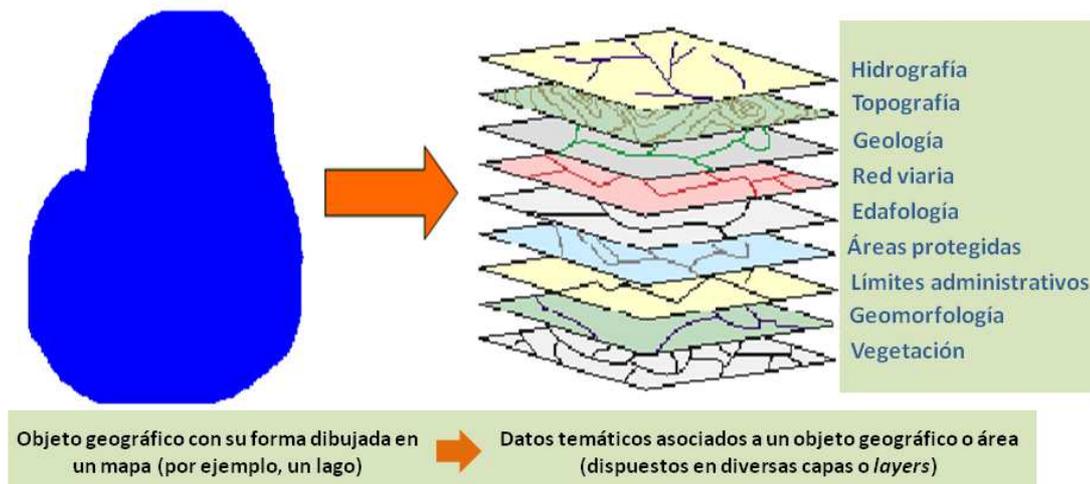


Figura 3.1: Disposición de la información dentro de un SIG en capas o *layers*.
(Fuente: Elaboración propia)

En el mundo real, a pesar de la aparición de los SIG, la forma de presentar un mapa sigue siendo la propia de la cartografía analógica y se requiere de la introducción de elementos como escalas, títulos, mallas, leyendas (entre otros) heredados de la cartografía tradicional. Así, los SIG suelen tener herramientas más o menos sofisticadas empleadas en exclusiva para la producción de mapas (producción cartográfica).

3.1. Definición de Sistema de Información Geográfica (SIG)

3.1.1. Introducción

La aplicación de los SIG o GIS (según el acrónimo en inglés “*Geographic Information Systems*”) sólo tiene sentido cuando los objetivos perseguidos son complejos. Muchos valedores de los SIG consideran a esta tecnología de la información como un medio para ofrecer grandes dosis de eficacia de cara a la gestión de datos.

Un SIG, en una organización/empresa/institución, es una “componente” que puede llegar a ser fundamental para la eficacia y/o eficiencia del mismo: aporta eficacia a la *integración horizontal* de los registros digitales de información, como por ejemplo para el control urbanístico, la fiscalización de la propiedad o los censos de población. También aporta eficacia para el *intercambio vertical* entre niveles jerárquicos, como el directivo, el de gestión y el operativo. Como cualquier sistema de información, un SIG precisa de una persona responsable encargada de la gestión del sistema, la cual se asegure y garantice el buen funcionamiento del mismo.

Pero además, un SIG es una tecnología que supone un incremento de la eficacia productiva y un mayor control de la organización y/o del proyecto. Como muy bien

estableció *Huxhold*, toda institución, pública o privada, tiene tres tipos de niveles jerárquicos o verticales: el operativo, el de gestión y el directivo o político. El primero de ellos, el operativo, agrupa a la mayoría del personal y se ocupa de la producción o entrega de un bien o servicio. El nivel de gestión traduce las decisiones políticas o de dirección en planes de actuación, mientras que el nivel directivo fija las líneas de la organización, asigna recursos y regula su funcionamiento con la adopción de normativas.

La información entre estos fluye bidireccionalmente en sentido vertical facilitándose así la puesta en marcha de un sistema de información. En sentido ascendente, el flujo aporta información del cumplimiento de las decisiones ordenadas, las cuales fluyeron previamente en sentido descendente.

En las organizaciones que gestionan el territorio, una proporción muy elevada del número total de tareas está basada en la información localizada o localizable en el espacio. Una gran parte de estas organizaciones empezaron a recoger, desde la década de 1960, la información de muchas tareas y, en la actualidad, disponen de diversos sistemas específicos los cuales son integrados en un ordenador central de tipo *mainframe* y dispuestos de forma horizontal, lo que permite el manejo de un gran volumen de información. Su explotación alfanumérica (textos y listados estadísticos) y gráfica suele ser óptima para las tareas propias de cada sistema.

Un SIG permite una integración vertical y horizontal efectiva de toda la información georreferenciable en una organización. Horizontal porque la georreferenciación de todos los datos, de forma directa (sistema de coordenadas geográficas) o indirecta (dirección postal, municipio, punto kilométrico) permite romper las barreras interdepartamentales. Así, no es necesario introducir físicamente todos los datos en una única base de datos,

ya que tal cosa sería, en muchos casos, económicamente inviable. La integración horizontal pone de manifiesto las inconsistencias de un mismo fenómeno en diversos registros. Por ejemplo, permite identificar “ciudadanos infractores”, como los residentes de un municipio –registrados en el *Padrón Municipal de Habitantes*–, con un uso productivo del edificio –registrado en el *Censo de Viviendas* o en el *Inventario de Actividades Clasificadas*, pero que no tributen fiscalmente por eso (visible esto en el *Impuesto de Actividades Económicas*)– o declaren una superficie del edificio donde realizan la actividad industrial o comercial anormalmente baja en comparación con la de sus vecinos –en el *Impuesto de Bienes Inmuebles*–. En consecuencia, la integración horizontal supone invertir menos tiempo en buscar, encontrar, elaborar y entregar una unidad de información, y dedicar más tiempo a analizarla, pudiendo emplear esta diferencia de tiempo en una mejor aplicación y en un mejor uso de la misma. Este modelo de integración supone, por lo tanto, un incremento de la productividad.

Por su parte, la integración vertical tiene su base en la capacidad de agregar y desagregar los datos, en poderlos analizar en un tiempo suficientemente rápido con el objetivo de satisfacer el ritmo en el momento de la toma de decisiones. Un SIG desarrolla eficazmente este rol dentro de una organización gracias, entre otros factores, a su facilidad a la hora de manejar datos georreferenciados. La integración vertical es básicamente estratégica, ya que asegura un mayor control de toda la organización y de todo el territorio administrado.

La puesta en práctica de la tecnología SIG en la ciencia geográfica, hace algo más de veinte años, supuso una evolución importante en la aplicación de nuevas técnicas de investigación geográfica ante diversos problemas del mundo real. Las líneas de investigación y, sobre todo, la metodología aplicada en las ciencias sociales (geografía, economía, sociología) se vieron favorecidas por la difusión de los SIG, por el desarrollo

de nuevas técnicas informáticas y por el abaratamiento relativo del coste de los equipos, lo que permitió su adquisición para el procesamiento y análisis de una gran cantidad de datos e información. Por otra banda, la evolución propia de la cartografía y la necesidad por parte de las diversas ciencias sociales por actualizar constantemente sus resultados y ver la incidencia de los mismos en el espacio conllevó al desarrollo de la *cartografía automática*.

La heterogeneidad de usos de estas nuevas técnicas se manifiesta en el hecho de que los diferentes usuarios y organismos, públicos o privados, tienen necesidades diferentes y particulares. De hecho, todas las aplicaciones de SIG que podemos mencionar son un ejemplo que constata el hecho de que ésta es una tecnología multidisciplinar, empleada en áreas de conocimiento muy diversas. Obviamente, no sólo la emplean los geógrafos sino que también profesionales técnicos como ingenieros, arqueólogos, urbanistas arquitectos paisajistas e informáticos, los cuales hacen un uso casi cotidiano de los SIG, confiriéndole cada uno de ellos un matiz diferente, intrínseco a cada una de las disciplinas a las que pertenecen.

La difusión de los procedimientos automatizados para generar cartografía temática tuvo que superar las limitaciones tradicionales presentes en este campo. Con estos procedimientos, la creación, el mantenimiento y la actualización de la cartografía permiten no solamente agilizar la presentación de resultados, sino que también permiten representar la información del mundo real en una serie de capas para su posterior estudio y análisis. Del mismo modo, podremos expresar en mapas o planos la realidad espacial cambiante.

Dado que los fenómenos que se producen en la superficie terrestre no son estáticos, podremos representar este dinamismo en la cartografía que realizamos. Eso implica

considerar la variable “tiempo” como un parámetro fundamental en el análisis geográfico. De la misma forma, podremos manejar una gran cantidad de información: general, territorial, urbanística, de detalle o específica sobre casi cualquier hecho puntual que nos interese representar para así visualizarlo en diferentes escalas (gracias a la cartografía automatizada) dentro de cualquier proyecto de ordenación del territorio.

Los SIG pueden ser vistos como un medio cuyo objetivo es la eficacia en el tratamiento de la información con la que se trabaja. Es una herramienta de gran potencia, lo que supone dos consecuencias simples:

- 1) Como toda herramienta potente necesitará ser gestionada por personal competente, que conozca el *modus operandi* del sistema.
- 2) La base del buen funcionamiento del sistema obliga a que la información introducida esté siempre actualizada, siendo ésta la clave para el éxito del sistema.

3.1.2. Definición

Debido a la complejidad del término, no existe una definición consensuada acerca de lo que es un SIG y, por esta razón, dedicamos este apartado a razonar y concretar una definición que nos pueda resultar útil para seguir avanzando en su conocimiento.

El término en cuestión tiene varias acepciones y puede ser enfocado desde diferentes puntos de vista. Son múltiples las definiciones comúnmente aceptadas sobre lo que es

un SIG, pero debemos hacernos a la idea, en una primera aproximación, de que hay tres perspectivas sobre las que podemos enfocar este concepto:

a) SIG como software o programa informático.

b) SIG como proyecto y/o sistema de información orientado a la gestión o planificación territorial.

c) SIG como campo de trabajo de múltiples disciplinas profesionales, orientado principalmente al análisis espacial dentro de la *Ordenación del Territorio*.

(a) La primera de las acepciones comentadas es la más frecuente y es aquella que considera a un SIG simplemente como un programa informático y de ahí que sólo haga referencia a diferentes productos comercializados, como son *Geomedia*, *ArcGis*, *gvSIG*,... es decir, únicamente se alude a los programas informáticos o al software y no al resto de componentes del sistema de información.

(b) La segunda acepción comentada anteriormente concibe un SIG como un todo, un sistema integrado por cuatro componentes principales (software, hardware, información geográfica y personal especializado). Esta acepción aparece, por ejemplo, cuando nos referimos, entre otros, al SIG Catastral (SIGCA), al SIG del Ejército (SINFOGEO) o al Sistema de Información para la Planificación Hidrológica (SIPH).

Definición de SIG [2ª acepción]



Figura 3.2: Componentes de un SIG – relación con la segunda definición del término SIG –.
(Fuente: Elaboración propia)

(c) La tercera acepción sirve para referirnos a un campo profesional y científico que tiene vida propia. Se habla así del sector de los SIG como una comunidad de agentes ligados a los negocios, a la tecnología y sobre todo a la disciplina de la información geográfica que emplea una herramienta privilegiada para el análisis, la planificación y la gestión del territorio.

Para algunos autores, la diversidad del sector toma forma con diferentes enfoques o puntos de vista excluyentes: el cartográfico, las bases de datos y/o el análisis espacial.

- El primer enfoque es el cartográfico (defendido por autores como *Berry* y *Dana Tomlin*), el cual es defendido por un gran grupo de usuarios. Este enfoque se basa en la concepción de un SIG como un instrumento para el manejo de cartografía automática, temática y para la modelización cartográfica. La producción cartográfica en su sentido más amplio determina los datos que han de ser empleados, la estructura que organiza las bases de datos y la forma de representar tales datos. Este enfoque es el propio de organismos productores de cartografía digital o analógica oficial tales como, por citar dos ejemplos a nivel nacional, el *Instituto Geográfico Nacional (IGN)* o el *Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC)*.

□ El segundo enfoque, apoyado por autores como *Laurini, Thomson y Guimet*, concibe a un SIG como un tipo especial de base de datos. El énfasis radica en las características y en el funcionamiento de dicha base de datos, llevándonos a un punto de vista propio de organismos dedicados al uso de la información geográfica para la gestión cotidiana del territorio como, por ejemplo, cualquier administración municipal, el Catastro o cualquier empresa de servicios públicos.

□ El tercer enfoque, defendido por autores como *Goodchild, Haining, Wise, Ottens y Bosque Sendra*, es el que entiende a los SIG como sistemas capaces de poner en práctica procedimientos relacionados con los análisis espaciales, siendo éste un punto de vista muy extendido entre las entidades dedicadas al estudio y análisis del territorio. Ésta es una visión propia de los centros de estudios, de las universidades, de los centros de investigación y de los departamentos de planeamiento urbanístico.

La confusión terminológica es un espejo de la situación dinámica e hiperactiva del sector de los SIG desde finales de los años 1980, lo que supone una confusión debida básicamente a un conjunto de tres factores: (a) la disparidad de las actividades, (b) la orientación comercial del sector y (c) el proceso acelerado de desarrollo tecnológico.

- Sobre el primer factor, ante el gran abanico de disciplinas científicas, actividades económicas y profesionales que emplean la información geográfica, varias ciencias intentaron, sin éxito, monopolizar los SIG a partir de la popularidad de los mismos desde mediados de los años 1980. Los intentos de oligopolio fracasaron porque desde sus inicios los SIG se alimentaron tecnológicamente de los avances de diversas disciplinas,

como la Geografía, la Cartografía, la Ingeniería Civil en general, las Matemáticas, la Informática o la Topografía.

- El segundo factor explicativo es la vertiente comercial. Por mencionar algunos datos, los departamentos de Geografía de las diferentes universidades españolas implantaron a finales de los años 1980 y principios de 1990 (con mayor o menor retraso) las primeras herramientas informáticas relacionadas con el mundo de los SIG. En 1995, las licencias de productos de la casa ESRI (una de las principales casas comerciales) llegaban a las 1.481 con una progresión vertiginosa: 200 en 1992, 400 en 1993 y más de 600 en 1994. El incremento de ventas del número de licencias ha sido espectacular en los últimos años (niveles de crecimiento anuales de entre el 25 y el 40%) en prácticamente todos los departamentos universitarios relacionados con el estudio de la variable espacial
- El tercer factor explicativo, disgregador y estimulador a la misma vez, es el centrado en la constante evolución tecnológica de la informática en general y de los SIG en particular. La juventud y la rápida evolución de la tecnología SIG ha tenido múltiples repercusiones, algunas de ellas muy positivas.

Frente al dinamismo del sector, parece comprensible que hoy “convivan” una larga lista de definiciones, tantas como usos posibles hay de estos sistemas, siendo las expuestas a continuación algunas de las más representativas:

Así, un SIG puede ser definido como una “base de datos computerizada que contiene información espacial”, o también como “una tecnología informática para gestionar y analizar la información espacial”.

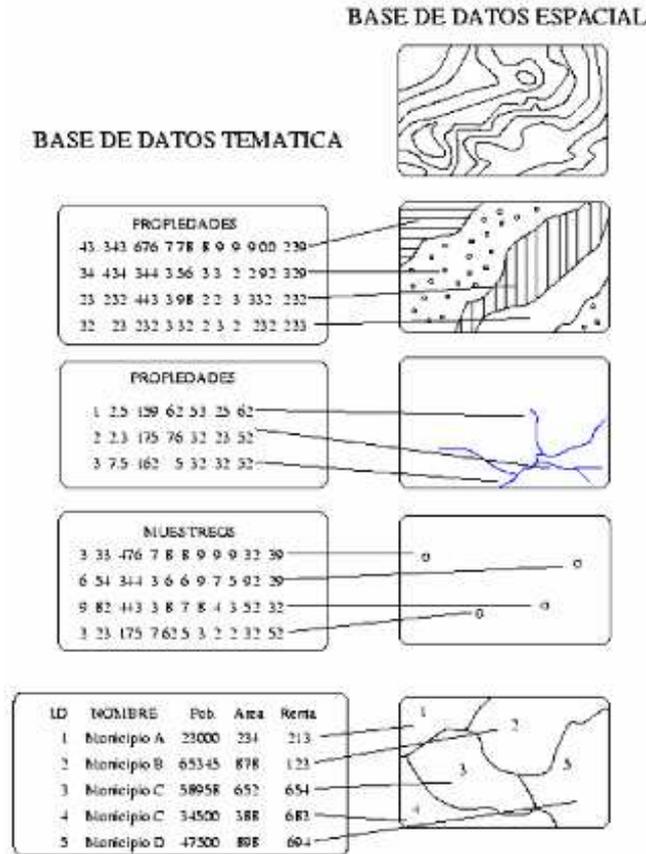


Figura 3.3: Esquema de la base de datos de un SIG. (Fuente: Alonso Sarria, 1996)

Otra definición, quizás más extendida durante algunos años, fue la que asimilar un SIG como “un conjunto de herramientas para reunir, introducir [en el ordenador], almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos”.

Con un sentido similar podemos mencionar la siguiente: “Sistema digital para el análisis y manipulación de todo tipo de datos geográficos, con el fin de aportar información útil para las decisiones territoriales”. En el mismo sentido podemos

hacer referencia a la siguiente: *“Sistema para capturar, almacenar, validar, integrar, manipular, analizar y representar datos referenciados sobre la Tierra”*.

Otros autores prefieren insistir más en la parte del software: *“Un SIG es un sistema informático capaz de realizar tareas para el manejo de los datos georreferenciados: entrada, almacenamiento, recuperación, manipulación, análisis y representación”*, o también: *“Un SIG es un tipo especializado de base de datos, que se caracteriza por su capacidad para manejar datos geográficos, es decir, referenciados espacialmente, los cuales se pueden representar gráficamente como imágenes”*.

Finalmente, es importante citar la definición realizada por el NCGIA (*National Center for Geographic Information and Analysis*) de los EEUU en la que se define un SIG como *“un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión”*.

De un modo más simple e inmediato, un SIG puede ser visto como un conjunto de capas de información digital con tablas de datos alfanuméricos asociados y referidos a la misma porción del territorio. Así, es posible llevar a cabo análisis de las características espaciales y temáticas de una zona de estudio con el fin de obtener un mejor conocimiento de la misma para, a partir de ahí, llevar a cabo los procedimientos de análisis y estudio oportunos.

En las definiciones anteriores no queda muy claro el propósito práctico, a pesar de ser éste uno de los aspectos más importantes, ya que un SIG es básicamente una tecnología aplicada a la resolución de problemas territoriales. En principio, las áreas de

uso práctico de un SIG son muy variadas: desde el inventario de los recursos naturales y humanos hasta el control y la gestión de los datos catastrales y de la propiedad urbana/rústica (catastro/registro multipropósito), la planificación y gestión urbana, junto a la de los equipamientos asociados, la cartografía y el control de grandes instalaciones (red telefónica, redes de abastecimiento y evacuación de las aguas, redes de transporte,...), el marketing geográfico (*geomarketing*), etc. Así, con ánimo de sintetizar el problema, diremos que un SIG es un sistema complejo útil en cualquier área en la que sea necesario el manejo de información espacial.

Los SIG forman parte de un ámbito más extenso conformado por los denominados “*Sistemas de Información*” (SI), que pueden ser definidos como “*sistemas [informáticos o no] creados para dar respuesta a cuestiones no predefinidas de antemano*”. Por lo tanto, un SI está conformado por una serie de bases de datos y de conocimiento (conjunto de procedimientos de análisis y manipulación de datos), además de por un sistema de interacción con el usuario.

Estos mismos elementos están presentes en la organización general de un SIG. Un elemento muy vinculado a los SI son los *Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones* (SATD), que constituyen un nuevo paso adelante y conforman un instrumento especializado de más potencia, aunque de un uso más parcial. En ellos, las bases de datos y las de conocimientos (reglas,...) se estructuran para servir de ayuda a la toma de decisiones, facilitando posibles simulaciones acerca de lo que podría suceder en el caso de adoptar una postura u otra. Los SIG son, en algunos casos, y de forma simultánea, un *Sistema de Información* (SI) y un *Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones* (SATD).

El contexto general donde van a surgir y donde se están desarrollando los SIG, tal y como fueron definidos, es el de la “*sociedad de la información*” o el de la más

recientemente aparecida “*economía de la información*”. Estos tipos de organización social otorgan un papel esencial a la disponibilidad rápida y oportuna de la información, la cual permite resolver problemas y contestar a las preguntas planteadas de un modo más inmediato. En este modelo organizativo los SI tienen un papel central, en cierta manera semejante al de las empresas siderúrgicas o de las fábricas de automóviles en las fases anteriores a la Revolución Industrial. El punto clave de todo este proceso es “la comercialización o el mercantilismo” de la información, la cual ha pasado a ser un bien económico más, que se compra y se vende, como otros muchos. En esta situación, las técnicas de análisis geográfico (empaquetadas en un SIG) ofrecen la posibilidad de revalorizar la información, ofreciendo excelentes oportunidades para muchas aplicaciones en el mundo real. Así, las nuevas tecnologías (informática, organización del conocimiento, inteligencia artificial, los nuevos sistemas de telecomunicaciones,...), además de estructurar a la denominada “*sociedad de la información*”, conforman la piedra angular de los SIG.

En los últimos años, numerosos autores han planteado un debate sobre el verdadero significado y esencia de los SIG, en especial para diferenciarlos de los programas de *Cartografía Asistida por Ordenador* (CAD) o de los programas de gestión de bases de datos (SGBD). *Dueker y Cowen* insisten en que lo más característico de un SIG es su capacidad de análisis, de generar nueva información a partir de un conjunto previo de datos mediante su manipulación y reelaboración. Por lo tanto, un SIG es mucho más que un programa de diseño asistido por ordenador (CAD/CAM), y lo es gracias a su capacidad de relacionar elementos gráficos (puntos, líneas o polígonos), que también son manejados por un sistema CAD/CAM, con los elementos de una base de datos temática, aspecto que falta en los CAD. Además, gran parte de las diferencias con los programas CAD se deben a su posibilidad de manejar, a la vez, más de un conjunto de

elementos gráficos y, sobre todo, en la capacidad de construir nuevos datos a partir de los ya existentes en las bases de datos, lo que los diferencia del resto de programas y/o sistemas.

3.2. Software SIG

Actualmente existen numerosas empresas que desarrollan aplicaciones SIG disponibles en el mercado español, aunque básicamente las tres más conocidas son: *ESRI*, *Bentley* e *Intergraph*. En 1994 había solamente unos 30.000 usuarios registrados⁵. Pero el auge de los SIG se produjo en la segunda mitad de la década de 1990 y la cifra anterior es ampliamente superada a día de hoy, en el comienzo de la segunda década del siglo XXI.

Algunos de los programas SIG que comparten el mercado son *Intergraph*, *Geomedia*, *ArcGIS*, *Enghouse*, *ERDAS*, *EPS*, *Genasys*, *Strategic Mapping*, *MapInfo* y *GDS*.

3.2.1. Qué es ARCInfo (visión general)

ARCInfo fue uno de los primeros programas de este tipo que lanzó la casa ESRI y fue el principal SIG a nivel mundial. Por esta misma razón, además de por ser el precursor de todo el complejo ARCGis, nos referiremos aquí a cual fue su estructura.

⁵ Sabiendo que ésta no es una “herramienta” común, como pueden ser los procesadores de texto, antivirus, etcétera, este número ha de ser considerado como relevante.

ARCInfo era básicamente un paquete integrado por una serie de programas especializados en el manejo de la información geográfica. Fue diseñado especialmente para la captura, análisis, consulta y representación de datos espaciales por la empresa norteamericana ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) como un sistema abierto y programable que constituía todo un conjunto de herramientas para las ciencias geográficas y afines.

ARCInfo permitía trabajar con datos procedentes de posicionadores de satélite de cualquier tipo o marca, estaciones totales y equipos geodésicos en general, permitiendo además el procesamiento y la edición de los datos geográficos y/o geodésicos.

Un SIG, como hemos comentado en los puntos precedentes, tiene la capacidad de integrar datos espaciales y tabulares dentro de su propia arquitectura y también puede asociarlos directamente con los datos almacenados en los principales gestores de bases de datos relacionables como pueden ser *DBase*, *Oracle*, *Informix*, *Sybase* e *Ingres*, entre otros. ARCInfo permitía un manejo ágil entre estructuras de datos cartográficos para el proceso de importación y exportación de la información, llegando a soportar más de 35 formatos tales como: SIF, DIG, MOSS, ATLAS, IGES, DIME, ETAK, TIGER, IGDS, DXF, EPLL/, ERDAS-lan y gis, TIFF: RLC, GRASS, etc.

ARCInfo era, ya en su momento, un sistema completamente relacional, abierto y extensible, el cual era empleado por muchas empresas para la realización de tareas tan diversas como son la planificación de la venta del suelo, el análisis de la competencia de un determinado negocio o la toma de decisiones en las rutas de vehículos. El empleo de ARCInfo por parte de órganos de gobierno se basaba principalmente, en un primer momento, en la administración del suelo, en el manejo de vehículos de emergencia en tiempo real, en el diseño de parques, etc. Así, ARCInfo permitía a sus usuarios

acometer operaciones más eficaces, más fiables, además de que facilitaba la toma de decisiones.

Incluía herramientas para la automatización e integración de datos espaciales, contenía un conjunto de datos de entrada y herramientas de edición y permitía editar grandes volúmenes de cartografía, composiciones de mapas interactivos, etc. Asimismo permitía al usuario acceder, integrar, visualizar, analizar y producir un mundo de información, además de que ofrecía una solución completa para la automatización, gestión y visualización de los datos espaciales.

El software ARCInfo permitía igualmente la integración de la información de un mapa vectorial (coordenadas XY) con imágenes raster con fotografías, con documentos escaneados, con imágenes de satélite, con dibujos CAD y/o con datos de video y sonido, entre otras posibilidades.

3.2.2. Comparación entre raster y vectorial

Los formatos estándar para un archivo de diseño son el *raster* y el de tipo *vector* o *vectorial*. En el primero de ellos se define una malla de rectángulos o cuadrados a los que se les denomina “células” o “retículas” (de ahí que en muchos países lo llamen formato *celular* en lugar de *raster*), donde cada retícula posee información alfanumérica asociada que representa las características de la zona o superficie geográfica que cubre. Como ejemplo de este formato se puede citar la salida de un proceso de fotografía satelital o aérea.

Por otro lado, el formato vectorial representa la información por medio de pares ordenados de coordenadas y este orden da lugar a las “entidades universales” con las que se representan los objetos gráficos: así, un punto se representa mediante un par de coordenadas, una línea con dos pares de coordenadas, un polígono como una serie de líneas y un área como un polígono cerrado. A las diversas entidades universales se les pueden asignar atributos, los cuales son almacenados en una base de datos descriptiva o alfanumérica para tales propósitos.

A continuación vamos a hacer una comparación entre los modelos de datos raster y vectorial. Uno y otro tienen sus ventajas y sus inconvenientes, pero lo que es seguro es que el modelo raster suele ser ineficiente para la representación de variables continuas como pueden ser las isolíneas, debido a que todas las operaciones que permite el modelo raster resultarían terriblemente lentas e imposibles de ser llevadas a cabo en la práctica. Aún así, en general, cualquier tipo de modelización física de los procesos naturales que se base en los SIG requiere de un modelo de datos de tipo raster.

Existe una tendencia a compaginar ambos modelos (raster y vectorial) facilitada por el aumento en la capacidad de los ordenadores. Se trata de representar los diferentes fenómenos espaciales con el modelo de datos más adecuado en cada caso. En líneas generales se pueden codificar las formas en un modelo vectorial y los procesos en un modelo raster, y para ello se requiere de herramientas eficaces de paso de un formato a otro.

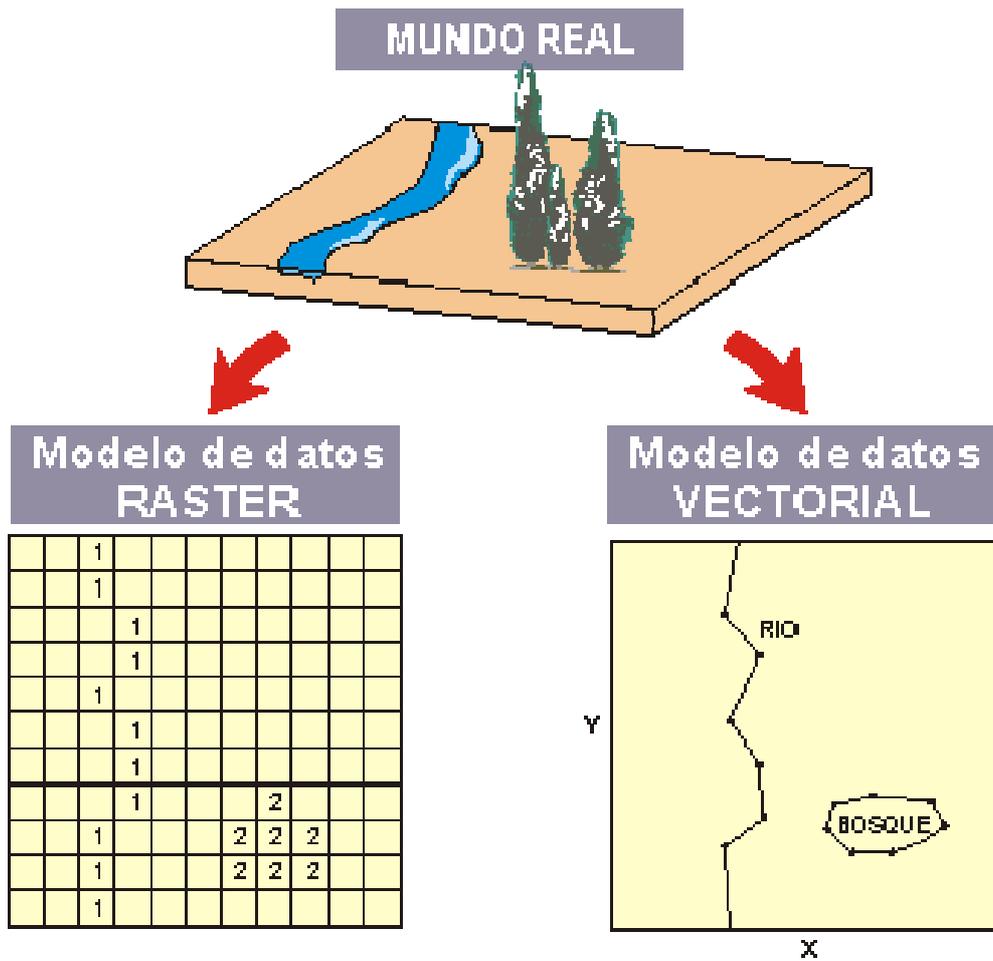


Figura 3.4: Representación del mundo real por parte de los modelos de datos raster y vectorial.
(Fuente: <http://www.gabrielortiz.com>; Acceso, 25/VII/2009)

3.2.2.1. Ventajas y desventajas del modelo raster

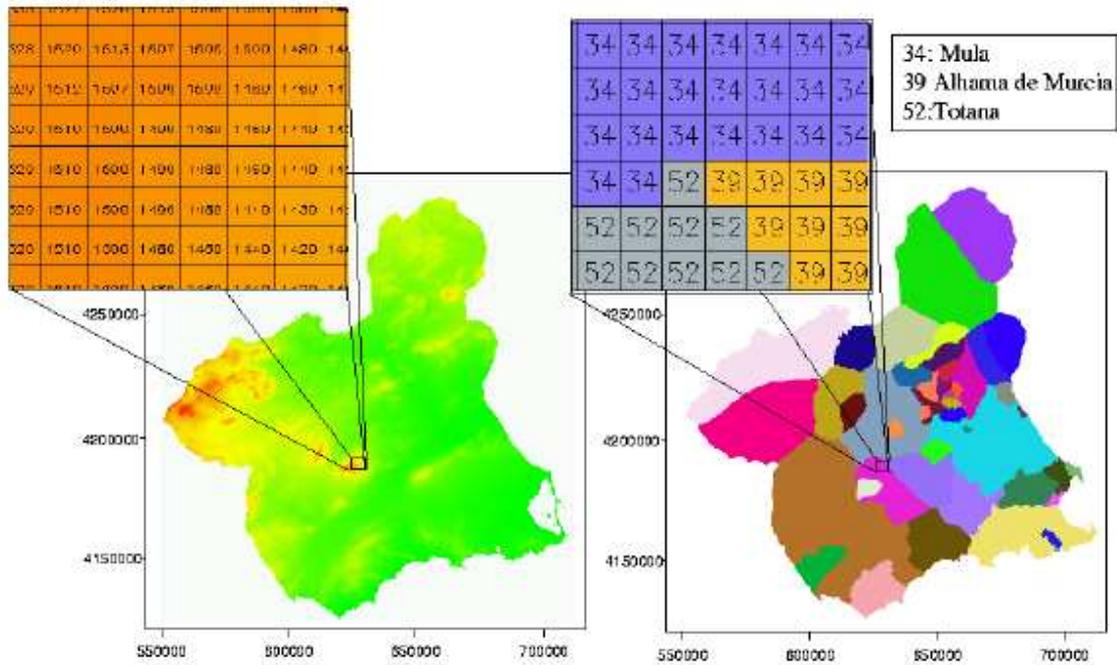


Figura 3.5: Modelo de datos raster. (Fuente: Alonso Sarria, 1996)

Entre las ventajas podemos citar las siguientes:

1. Es una estructura de datos simple.
2. Las operaciones de superposición de mapas se implementan de forma más rápida y eficiente.
3. Cuando la variación espacial de los datos es muy alta, el formato raster es una forma de representación más eficiente.
4. El formato raster se requiere para un tratamiento eficaz y para un realce de las imágenes digitales.

En cuanto a las desventajas podemos enumerar las siguientes:

1. La estructura de datos raster es menos compacta. Aunque las técnicas de compresión de datos pueden permitir superar este problema de forma bastante eficiente.
2. Ciertas relaciones topológicas son más difíciles de representar.
3. La salida de gráficos resulta menos estética, ya que los límites entre zonas tienden a presentar la apariencia de bloques en comparación con las líneas suavizadas de los mapas dibujados a mano. Esto puede solucionarse utilizando un número muy elevado de celdas más pequeñas, pero al mismo tiempo pueden resultar ficheros inaceptablemente grandes.

3.2.2.2. Ventajas y desventajas del modelo vectorial

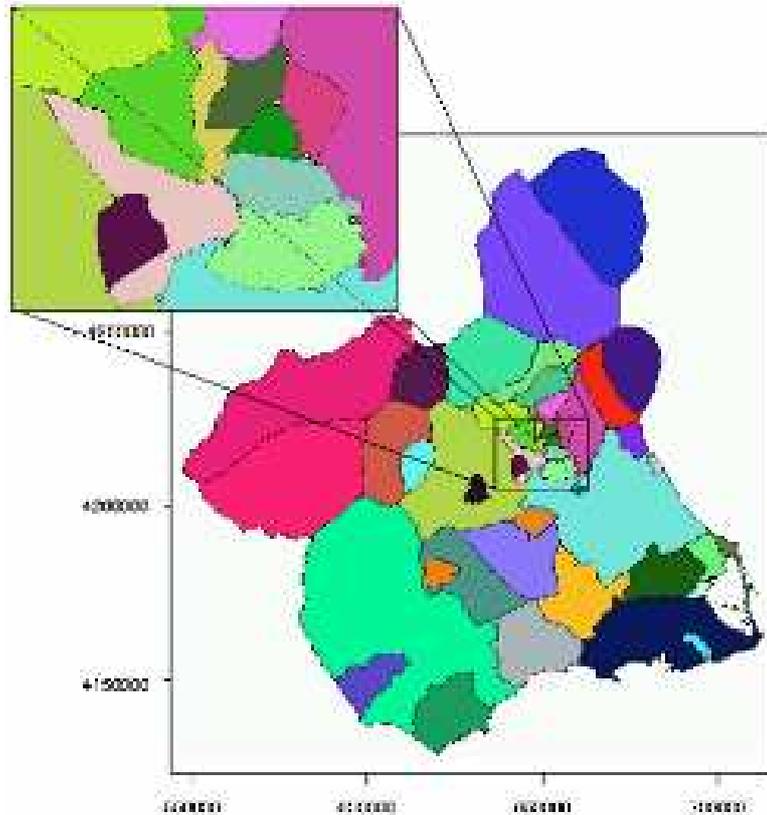


Figura 3.6: Modelo de datos vectorial. (Fuente: Alonso Sarria, 1996)

Entre las ventajas del modelo vectorial tenemos las siguientes:

1. Genera una estructura de datos más compacta que el modelo raster.
2. Genera una codificación eficiente de la topología y, consecuentemente, una implementación más eficaz de las operaciones que requieren información topológica, como puede ser el análisis de redes.
3. El modelo vectorial es más adecuado para generar salidas gráficas ya que el resultado se asemeja mucho a los mapas dibujados a mano.

En cuanto a sus desventajas podemos hacer referencia a las siguientes:

1. Es una estructura de datos más compleja que el modelo raster.
2. Las operaciones de superposición de mapas son más difíciles de implementar.
3. Resulta poco eficiente cuando la variación espacial de los datos es muy alta.
4. El tratamiento y realce de las imágenes digitales no puede ser realizado de manera eficiente en el formato vectorial.

3.2.3. Los SIG frente a otros sistemas afines

Existe una cierta dificultad a la hora de fijar los límites de los SIG respecto a los de otras herramientas informáticas como los CAD, la cartografía automática, los *Sistemas de Gestión de Bases de Datos* (SGBD) y los sistemas de tratamiento de imágenes de satélite, todas ellas herramientas más antiguas. Dado que los SIG evolucionaron a partir de estos sistemas, tienen muchas características en común, pero obviamente encontramos algunos rasgos diferenciales.

Así, se puede establecer una diferencia fundamental de todas estas herramientas/tecnologías afines atendiendo a sus objetivos. Así, tanto los CAD como la cartografía automática pretenden producir un dibujo de un objeto, una casa, el esquema de una red viaria,...es decir, tienen objetivos similares, el producto final de la cartografía automática es más específico (un mapa), y para ello ofrece unas herramientas específicas para la elección de tramas, símbolos cartográficos, leyendas, etc. Por su parte, el objetivo de los *Sistemas de Gestión de Bases de Datos* (SGBD) es el

tratamiento de los datos dispuestos en forma de tablas, de acuerdo con los requerimientos del usuario. Finalmente, el objetivo de la teledetección⁶ es el registro y la interpretación de los valores de radiación emitidos en la superficie terrestre (el proceso de interpretación supone, en realidad, la producción de atributos temáticos).

Por su banda, los SIG tienen como uno de sus principales objetivos la producción de nueva información espacial a través del análisis de la misma. Para ello utilizan la tecnología CAD con objeto de introducir los mapas en los sistemas, hacen uso de la tecnología cartográfica para elaborar mapas y también emplean la información procedente de los sensores remotos (teledetección) tanto para alimentar la base de datos como para representar directamente esta información en forma de mapas raster. El principal valor diferencial de los SIG es el énfasis que pone en las operaciones de análisis espacial.

Si bien hay muchos aspectos en común entre los SIG y cada una de las tecnologías descritas, también es cierto que presentan características diferenciales, tal y como veremos en detalle en los siguientes apartados.

3.2.3.1. SIG versus CAD

Los sistemas CAD (*Computer-Aided Design*, Diseño asistido por ordenador), nacieron con el objetivo de diseñar y dibujar nuevos objetos. Son básicamente herramientas gráficas muy utilizadas por los diseñadores, delineantes, ingenieros y arquitectos. Se emplean para dibujar mapas, los cuales se estructuran en capas temáticas, mejorando el proceso de producción tanto en calidad como en rapidez y en coste.

⁶ Técnica que permite obtener información sobre un objeto, superficie o fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un instrumento que no está en contacto con él.

Para *Burrough*, la diferencia más grande entre los sistemas SIG y CAD radica en el volumen y en la diversidad de datos (mucho mayor en los SIG) y en los métodos de análisis que utiliza (es decir, la base de datos y el análisis espacial). Lo que diferencia a los SIG de los CAD es la capacidad de los primeros para integrar datos georreferenciados y para realizar ciertas operaciones de análisis, como la búsqueda espacial (que incluye, entre muchas otras, el análisis de proximidad o *buffer*) o las superposiciones de mapas.

3.2.3.2. SIG versus Cartografía Automática

Los sistemas de cartografía automática ofrecen grandes ventajas a la hora de realizar cartografía de alta calidad. El punto de interés se sitúa en el dibujo de los mapas, pero no en el análisis. La principal diferencia respecto a los SIG radica en que los sistemas de cartografía automática no generan topología, lo cual limita extraordinariamente sus capacidades de análisis: los mapas son, sencillamente, dibujos. Estos mapas digitales son asimilables a transparencias que se pueden superponer. Se puede ver donde se produce un cruce de una carretera general y otra secundaria. Así, aunque la geometría está presente, la topología y la conectividad de la red están ausentes.

Por otra banda, aunque estos sistemas se pueden conectar a las bases de datos, éstas no constituyen una parte esencial de los mismos. El concepto de base de datos es básico y constituye, para algunos, la principal diferencia entre un SIG y un sistema de confección de mapas informatizado, el cual solamente puede generar mapas de calidad.

3.2.3.3. SIG versus Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD)

Los SGBD son sistemas desarrollados para acumular y tratar información alfanumérica. Pueden tratar grandes volúmenes de información, pero sin embargo no poseen funcionalidades gráficas. Así, los SGBD constituyen evidentemente una componente esencial de los SIG, aunque solamente cuando el objetivo de las bases de datos tratadas es su representación espacial.

3.2.3.4. SIG versus Teledetección

Los sistemas para el tratamiento de imágenes de satélite constituyen un campo cada vez más próximo al de los SIG, de manera que actualmente la teledetección puede ser considerada una “fuente de alimentación” de los SIG. Estos sistemas están diseñados para tratar la información obtenida a partir de sensores remotos, capaces de captar la radiación que emite la superficie terrestre. Se centran básicamente en las operaciones de clasificación de estos datos, pero sus capacidades de análisis suelen ser reducidas. Algunos de estos sistemas pueden conectarse a un SIG con objeto de realizar análisis posteriores aunque ambos sistemas pueden estar plenamente integrados dentro de un mismo producto. Es importante la complementariedad de las dos tecnologías a pesar de que son distintas y de que tengan una evolución propia.

3.2.4. Tipo de programas SIG

Evidentemente ningún programa SIG es perfecto y no va a cubrir todas las posibles expectativas. De esta manera, los programas acaban especializándose en función del tipo de datos que se supone que se van a utilizar, del tipo de aplicaciones y de la lógica de trabajo. Así, podemos hacer una clasificación de los tipos de programas SIG en función de los siguientes criterios:

- Según el tipo de datos
 - SIG Raster. Incluyen principalmente herramientas para el manejo de variables espaciales (como ejemplos de este tipo estarían programas como *IDRISI*, *GRASS*, *ERMMapper*, *SPRING*, *PCRaster*).
 - SIG Vectorial. Manejo de objetos (*ArcInfo*, *ArcView*, *MapInfo*, *Geomedia*).

- Según la forma de organizar el trabajo:
 - SIG basados en menús, orientados normalmente a la gestión tanto en la empresa como en la administración (*ArcView*, *IDRISI* para Windows, *MapInfo*, *Geomedia*, *SPRING*).
 - SIG basados en comandos, orientados a la investigación (*GRASS*, *ArcInfo*, *IDRISI* para MSDOS, *PCRaster*). La ventaja de los programas basados en comandos, prácticamente extintos en la actualidad, era su capacidad de programar y de ejecutar *scripts* complejos.

- Según su filosofía y sus objetivos de desarrollo:
 - SIG comerciales (*ArcInfo, Geomedia, ArcView, MapInfo, Smallworld*).
 - SIG gratuitos o semigratuitos (*SPRING, PCRaster, IDRISI*).
 - SIG abiertos (*GRASS*).

- Según el sistema operativo en el que trabaje (Windows, Linux, Unix, etc.)

3.3. Aplicaciones y futuras tendencias de los SIG

3.3.1. Enumeración de las posibles aplicaciones de los SIG

Un SIG es una herramienta que permite la integración de las bases de datos espaciales y la implementación de diversas técnicas de análisis de datos. Entre las aplicaciones más usuales de los SIG podemos destacar las siguientes:

- Científicas:
 - Ciencias medioambientales y relacionadas con el espacio.
 - Desarrollo de modelos empíricos.
 - Modelización cartográfica.
 - Modelos dinámicos.

- Teledetección.

- Gestión:
 - Cartografía automática.
 - Información pública, catastro.
 - Planificación física.
 - Ordenación territorial.
 - Planificación urbana.
 - Estudios de impacto ambiental.
 - Seguimiento de actuaciones.

- Empresarial:
 - Marketing.
 - Estrategias de distribución.
 - Planificación de transportes.
 - Localización óptima.

3.3.2. Aplicaciones de los SIG

Como sabemos, la mayor parte de las actividades que lleva a cabo el ser humano en el mundo real tienen una clara vertiente geográfica. Cada vez con mayor frecuencia se tiende a estudiar en detalle esta vertiente espacial de los fenómenos que ocurren en nuestro alrededor y la forma en la que la sociedad se ve involucrada en los mismos. Es por este motivo que la componente territorial adquiere una gran relevancia. Esta presencia constante de información geográfica requiere para su manejo o control de herramientas como las que proporcionan los SIG con objeto de conseguir así un tratamiento adecuado.

De esta manera, el uso, los métodos y las técnicas de estos sistemas (como ahora las herramientas adecuadas para tratar esta información), se extienden por muchos ámbitos, especialmente entre los profesionales y los científicos. A consecuencia de eso, y como si se tratase de un efecto de retroalimentación, van surgiendo multitud de posibilidades para utilizar estas herramientas aplicadas al tratamiento de la información geográfica.

A continuación describiremos algunas de las posibilidades más importantes, agrupadas éstas en base a la similitud de los temas que tratan. Pensemos, por tanto, que éste y cualquier otro intento de clasificación resultan arbitrarios e incluso ambiguos. Sabemos también que diariamente aparecen nuevas aplicaciones de los SIG y que en un futuro continuarán apareciendo más. De este modo, optamos por clasificar las aplicaciones más frecuentes de los SIG en cuatro grandes grupos:

A) Aplicaciones enfocadas al medio ambiente

Las aplicaciones enfocadas de cara al medio ambiente son las más frecuentes y más extendidas en el mundo real. Intentar reconocer cuál es la causa de la gran proliferación del uso de los SIG dentro de este grupo suele ser complicado ya que es habitual

encontrar más de un motivo. Un primer intento para delimitar estos motivos o causas nos lleva a reflexionar sobre el hecho evidente de que no existe nada tan “geográfico” como el mismo territorio y los elementos físicos que sobre éste se localizan.

Resulta habitual que las relaciones entre los elementos del medio físico lleguen a cotas de complejidad muy elevadas y para ello es necesario disponer de herramientas capaces de reflejar y recoger toda esta diversidad. Unido a esto, y como un factor clave, nos encontramos con que en la actualidad existe una gran preocupación por nuestro entorno, su estado, su nivel de conservación y por los recursos que tenemos a nuestra disposición.

Frente a la diversidad de estos hechos podemos reconocer que los SIG ofrecen grandes garantías para afrontar el estudio integrado de todas las variables y factores que tienen lugar en el territorio. Con estas premisas establecidas, podemos identificar los casos fundamentales que conformarían las aplicaciones dentro de este grupo:

A.1) Usos del suelo.

Por lo que respecta a los usos del suelo, los agrícolas adquieren una gran importancia en todos los niveles territoriales, desde una escala local a una global. La información del nivel de aprovechamiento agrícola que se da en un determinado territorio constituye una información de carácter imprescindible. Por este mismo motivo siempre buscaremos disponer de datos fiables y actualizados sobre el uso y el nivel de aprovechamiento agrícola de un determinado territorio.

Durante muchos años era habitual que toda la información de este tipo no fuera más que una simple recopilación de datos estadísticos, debido a la falta de herramientas adecuadas para tratar convenientemente la información disponible. Así, se contaba solamente con una visión parcial y no integradora de la realidad. Con la aparición de

nuevos sistemas y mecanismos para el tratamiento de la información geográfica el panorama sufrió un cambio radical.

Las técnicas de teledetección y los sistemas para el análisis de las imágenes de satélite constituyeron un primer gran paso en el estudio de los usos del suelo y de las condiciones de la agricultura. El segundo gran cambio fue la entrada en escena de los SIG, que permitieron superar el compromiso principal de recoger datos estadísticos sobre el territorio, proporcionando unas mayores posibilidades de gestión y análisis de estos datos geográficos. Así, sirva de ejemplo que con las herramientas propias de los SIG era posible integrar los datos procedentes de los satélites con datos de tipo meteorológico para realizar previsiones sobre el estado de las cosechas en el momento de la recolección. También es factible decidir qué tipo de explotación agrícola es la más adecuada en cada situación teniendo en cuenta aspectos como son los tipos de suelo existente, su nivel de erosión, la existencia de acuíferos subterráneos susceptibles de ser utilizados para el regadío, etc. En estos tipos de aplicaciones, los SIG han de ser vistos como herramientas de uso muy adecuado que, en el momento que integran informaciones de diversa procedencia, permiten tomar decisiones con una gran flexibilidad y rapidez, sobre cómo planificar la agricultura y el resto de usos del suelo. Algunos de los ejemplos más claros referentes al uso de los SIG en este tipo de aplicaciones son los siguientes:

- *Canadian Geographic Information System (CGIS)*. Fue concebido y desarrollado en 1966, prácticamente simultáneo al *Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis (LCG)*. El CGIS fue el primer SIG auténtico y también el primero en emplear este nombre, acuñado por *Tomlinson*. En la actualidad, el sistema en cuestión contiene un archivo digital de unos diez mil mapas sobre una gran diversidad de temas diferentes y es considerado como el

SIG más importante por volumen de información tratada y por la superficie de territorio recogida, si exceptuamos aquellos que sirven la información proporcionada por los satélites artificiales de observación terrestre, como es el caso del *Tiger americano* o de la *Agencia Espacial Europea (ESA)*.

- *Coordinated Information on the European Environment Program (CORINE)*. Este programa, con orígenes ya a finales de 1970, surgió con el objetivo de desarrollar una base de datos medioambiental sobre Europa.

A.2) Gestión de los recursos naturales

El conjunto de casos englobados en este punto hace referencia a todas aquellas aplicaciones cuyo objetivo principal es el de tratar la información espacial que describe el tipo y la distribución de estos recursos en la superficie del planeta, como por ejemplo los recursos minerales, la localización de zonas con agua abundante o las zonas con suelos adecuados para la formación de bolsas de petróleo. Suelen contemplar también otros datos, como por ejemplo los indicadores del tamaño de una población, de manera que sea posible establecer el potencial de impacto ambiental de las actividades humanas sobre el medio, información que refleja los cambios en aspectos medioambientales producidos por la acción del hombre.

Disponer de este gran volumen de datos, sabiendo que son dinámicos y, por tanto, están sometidos a cambios en períodos de tiempo cortos, supone disponer de una información privilegiada. Las herramientas de análisis espacial que proporcionan los SIG (superposición topológica de capas de información, análisis de proximidad,...) adquieren un papel clave para poder llevar a buen término estos objetivos, brindando a

los profesionales dedicados al estudio de los recursos naturales la posibilidad de tener a su alcance una herramienta única para acometer estudios de más envergadura.

B) Aplicaciones de administración y gestión

El conjunto de aplicaciones incluidas en este párrafo es, a día de hoy, después del grupo anterior, el más frecuente y numeroso. Bajo esta denominación englobamos aquel conjunto de aplicaciones relacionadas en mayor o menor medida con las actividades de las administraciones públicas, las instituciones estatales y las empresas de gestión de servicios. Podemos identificar así una serie de casos ciertamente significativos, entre los que destacamos los expuestos a continuación:

B.1) Aplicaciones catastrales

Las aplicaciones catastrales son las que se conocen habitualmente con el nombre genérico de *Sistemas de Información Territorial* (SIT) o *Land Information Systems* (LIS). Existe, sin embargo, una controversia sobre lo que es realmente un SIT y cuáles son los aspectos que trata.

Algunos especialistas diferencian los SIT de los SIG, mientras que otros argumentan que solamente se trata de un tipo de aplicación concreta perteneciente a un SIG. Es por este motivo que en 1981 una Comisión especial de la *Fédération Internationale des Géometres* (FIG) va a proponer la siguiente definición para los primeros: "*Un Sistema de Información Territorial es una herramienta legal, administrativa y económica para la toma de decisiones y la ayuda en el planeamiento y el desarrollo que se compone, por un lado, de una base de datos que contiene datos del territorio referenciados*

espacialmente para áreas definidas y, por otro lado, de los procedimientos y de las técnicas para recoger, actualizar, procesar y distribuir sistemáticamente esos datos. La base de un SIT es un sistema uniforme de referencia espacial para los datos en el sistema, lo cual facilita la unión de los datos del sistema con otros datos relacionados con el territorio". Con esta definición se pretende argumentar que la diferencia principal entre un SIG y un SIT radica en el uso que se hace de cada sistema y no en la esencia de cada uno de ellos. Mientras que un SIG tiene como objetivo primordial la realización de análisis espaciales complejos, un SIT está enfocado hacia la gestión diaria (de carácter más inmediata y repetitiva) de los datos geográficos.

El ejemplo más claro sobre el uso de los SIG en estos tipos de aplicaciones es el siguiente:

- *Sistema de Información Catastral (SIC).* El SIC constituye el conjunto de información geográfica más importante de España, en cuanto al detalle y la extensión. Está gestionado por el *Centro de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria (CGCCT)* del Ministerio de Economía y Hacienda, y su creación se remonta a finales de los años 1980 frente a la necesidad de disponer, por diversas razones, de un inventario de datos y descripciones de los bienes inmuebles rústicos y urbanos, con expresión de superficies, situación, términos, cultivos o aprovechamientos, calidades, valores y otras circunstancias físicas, económicas y jurídicas que dan a conocer la propiedad territorial, definiéndola en sus aplicaciones y en sus aspectos diferentes. El SIC consta de una serie de subsistemas que lo integran: el *subsistema de Información Básica (SIB)*, el *de Valoración (SV)*, el *de Imposición (SI)* y el *subSIG (SIGCA)*. Todos estos subsistemas pretenden cubrir un objetivo principal, que es el de disponer de una información geográfica completa que

permita llevar a cabo una buena gestión catastral y que sirva de instrumento de análisis y explotación de esta información geográfica por parte de todas las Administraciones del Estado.

B.2) Planificación y gestión de servicios públicos

La planificación y la gestión de servicios públicos constituyen otra de las aplicaciones por excelencia de los SIG. En este tipo de aplicaciones se suele dar la circunstancia de que los SIG conviven con otro tipo de sistemas informáticos, como pueden ser los CAD o los SGBD, los cuales cuando son aplicados a la planificación y a la gestión de servicios públicos reciben el nombre de “aplicaciones AM/FM” (*Automated Mapping/Facilities Management*).

Los usuarios por excelencia de los SIG con este tipo estas aplicaciones suelen ser las empresas prestatarias de servicios relacionados con la planificación y gestión de recursos públicos: compañías de agua, electricidad, telefonía, teledifusión, etc. En general, el objetivo principal de todas estas compañías que utilizan un SIG u otro sistema (como los AM/FM) es la creación de un sistema de gestión de sus redes de distribución o transmisión con la finalidad de proporcionar al consumidor un servicio adecuado con un coste moderado.

Lo más atractivo de los SIG es su capacidad de unir los datos geográficos con información alfanumérica, de manera que proporciona un gran conjunto de capacidades analíticas. Los SIG, en estas aplicaciones, son las herramientas encargadas de proporcionar información actualizada a nivel operacional y de planeamiento, de forma que en los dos niveles pueden realizarse las actividades asignadas de forma rápida y

eficaz. El hecho de disponer de toda esta información sobre las redes nos proporciona unos beneficios muy importantes.

Este tipo de información permite, entre otras cosas, hacer una previsión de la demanda futura para poder diseñar una posible expansión, facilita la realización de propuestas sobre la hipotética localización de una nueva planta de producción o de un centro de distribución o transmisión, ayuda para las tareas de mantenimiento general de la red, permite el control y la coordinación de actuaciones sobre el terreno de las diferentes compañías de servicios con la finalidad de evitar las frecuentes duplicidades de trabajos en una misma zona, etc.

B.3) Planeamientos urbanísticos

La característica común de todas las aplicaciones de carácter urbano es el hecho de que éstas suelen integrar un amplio espectro de diferentes tipos de información geográfica, procedente igualmente de un gran conjunto de fuentes referentes a diversos niveles de responsabilidad dentro de la organización.

Es habitual que un ayuntamiento trate temas como la gestión del catastro y de los servicios públicos, el control medioambiental, el planeamiento urbanístico, etc. Todos estos temas tienen la entidad suficiente como para ser considerados separadamente, pero normalmente suelen ser integrados de manera conjunta. La referencia común a toda esta información relativa al espacio urbano es su componente geográfica. En el ámbito urbano, los SIG representan una buena herramienta para poder tratar esta información y, de esta manera, mejorar los servicios públicos y el funcionamiento general de la Administración pública.

B.4) Aplicaciones cartográficas

Cuando nos referimos a las aplicaciones cartográficas queremos destacar el uso que las instituciones estatales o autonómicas, como el *Instituto Geográfico Nacional* (IGN), el *Instituto de Cartografía de Andalucía* (ICA), el *Institut Cartogràfic de Catalunya* (ICC) o el *Instituto Cartográfico Valenciano* (ICV) entre otros como organismos encargados de la elaboración de la cartografía topográfica de base, hacen de los SIG en sus procesos de producción cartográfica y, en general, en sus trabajos de generación de información geográfica básica sobre el territorio nacional o autonómico. Con este matiz distinguimos otros tipos de producción de información o cartografía, como puede ser la que se realiza en el *Catastro*, ya que esta última no se ajusta al objetivo concreto de estar concebida y realizada con la cartografía base con la que los usuarios pueden contar para sus aplicaciones. Se trata, en definitiva, de trabajo público a la hora de proporcionar información geográfica de carácter oficial a los usuarios como base para el desarrollo de diferentes aplicaciones.

B.5) Aplicaciones para seguridad y defensa

Las aplicaciones para defensa son seguramente las más desconocidas para la mayoría del público en general, y eso es debido a la componente de confidencialidad que normalmente tienen. Generalmente la información sobre estas aplicaciones no está disponible y no puede ser consultada por investigadores y público en general hasta que no transcurre un cierto tiempo desde su puesta en funcionamiento.

Las aplicaciones de los SIG en defensa o en el ámbito militar tienen una gran ventaja estratégica: la disposición de información geográfica adecuada a partir de los ejemplos recientes más significativos que se pueden encontrar sobre el uso de los SIG en las

aplicaciones militares recientes (la guerra de los Balcanes, la de Afganistán o la de Irak). Por lo que respecta a las aplicaciones para la seguridad civil, de las cuales es más fácil obtener información, podemos incluir todos aquellos casos cuyo objetivo es la prevención, el control y la actuación de las fuerzas de orden público frente a diversas situaciones de crisis. En estos casos, los usuarios potenciales de los SIG suelen ser, entre otros, las fuerzas de seguridad, los cuerpos de bomberos o las unidades de Protección Civil.

C) Aplicaciones socioeconómicas

Este grupo es, seguramente, uno de los conjuntos de aplicaciones que experimentaron un avance más espectacular en los últimos años. A día de hoy, el empleo de los SIG en estos campos, se encuentra en una fase de plena expansión.

C.1) Aplicaciones demográficas

Los recuentos de población constituyen una fuente de información de primer orden para muchos más aspectos de los que podemos imaginarnos inicialmente. El hecho de tener los datos de población (de una zona determinada) y su evolución temporal (es decir, sus cambios estructurales), tiene una importancia primordial tanto por lo que hay a escala global como a escala local. La información geográfica es vital en aspectos como el planeamiento general de nuevas escuelas, por ejemplo, en zonas con una población claramente en edad escolar o de nuevas vías de comunicación en un área demográficamente muy densa. La componente espacial de esta información es clara y

evidente, y de ahí que la dimensión geográfica esté presente en la mayoría de métodos empleados en los recuentos de población.

El empleo de los SIG en aplicaciones de tipo censal aumentó considerablemente en estos últimos años, y aunque los departamentos oficiales encargados de estas tareas no describan por ahora los procesos que llevan a cabo con estas herramientas, sí que tienen conocimiento de su gran interés por llegar a aplicarlos. En la otra cara de la moneda resulta oportuno reseñar que los métodos empleados continúan siendo tradicionales, aunque la tendencia actual indica que cada vez es mayor el número de sistemas SIG que se emplean en aplicaciones de tipo demográfico.

Un claro ejemplo del uso pionero de los SIG en este tipo de aplicaciones lo tenemos en la *Oficina del Censo de los Estados Unidos (United States Census Bureau -USCE-)*. Esta institución utiliza la metodología de los SIG desde hace muchos años en los procesos censales que lleva a cabo, donde la capacidad de estos sistemas para la gestión de este tipo de datos ya está suficientemente contrastada.

C.2) Análisis de mercado

Los análisis de mercado son uno de los estudios característicos en el campo de la economía dentro de las sociedades actuales. Durante las décadas de 1950 y 1960 el objetivo de estos estudios estaba enfocado hacia los análisis de marketing de masas, mientras que en el período posterior, comprendido entre los años 1970 y 1980, se produjo un giro importante pasando estos estudios a abarcar un territorio menor. Este tipo de análisis necesita disponer de información espacial a nivel mucho más detallado, que permita a las empresas tener los datos necesarios para localizar y caracterizar la demanda y la competencia existentes.

Éste es el principal motivo por el cual los SIG adquirieron un papel tan relevante en los estudios y análisis de mercado, en aquellos casos en los que, por ejemplo, es necesario tener información referente a las localizaciones idóneas donde llevar a cabo la expansión de determinadas actividades comerciales mediante las representaciones cartográficas que brindan estos sistemas.

Como es evidente, la esencia de la utilización de los SIG en este tipo de estudios de mercado tiene su razón de ser en la componente espacial de la información que se maneja. Su valor principal, frente a cualquier otra cuestión de tipo más técnico o metodológico, recae en su capacidad de poder ser utilizados como *Sistemas de Apoyo a Toma de Decisiones* (SATD), razón por la cual adquieren un papel estratégico de primera magnitud.

D) Aplicaciones de carácter global

En los últimos años han surgido una gran cantidad de iniciativas cuyo objetivo principal es el de llevar a cabo la realización de estudios rigurosos sobre los procesos causantes de los desequilibrios naturales que padece el medio ambiente a escala global. Investigadores y, especialmente, organizaciones supranacionales, realizaron o están realizando análisis sobre estos procesos y buscan soluciones poder hacer frente a los gravísimos problemas que causan. La mayor parte de todos estos trabajos de investigación sobre la degradación que padece el medio ambiente tienen una gran multitud de variables de tipo geográfico. Por este motivo, los SIG siempre han tenido un papel relevante como herramientas especializadas en el tratamiento de esta información espacial.

En el repaso a las aplicaciones de los SIG de carácter global, encontramos, en primer lugar, el proyecto CORINE (al que ya nos hemos referido en uno de los puntos precedentes). Evidentemente, el enfoque adoptado por el programa intentará identificar un cierto conjunto de prioridades, algunas de las cuales exponemos a continuación:

- Se van a concentrar los esfuerzos en mejorar la disponibilidad y compatibilidad de datos entre los estados miembros, desarrollando los mecanismos apropiados para la gestión integrada de los datos medioambientales.

- Se van a establecer tres temas concretos, a partir de los cuales empezarán a trabajar los biotopos, mediante la realización de un inventario de la localización de lugares de interés que destacan por su conservación perfecta. Así, es interesante tener catalogados y localizados mediante un SIG los depósitos de materiales nocivos para evitar, de este modo, posibles daños a la flora, a la fauna y al medio en general en una zona determinada.

La envergadura de la empresa encomendada por la UE⁷ y, en menor grado, algunos de los problemas derivados de integrar información procedente de muchas fuentes diversas, obliga a que el programa se continúe desarrollando. Para lograrlo, el proyecto CORINE constituye una de las bases de datos integradas sobre temas medioambientales más importantes del mundo, hasta el punto de ser tomada en cuenta como un punto de referencia claro para futuras operaciones similares.

Por otra banda, al contrario de lo que habitualmente se piensa, existe un buen conjunto de aplicaciones de los SIG a escala global o mundial orientadas al estudio de problemas medioambientales. De todo el conjunto de estos proyectos se pueden

⁷ Entre otras directivas comunitarias relacionadas está la “Directiva Marco Europea”, la cual obliga a llevar a cabo una explotación sostenible del agua. Entre los puntos que se establecen desde Europa y que están relacionados con las tareas de gestión de este recurso está la necesidad imperiosa de gestionar las reservas de agua mediante un SIG.

destacar algunos ciertamente importantes, que consideran las herramientas de los SIG como muy potentes para integrar la gran cantidad y diversidad de datos que manejan:

En primer lugar encontramos la actividad que realizan las *Naciones Unidas* (ONU). Su programa sobre medio ambiente, conocido como *United Nations Environmental Program* o UNEP (Programa Medioambiental de las Naciones Unidas), fue puesto en marcha con el objetivo de coordinar globalmente la evaluación medioambiental y gestionar los esfuerzos relacionados con el estudio del clima mundial, de los océanos, de los recursos renovables y de la polución. Uno de los primeros objetivos del programa, en 1983, fue el establecimiento del modelo que siguen los procesos de desertificación como reflejo del estado de los suelos, la vulnerabilidad de la tierra cuando aparecen los procesos de desertificación y la presión ejercida por el hombre y sus actividades. Haciendo uso de fuentes de información tan diversas como los datos climáticos, datos sobre los suelos y la vegetación, y a través de los modelos de desertificación desarrollados por la FAO (*United Nations Food and Agricultural Organizations* –Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación–) se acomete el cartografiado y la generación de datos estadísticos que reflejen estos procesos, de manera que se pueden planificar las actuaciones apropiadas y tomar posteriormente las decisiones oportunas.

En 1985, el programa UNEP va a poner en funcionamiento el sistema GRID, que significa *Global Resource Information Data Base* (Base de Datos Global sobre la Información de Recursos), con un elemento de recogida, análisis y valoración de datos medioambientales con el objetivo de crear una red global de datos sobre los recursos naturales y el medio ambiente. Después de una etapa de prueba satisfactoria que va a finalizar en 1988, el sistema GRID va a entrar en su fase operacional en 1990, con el objetivo de servir principalmente a los países en vías de desarrollo.

Otro de los programas considerados importantes es el que lleva a cabo, desde 1986, el *International Council of Scientific Associations* (ICSU –Consejo Internacional de Asociaciones Científicas-), también conocido como *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP –Programa Internacional sobre la Geosfera-Biosfera–), cuyo objetivo es el de establecer un programa a 10-20 años vista para el control y la investigación de las interacciones existentes en los procesos biológicos y físicos que regulan el sistema terrestre, los cambios que ocurren en el mismo y el efecto que pueden tener sobre el hombre. Por eso se propone trabajar sobre aspectos como la predicción del cambio global o la investigación sobre fenómenos interactivos en el sistema terrestre.

Con objetivos similares a los de la IGBP, algunos departamentos estatales del Gobierno de los EEUU desarrollaron un programa sobre la investigación del cambio climático a nivel planetario. Entre todas estas iniciativas destaca tanto el trabajo de la NASA, el *Earth System Science Program* (Programa Científico sobre el Sistema Terrestre), como el de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA – Administración Nacional Oceánica y Atmosférica).

Respecto a la cartografía digital se pueden destacar, como uno de los proyectos más importantes, el conocido como *Digital Chart of the World*. El sistema es una base de datos geográficos de carácter mundial a escala 1:1.000.000, constituido por una serie de datos cartográficos, atributos descriptivos y textos explicativos, que pueden ser consultados por el usuario del sistema mediante un programa sencillo que incorpora dicho sistema.



Figura 3.7: Aplicación-visualizador SIG para la gestión de los “Jardines del Real” de la ciudad de Valencia. Esta aplicación es un ejemplo del gran número de posibles usos que tiene o puede tener un SIG (Fuente fotomontaje: Elaboración propia; Fuente imágenes: <http://www.upv.es/cgf>; Acceso, 25/VII/2009)

3.3.3. Futuras tendencias de los SIG

Una vez vistas algunas de las iniciativas más importantes del tema que nos ocupa, queda por hacer una aproximación para discernir cuál es el futuro de la especialidad. El planteamiento generalmente aceptado enfoca el tema desde dos perspectivas diferentes pero a la misma vez complementarias, en el sentido de que las dos apuntan a la consolidación citada. En primer lugar, se contempla el futuro desde un punto de vista funcional, es decir, desde la perspectiva de los avances en aspectos más tecnológicos, mientras que desde otro punto de vista, se asiste al desarrollo y a la consolidación de la información geográfica.

Si nos centramos en la vertiente tecnológica, podemos hacer dos distinciones claras: la de los avances generales y la de los avances particulares. Dentro de la primera se pueden incluir todos aquellos aspectos que no son particulares de los SIG, como por ejemplo los avances ligados a la mejora de los ordenadores o al diseño e implantación de algoritmos empleados por los sistemas, además de la optimización de otras herramientas similares. Con respecto a los avances particulares (relacionados directamente con los propios SIG), éstos pueden ser definidos en base a diversos aspectos fundamentales, el primero de los cuales es la integración. Así, relativos a este aspecto se exponen tres puntos:

1. La integración de datos de diversas procedencias como imágenes de satélite, imágenes CAD, datos demográficos, datos estadísticos,...que permiten la posibilidad de analizarlos conjuntamente, encontrando así nuevas interrelaciones.
2. La integración de tecnologías que permiten el tratamiento de cada uno de estos datos, los cuales hasta ahora venían funcionando por separado, mediante la incorporación de todos estos sistemas en los SIG. En los últimos años se han desarrollado sistemas capaces de integrar imágenes de satélite, datos documentales, datos territoriales y multimedia.
3. Finalmente, la integración de fuentes de captura de datos como los sistemas GPS o telefonía móvil, los cuales permiten obtener modelos activos de nuestro entorno en tiempo real.

Todo este conjunto de avances tecnológicos derivará en la creación de una nueva infraestructura global de la información geográfica, transformando la accesibilidad a esta información, llevándola a muchas actividades y superándose el nivel que

predomina actualmente: el de la especialización. Esta vía de futuro descrita es, sin duda, realmente atractiva, aunque constituye una parte secundaria o auxiliar de lo que se cree que será el avance más importante: la consolidación de “la especialidad de la información geográfica”.

Casi todas las personas que hoy en día están involucradas en el tema coinciden al afirmar que la tendencia existente hasta ahora fue la de dar demasiada importancia a las herramientas de edición empleadas por el sistema. Así, se ha estado demasiado pendiente de la evolución tecnológica en lugar de intentar consolidar una especialidad científica propia que constituya el marco dentro del cual puedan llevarse a cabo nuevos niveles de desarrollo y de investigación. De esta forma, el fallo ha sido el habernos centrado en la vertiente tecnológica y no tanto respecto en el desarrollo de un nuevo paradigma de organización, acceso y gestión de la información geográfica.

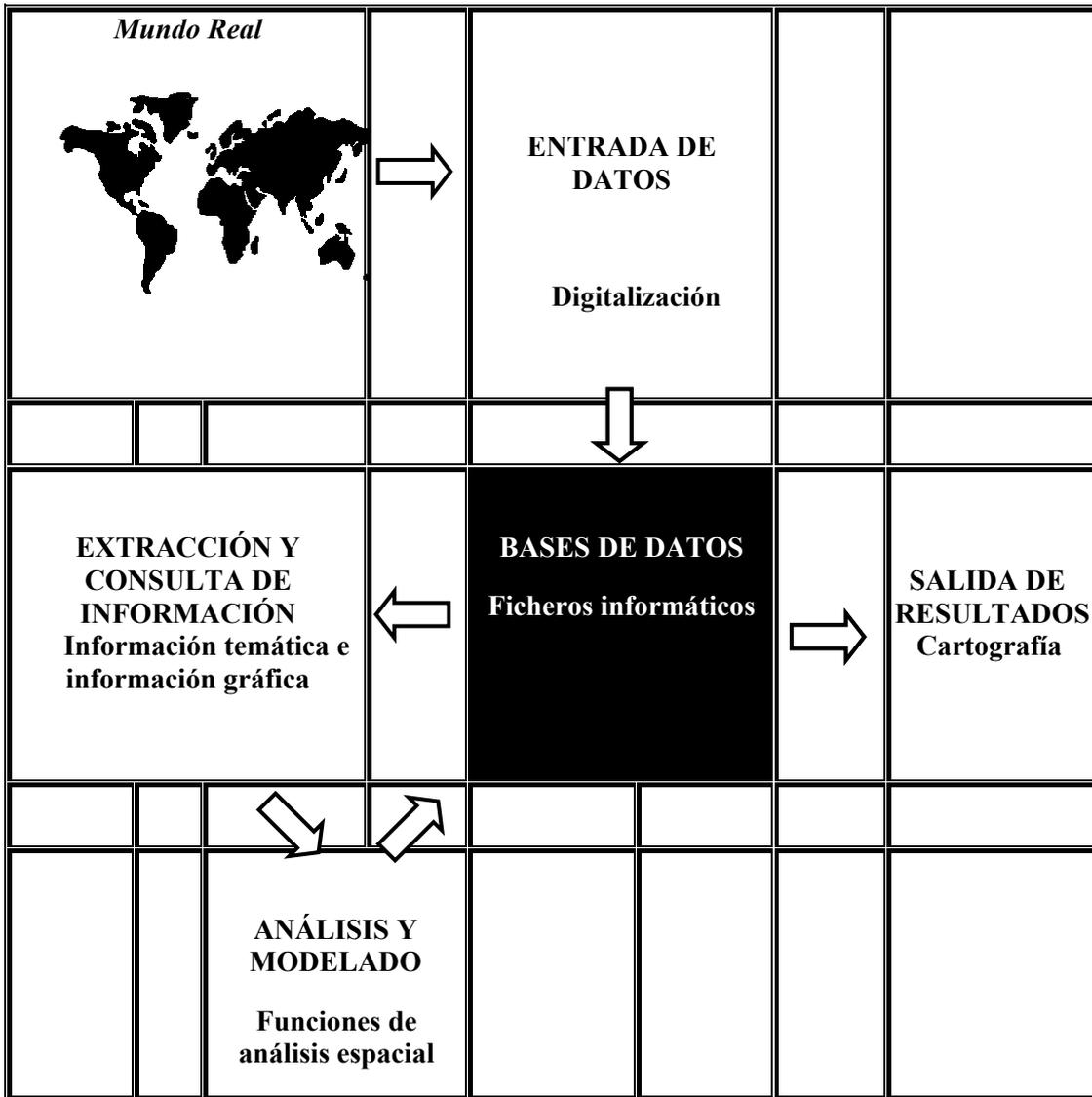
La experiencia confirma que, a diferencia de los métodos que definimos para utilizarla, la tecnología es pasajera. Lo que sí necesitan las comunidades científicas centradas en el tratamiento de la información geográfica es superar este estadio de dependencia respecto a esta tecnología y definir finalmente el marco epistemológico que permite organizar la especialidad. Así, lo tecnológico no debe trascender tanto sobre la ciencia, sino al revés, debe ser la propia comunidad científica la que, con unos intereses comunes en el tratamiento de la información geográfica, ha de trascender sobre la tecnología.

A día de hoy la tendencia es la de tratar la información geográfica como una información más, sin diferenciarla de otros datos, favoreciéndose la integración con otras aplicaciones y sistemas, lo que sin duda ayuda a su expansión en campos donde hasta hace poco no era habitual.

La creciente importancia de la información geográfica y la mayor facilidad en su adquisición, empleo y explotación que permiten las nuevas tecnologías está revolucionando el mundo de los SIG para pasar a lo que podríamos denominar *servicios geoespaciales*. En este sentido destaca la importancia que están adquiriendo los *Servicios Basados en la Localización* (SBL), quizás más conocidos por su denominación en inglés (*Location Based Services* ó LBS) con todas sus aplicaciones en marketing, logística, medio ambiente, estudios de mercado, etc.

3.4. Funciones de los SIG

Una clasificación de las funciones de un SIG viene determinada por el hecho de que un SIG es, entre otras cosas, un programa de ordenador con unas capacidades específicas que se pueden resumir en los siguientes subsistemas o componentes lógicos según el esquema de sus funciones:



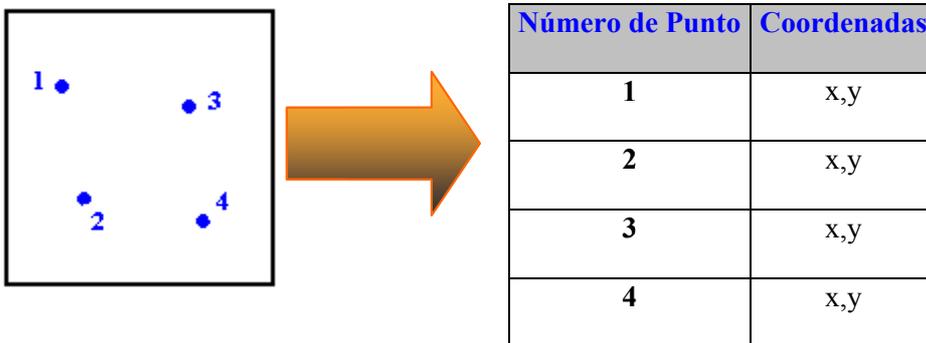
Los programas SIG tienen una serie de funciones diseñadas para la gestión de la información geográfica:

- captura, registro y almacenamiento de datos: el paso de información analógica (en papel) a formato digital. Esto se puede realizar de varias maneras como digitalización, vectorización, importación,...
- estructuración y manipulación de los datos: creación de bases de datos, de nueva cartografía,...

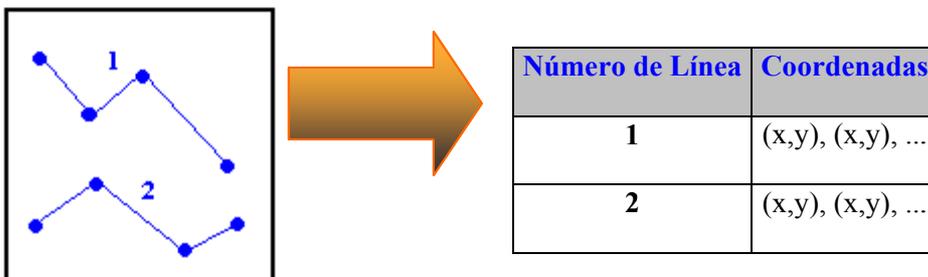
- proceso, análisis y gestión de datos: topología, consultas gráficas, alfanuméricas, combinadas, superposición,...
- creación de salidas: informes, ploteados,...

3.5. La importancia del concepto de topología en los sistemas vectoriales

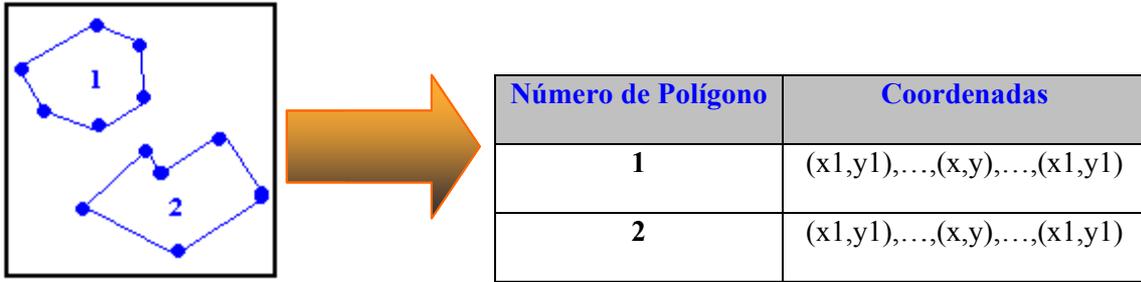
Los sistemas vectoriales eran aquellos que para la descripción de los objetos geográficos empleaban vectores definidos por pares de coordenadas relativas a algún sistema cartográfico. Dentro de los sistemas vectoriales se trabaja con una serie de entidades geográficas: puntos, líneas y polígonos.



Punto: elemento cero-dimensional. Identifica la posición geométrica de un fenómeno lo demasiado pequeño como para ser representado con una línea o polígono



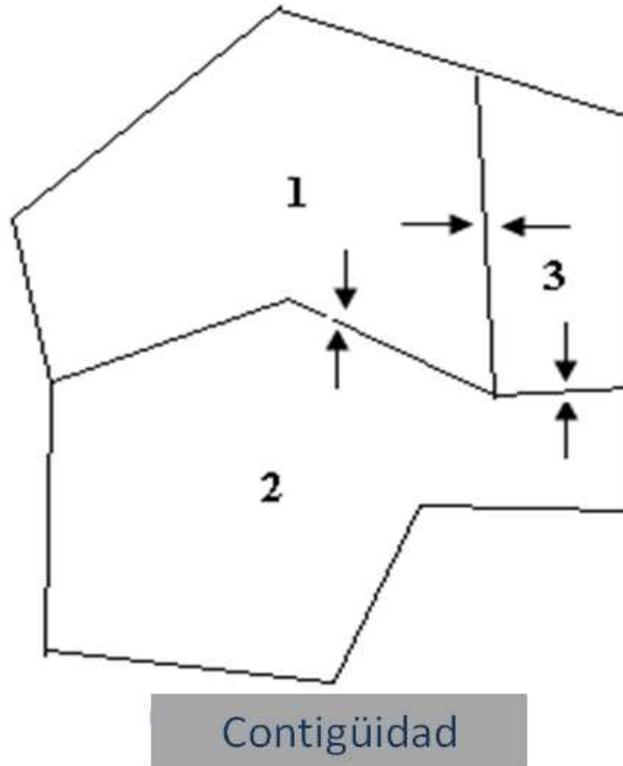
Línea: elemento unidimensional. Conjunto de pares de coordenadas conectadas entre sí secuencialmente. Demasiado estrecho para ser un polígono.



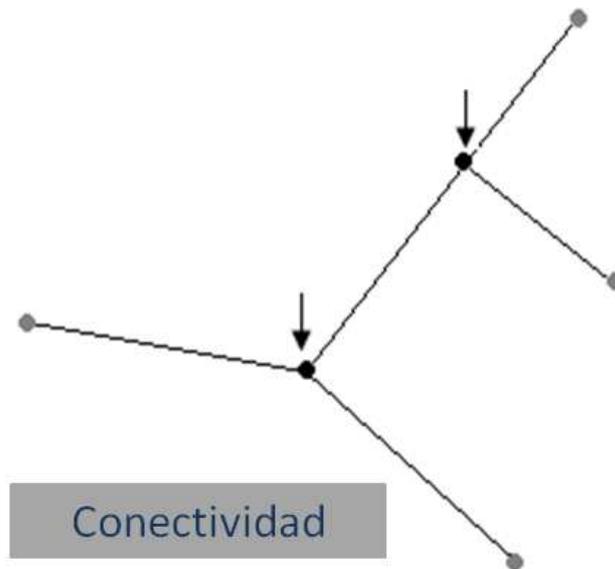
Área o polígono: elemento bidimensional. Limite cerrado que contiene un área homogénea en su interior.

La *topología* es un proceso matemático que consiste en el establecimiento de relaciones entre las entidades geográficas no sólo a través de códigos comunes, sino que también a través de su posición espacial. La topología se crea cuando hay un conjunto de entidades relacionadas entre sí por medio de relaciones de vecindad (proximidad, conectividad, adyacencia, etc.). Así, podemos decir que existen diversas *relaciones topológicas* o *topologías* de distintas clases sobre distintos tipos de entidades gráficas:

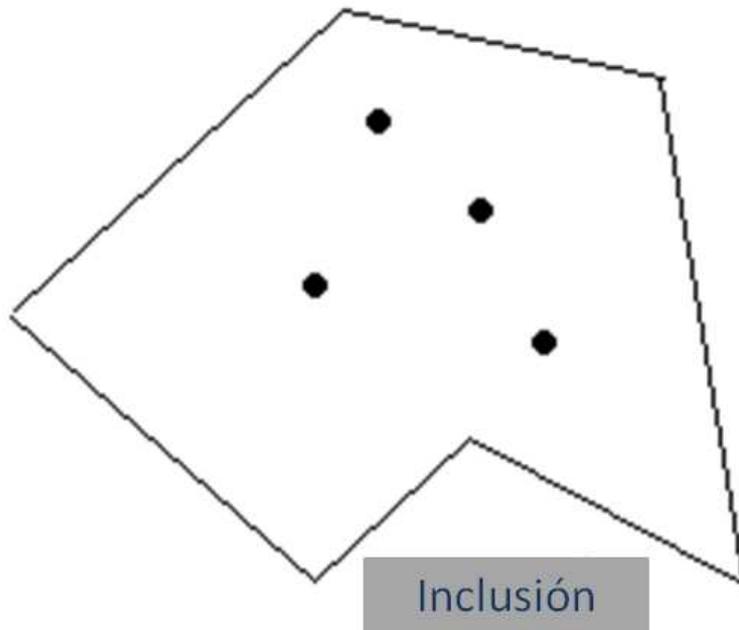
- **Contigüidad o adyacencia:** permite determinar que polígonos son colindantes a otro dado. Un polígono será adyacente a otro dado cuando comparta una parte de su contorno.



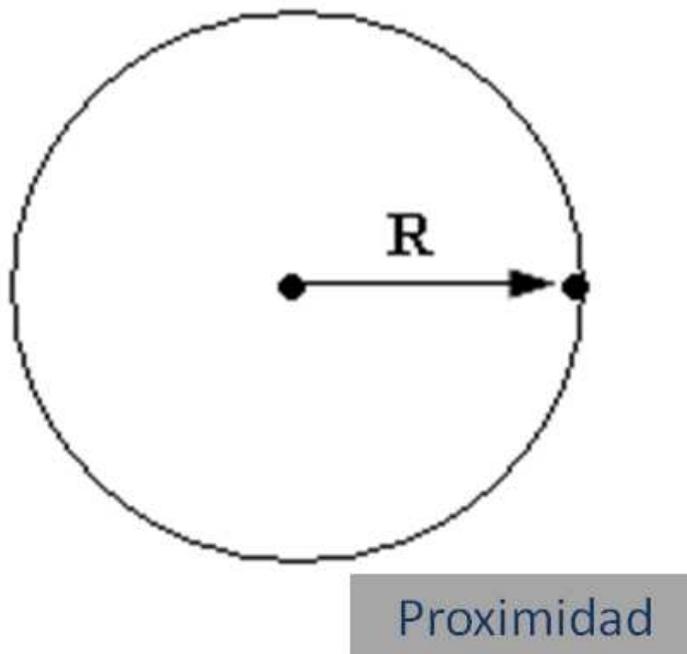
- Conectividad: permite recorrer una red de entidades lineales que están conectadas entre sí. Una entidad lineal (“arco” en terminología SIG) está conectada a otra cuando comparte uno de sus puntos extremos (“nodo” en terminología SIG).



- Inclusión: permite determinar que entidades se encuentran en el interior de otras entidades.

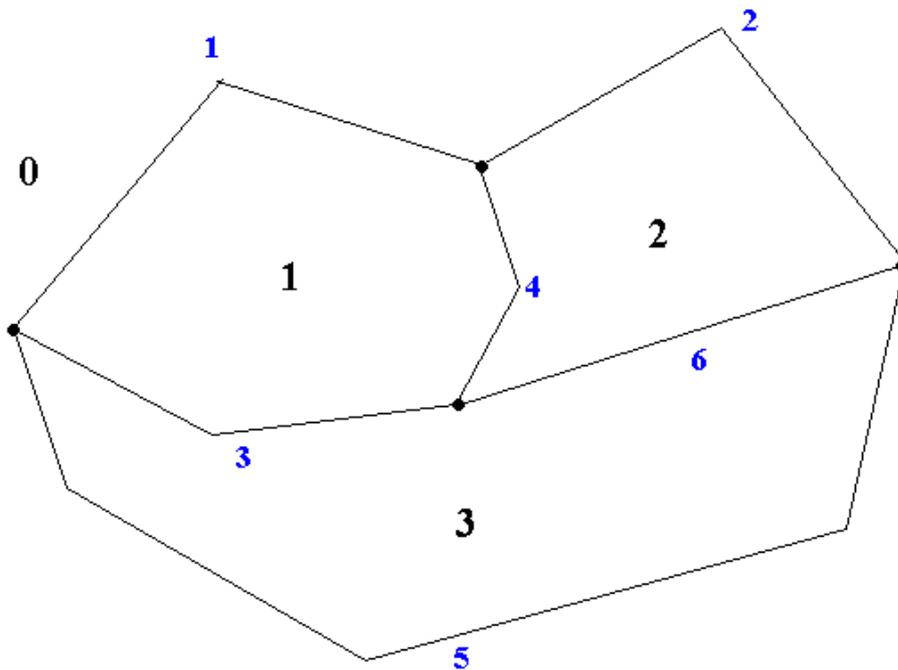


- Proximidad: permite el cálculo analítico de la proximidad de dos entidades.



3.5.1. Topología de polígonos

Está formada por una red de arcos que forman recintos cerrados y un conjunto de puntos interiores (centroides) que actúan como *punteros* a la base de datos. Mediante esta topología podemos saber qué arcos componen un polígono, que polígonos son colindantes a un polígono dado o qué atributos corresponden a un punto interior de un polígono.



Arcos	
Id	Coordenadas

Atributos adicionales		
Nombre	Atributo 1	Atributo 2

Enlaces topológicos					
Arco	N _i	N _f	P _i	P _d	Longitud

Polígonos					
Id	Nombre	X _c	Y _c	Área	Perímetro

La estructura *Arco-Nodo* de *ARCInfo* (principal software SIG en sus orígenes) toma como elementos base el arco y el nodo:

- El arco se define como una sucesión de segmentos rectos con la misma topología.
- Los nodos son los vértices en los cuales intersectan tres o más arcos y los vértices extremos.

Es interesante tener en cuenta unos cuantos aspectos fundamentales que nos ayudarán a entender el tema a tratar:

- Los arcos nunca conectan con otros arcos por medio de nodos comunes.
- Los arcos que conectan después de rodear un área definen un polígono.
- Los arcos tienen una dirección y un lado izquierdo y uno derecho.

Formación de polígonos en la topología Arco-Nodo

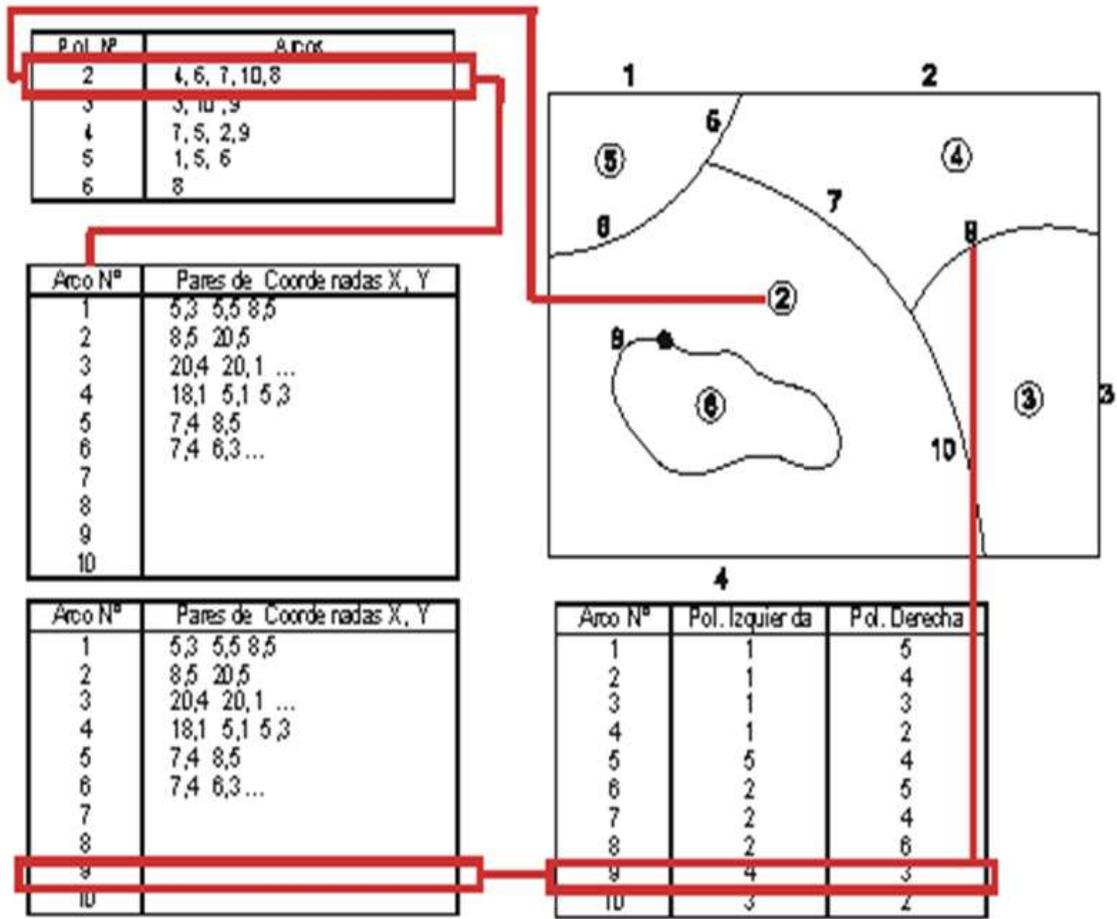


Figura 3.8: Formación de polígonos en la topología Arco-Nodo.
(Fuente: <http://www.gabrielortiz.com>; Acceso, 25/VII/2009).

3.5.2. Topología de líneas (arcos o red)

Está formada por un conjunto de arcos que están enlazados entre sí formando una red. Cada arco se une con otro a través de un punto llamado “nodo” y tiene un sentido de avance que le permite recorrer la red.

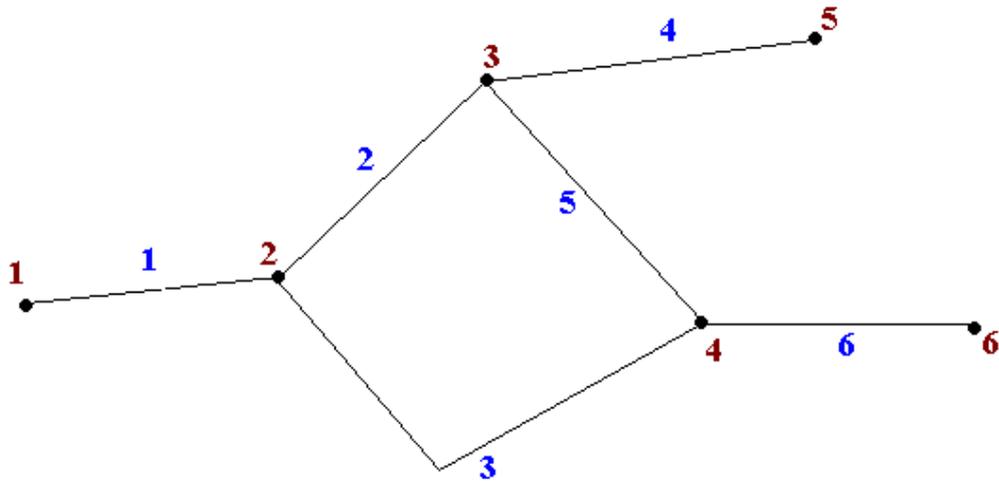


Tabla de arcos				
Id	N _i	N _f	Longitud	...

Tabla de nodos		
Id	X _n	Y _n

Formación de líneas en la topología Arco-Nodo

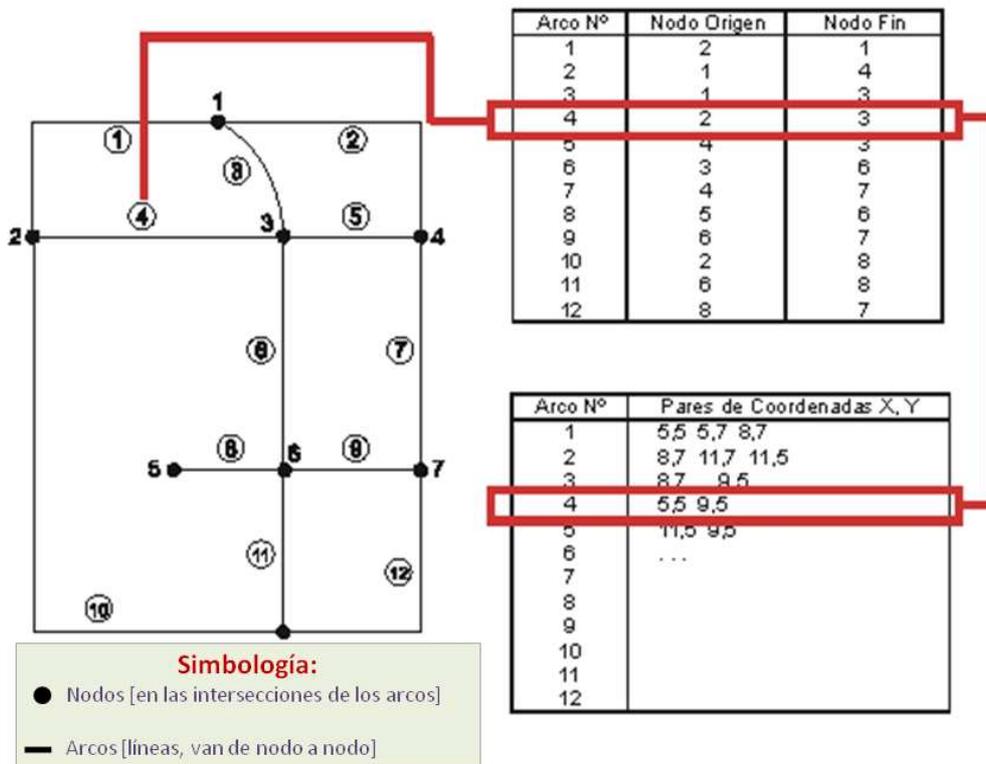


Figura 3.9: Formación de líneas en la topología Arco-Nodo.
 (Fuente: <http://www.gabrielortiz.com>; Acceso, 25/VII/2009)

3.5.3. Topología de puntos

Representa una red de puntos referenciados geográficamente sin relaciones entre ellos pero con datos asociados.

Tabla de puntos			
Id	X _p	Y _p	...

3.6. Problemas con el proceso de definición de entidades

Existen ciertos problemas asociados con la simplificación del mundo real en una serie limitada de entidades espaciales (puntos, líneas, polígonos y áreas). Entre ellos, la naturaleza dinámica del mundo real, la escala cartográfica y la identificación de elementos discretos.

3.6.1. La naturaleza dinámica del mundo real

El mundo real no es estático: los montes crecen, los ríos fluyen y las ciudades se expanden. Esto plantea dos cuestiones importantes en la fase de definición de los tipos de entidades de un proyecto SIG: la elección de la escala apropiada y la actualización de los datos.

La primera de ellas implica la forma de seleccionar el tipo de entidad más apropiado para la representación del elemento que debe ser modelado. Por ejemplo, ¿es mejor representar un monte como una colección de puntos (representando la situación de los

árboles como elementos individuales) o como un polígono (delimitado por la frontera que define el territorio ocupado)?.

La segunda cuestión está relacionada con la evolución temporal de los datos y el cambio en las características de los elementos representados. Por ejemplo, un bosque frondoso que originalmente (supongamos a mediados del siglo XX) estaba representado como un polígono al cabo de cincuenta años pasa a estar representado como un grupo disperso de árboles, una nube de puntos.

3.6.2. La escala

El concepto de escala también es importante en el proceso de definición de las entidades. Por ejemplo, si una base de datos de un SIG debe construirse a escala 1:1.000.000 (por ejemplo, el *Digital Chart of the World*), puede ser lo más apropiado representar una gran ciudad como la de Barcelona como un simple punto. Sin embargo, si trabajamos a escala 1:250.000 para el mismo ejemplo de antes, una entidad del tipo polígono podría ser a representación más adecuada. Pero a escala 1:50.000 se necesitaría subdividir la ciudad de Barcelona en un conjunto de diferentes tipos de entidades. Lo ideal sería tener un SIG que pudiera operar verdaderamente a cualquier escala seleccionando la entidad apropiada de representación a medida que uno se acerca o se aleja de la representación de la misma (herramienta *zoom* integrada).

3.6.3. Definición de elementos discretos

Muchos elementos geográficos del mundo real no encajan bien en los modelos disponibles. Los límites de los elementos, por ejemplo, son un problema real en la

definición del tipo de entidad espacial. En la realidad, los límites de un fenómeno natural pocas veces son discretos, sino que más bien se caracterizan por una zona de transición. Por ejemplo, ¿donde deberíamos colocar los límites de una entidad polígono empleada para representar una zona de bosque?, ¿los bosques tienen límites, o disponen de zonas de transición de máxima y nula cobertura de vegetación? Muy a menudo escapamos a este problema porque capturamos la información de un mapa papel (fuentes de datos secundarias) donde la frontera ya está marcada claramente. A pesar de que limitar los elementos del mundo real puede ser muy útil y nos permite realizar medidas cuantificables más fácilmente, debemos reconocer que existen problemas asociados a la elección de un tipo de entidad con unos límites precisos, especialmente cuando tratamos fenómenos naturales los cuales presentan unos límites que son, en esencia, de tipo borroso y transitorio.

El primer nivel del proceso de abstracción se caracteriza por el empleo de las diferentes entidades espaciales (también llamadas *primitivas gráficas*) como elementos básicos del SIG. Lamentablemente, tal y como ya dijimos, el proceso de definición del tipo de entidad que debe emplearse para representar un elemento del mundo real conlleva ciertas dificultades. La decisión es de vital importancia para el diseño del SIG ya que determinará su funcionamiento y sus potencialidades para llevar a cabo futuras operaciones.

3.6.4. El concepto de capas de datos

El mundo real tiene tanta complejidad que para la mayoría de aplicaciones SIG se hace necesario construir modelos de la realidad más complejos que los formados

únicamente con las entidades espaciales ya conocidas. Así entran en juego las denominadas *entidades compuestas* (diversos tipos de entidades) en este proceso de construcción de modelos fidedignos del mundo real.

Para trabajar con este problema, el método más empleado es el de la adopción de una aproximación por capas. Se construyen capas de datos individuales utilizando los diversos tipos de entidades para representar los diferentes elementos espaciales. Cada capa de datos se almacena independientemente (operaciones de capa única) o junto a otras (como capas múltiples) dependiendo de la aplicación. El uso de múltiples capas puede causar problemas adicionales según el modelo de datos que escojamos.

3.7. ¿Por qué un SIG?

Como sabemos, los SIG forman parte de los denominados “Sistemas de Información (SI)”. Permiten, como hemos visto anteriormente, gestionar y analizar la información espacial, acometer aplicaciones diversas, en campos tan diferentes como la planificación urbana, la gestión catastral, la ordenación del territorio, el cuidado del medio ambiente, la planificación del transporte, el mantenimiento y la gestión de redes públicas, el análisis de mercados, etc.

Se trata de un conjunto de procesos informáticos que nos van a permitir producir, a partir de datos no tratados, información útil en la toma de decisiones. Está formado por un sistema de hardware, software y una serie de procedimientos diseñados para realizar la captura, el almacenamiento, la manipulación, el análisis, la modelización y la presentación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión.

La ventaja reside en que un SIG descompone la realidad en diferentes temas/capas, pudiéndose relacionar las distintas capas entre sí, lo que nos proporcionará una gran capacidad de análisis.

El sistema no sólo almacena información acerca de la localización de los elementos en el espacio (proceso de georreferenciación), sino también acerca de las relaciones topológicas entre los elementos, las cuales permanecen invariables bajo transformaciones afines (ya comentadas en el apartado anterior).

Los SIG se están expandiendo con gran rapidez gracias a dos ventajas fundamentales que presentan:

- Su capacidad de respuesta a preguntas de tipo espacial.
- Su capacidad de relacionar conjuntos de datos diferentes.

Siguiendo el mismo hilo argumental, podemos agrupar las cuestiones que puede responder un SIG en base a los siguientes puntos:

- Localización: Consulta en la que es necesario relacionar la información cartográfica con la base de datos de los atributos.
- Condición: A partir de ciertas condiciones, el sistema debe indicar donde se cumplen.
- Tendencias: Comparación entre situaciones temporales distintas. Supone trabajar con varios mapas de la misma zona referidos a períodos diferentes.
- Rutas: Calcular el camino óptimo entre dos puntos a través de una red.
- Pautas: Ciertas regularidades espaciales.

- Modelos: Generar modelos para simular el efecto que producirían posibles fenómenos o actuaciones en el mundo real.

3.7.1. Ventajas de trabajar con un SIG

Entre éstas podemos enumerar las siguientes:

- La incorporación de la parte gráfica o visual permite trabajar de una forma más sencilla, centralizada e integrada.
- Permite trabajar con información gráfica y alfanumérica de forma integrada, de tal modo que las modificaciones en las propiedades de un elemento se verán reflejadas de forma simultánea en las dos vertientes.
- Los SIG son una herramienta ideal para la integración de equipos de trabajo, los cuales hasta hace unos años trabajaban de forma autónoma y, en ocasiones, totalmente descoordinada.
- Permite hacer simulaciones y buscar la solución más idónea ante un problema determinado. Los SIG son una herramienta ideal para facilitar la toma de decisiones, basándose para ello en trabajos de simulación.
- Permite hacer consultas SQL sobre la base de datos, obteniendo los resultados de forma gráfica e inminente.

3.8. Estructura de los datos geospaciales

3.8.1. Las Geodatabases

A lo largo de este apartado podremos ver cómo el concepto de *geodatabase* suele ser asumido como “el almacenamiento físico de la información geográfica dentro de un sistema generador de bases de datos y como un modelo de datos que permite crear objetos con atributos y comportamiento” (Coll et al., 2003). De la misma forma profundizaremos en los dos tipos de *geodatabases* existentes:

- Las personales, normalmente integradas dentro de *ArcGis*, las cuales suelen basarse en *Microsoft Access*.
- Las multiusuario o corporativas, las cuales se desarrollan empleando *ArcSDE* (dentro del entorno *ArcGis*) y requieren de un SGBD como *IBM DB2*, *Informix*, *Oracle* o *MS SQL Server*.

Así, dentro del entorno *ArcGis* (principal software SIG en la actualidad), *ArcEditor* o *ArcInfo* permiten crear y editar *geodatabases* personales mientras que *ArcView* sólo permite visualizarlas.

También dentro de este punto introductorio podemos hacer referencia a los formatos de las bases de datos con los que podremos trabajar dentro de *ArcGIS*:

dBASE	[Extensión DBF]. Éste es el formato de las tablas de atributos de los <i>Shapefiles</i> ou <i>shapes</i>
INFO	No es un archivo, sino una carpeta que guarda toda la información alfanumérica de las coberturas <i>ArcInfo</i>
Access	[Extensión MDB]. Es el formato de las <i>geodatabases</i>
TXT	Ficheros de texto con los datos separados por comas
Ficheros SQL	<i>Access, Oracle, Informix, DB2</i>

Figura 3.10: Formatos de bases de datos con los que podremos trabajar dentro de ArcGIS.
(Fuente: <http://www.esri.com>; Acceso, 25/VII/2009).

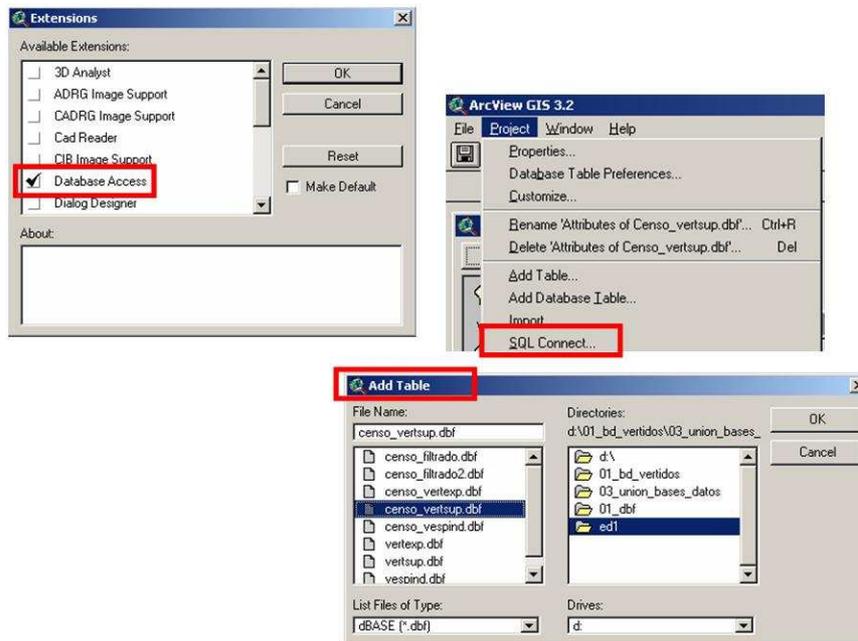


Figura 3.11: La lectura y conexión con bases de datos y tablas puede hacerse en *ArcView* de varias maneras. Existe incluso una extensión propia. (Fuente: Elaboración propia)

3.8.1.1. ¿Qué es una base de datos geográfica?

La esencia de un SIG está constituida por una base de datos geográfica. Ésta es, una “colección” de datos acerca de objetos localizados en una determinada área de interés sobre la superficie de la Tierra, organizados de una forma tal que pueden servir eficientemente a una o varias aplicaciones. Una base de datos geográfica requiere de un conjunto de procedimientos que permitan hacer un mantenimiento de ella tanto desde el

punto de vista de su documentación como de su administración. Su eficiencia está determinada por los diferentes tipos de datos almacenados en las diferentes estructuras. El vínculo entre las diferentes estructuras se obtiene mediante el campo clave que contiene el *número identificador* de los elementos. Dicho identificador aparece tanto en los atributos gráficos como en los no gráficos. Estos últimos son guardados en tablas y manipulados por medio de un sistema que maneja bases de datos.

Por su parte, los atributos gráficos son guardados en archivos y manejados por el software SIG. Los objetos geográficos son organizados por temas o capas de información, llamadas también *niveles*. Normalmente, los elementos simplemente son agrupados por lo que ellos representan. Así por ejemplo, en una categoría dada, ríos y calles (aunque ambos son objetos de tipo *línea*), ambos elementos están almacenados en distintos niveles debido a que sus atributos son diferentes.

El propósito de los SIG es el de proporcionar un entorno adecuado para permitir el análisis de datos geográficos, que facilite el proceso de toma de decisiones en aquellos casos en los que la componente geográfica sea determinante.

En las últimas versiones del programa *ArcGis*, se introduce el modelo de datos de la *Geodatabase*, a través de la cual se implementan comportamientos y relaciones entre elementos de la base de datos, los cuales ofrecen una representación más veraz de la realidad.

A continuación haremos un breve repaso de las características principales del modelo de la *geodatabase*, así como de sus ventajas principales, en comparación con el modelo “geo-relacional” anterior.

3.8.1.2. Evolución de los modelos de datos

Para comprender las incorporaciones aportadas por el modelo de la *geodatabase*, se hará un pequeño repaso de la evolución temporal de los diferentes modelos de datos.

Hasta mediados de 1990 los modelos de datos se basaban en estructuras de ficheros no relacionales, los cuales tuvieron que ser optimizados para poder realizar un acceso rápido a los datos. La ventaja principal de este modelo de datos en ficheros era su facilidad para la distribución de los datos entre los usuarios. De forma gradual, los modelos SIG evolucionaron hacia estructuras geo-relacionales, donde la información alfanumérica (atributos) se almacenaba en bases de datos relacionales y se establecían vínculos con los elementos espaciales (puntos, líneas y polígonos) almacenados en ficheros. Este modelo no facilitaba la asociación de comportamientos a cada uno de los elementos geográficos con lo que, a pesar de lo sencillo que era el modelo, obligaba a implementar aplicaciones muy complejas.

A mediados de 1990 surgió el modelo de datos de *GeoObjetos*, implementado a través de la *geodatabase*. En este modelo de *geoObjetos*, cada uno de los elementos de nuestra cartografía (*features*) se trata como un objeto geográfico, teniendo cada uno de ellos su propia geometría, sus propios atributos y, lo que es más importante, un comportamiento propio. Ya no se habla de puntos, líneas o polígonos sino de transformadores, carreteras o lagos, cada uno de los cuales tiene su propio comportamiento.

3.8.1.3. ¿Qué es una *geodatabase*?

Una *geodatabase* es un modelo para el almacenamiento de objetos geográficos, de sus atributos, de sus relaciones (espaciales o no) y del comportamiento de cada uno de sus elementos. Las características principales de una *geodatabase* son las siguientes:

- Permite almacenar numerosos tipos de datos:

Vectorial (2D e 3D)
Raster
CAD
Tablas alfanuméricas
Topología
Información calibrada
Redes geométricas
Relaciones entre elementos (geográficos o no)
Metadatos
Acotaciones
Datos procedentes de estudios topográficos
Direcciones y localizadores empleados en la geocodificación
Anotaciones (vinculadas o non a los elementos)

Figura 3.12: Tipos de datos almacenables dentro de una *geodatabase*. (Fuente: Elaboración propia)

- La *geodatabase* reside en un SGBD estándar (*Oracle, Informix, SQL Server, IBM DB2*), aunque también existe una versión de *geodatabase* para *Microsoft Access*. Esto permite que se aprovechen todas las ventajas de los grandes SGBD (acceso multiusuario, replicación, extensiones espaciales, etc.), lo que se traduce en una mayor facilidad a la hora de administrar la base de datos corporativa, ya que la información geográfica no tiene un tratamiento diferente

al del resto de la información. La posibilidad de almacenar la información geográfica en un SGBD ofrece, además de las ventajas obvias derivadas de las posibilidades de los propios sistemas de almacenamiento, la posibilidad de integrar datos geográficos con datos procedentes de diferentes áreas de negocio (CRMs, ERPs, EAI), lo que hace posible incluir la componente geográfica en el proceso de toma de decisiones.

- La responsabilidad del almacenamiento de la información geográfica recae en el SGBD empleado. No obstante, la *geodatabase* complementa las herramientas estándar presentes, implementando sobre la base de datos una serie de funciones que satisfacen aquellas necesidades más avanzadas que el tratamiento de la información espacial requiere.

Además del almacenamiento y consulta de la información geográfica, la *geodatabase*, por sí sola o en conjunto con los propios mecanismos de la base de datos para el almacenamiento de la información espacial, soporta una importante serie de funcionalidades añadidas, entre las que destacamos las siguientes:

- Gestión de transacciones largas para la edición de cartografía.
- Gestión mediante versiones de flujos de trabajo.
- Gestión de históricos.
- Gestión de metadatos.
- Posibilidad de explotar las ventajas del diseño orientado a objetos de cara al diseño de nuestro modelo de datos (polimorfismo, herencia y encapsulación).

- El modelo de datos de la *geodatabase* permite almacenar, además de elementos geográficos y sus atributos, comportamientos determinados para cada objeto, lo que permite generar una visión más exacta de la realidad.

3.8.1.4. Geodatabase corporativa y geodatabase personal

En base a cómo se almacena la *geodatabase*, así como la funcionalidad que es posible implementar en cada caso, se puede diferenciar entre *geodatabase* corporativa y *geodatabase* personal.

- **Geodatabase corporativa**

Las *geodatabases* corporativas son, tal y como ya indicamos en el punto de introducción, almacenadas en SGBD comerciales (*Oracle*, *IBM DB2*, *Informix* y *SQL Server*) y gracias al mecanismo de gestión de versiones es posible editarlas en modo multiusuario.

Los datos raster se almacenan en la *geodatabase* corporativa, como un conjunto de tablas relacionadas que forman la estructura necesaria para recoger valores de cada píxel, referencia espacial, metadatos, tablas de valor, *colormaps*, etc.

Las *geodatabases* corporativas pueden ser empleadas por cualquier cliente de *ArcGIS*, si bien la funcionalidad disponible dependerá del cliente que la emplea, y será necesaria la presencia de *ArcSDE* para su creación y edición, aunque su

visualización podrá llevarse a cabo mediante conexión directa sin ser necesaria la presencia de *ArcSDE* en el sistema.

- ***Geodatabase personal***

Se almacenan en bases de datos de *Microsoft Access* y permite realizar todas aquellas funciones de la *geodatabase* corporativa excepto la de edición en modo multiusuario.

Dependiendo del cliente y de las funciones empleadas en cada caso, con *ArcEditor* y *ArcInfo* será posible crear y editar elementos más o menos especializados (relaciones espaciales, redes geométricas, topología, anotaciones,...) dentro de una *geodatabase* personal, mientras que con *ArcView* solamente la podremos visualizar.

3.8.1.5. Beneficios del modelo de la *geodatabase*

La *geodatabase* incluye numerosas ventajas respecto al modelo de datos georrelacional y de entre éstas podemos citar el manejo centralizado de la información en un SGBD, al trabajar en un entorno integrado, la creación y edición topológica integrada de elementos y de redes geométricas, etc. Entre estas ventajas vamos a explicar con un poco más de detalle algunas de las mismas:

a) Gestión de datos centralizada

Todos los datos dentro de una *geodatabase* (vector, raster, direcciones,...) son almacenados directamente en SGBD comerciales (*Microsoft Access* para *geodatabases* personales y *Oracle, IBM DB2, SQL Server* o *Informix* para *geodatabases* corporativas) constituyendo un repositorio común y centralizado para todos los datos geográficos de una organización. Esto significa que las organizaciones pueden tener una única política de gestión y mantenimiento de datos tanto geográficos como de otra índole, lo cual facilita estas actividades, con la disminución de costes que esto supone.

b) Edición multiusuario

La *geodatabase* permite la edición multiusuario a través del mecanismo de versiones. Multitud de usuarios, siempre con los permisos adecuados, pueden realizar tareas de edición de los datos incluidos en una *geodatabase*. Asimismo es posible realizar sesiones de edición que duren semanas, meses e incluso más tiempo.

Como ya se comentó con anterioridad la edición multiusuario está disponible exclusivamente en la *geodatabase* corporativa aunque la visualización multiusuario es posible realizarla en ambas *geodatabases* (personal y corporativa).

c) Implementación de comportamiento

La implementación de comportamiento en los elementos geográficos, permite al usuario trabajar con elementos más intuitivos, ya que la definición de su comportamiento los hace más próximos a la realidad. Los elementos geográficos ya no

son exclusivamente puntos, líneas o polígonos, sino que una vez definido el comportamiento de cada tipo de elemento se podrá hablar de ríos, carreteras, parcelas catastrales o transformadores. Por ejemplo, los ríos tendrán una dirección de flujo determinada y sólo podrán conectarse con otros elementos río o similares (lago, embalse, presa), mientras que los transformadores podrán conectarse entre sí mediante cables de un determinado calibre y/o material.

Por otro lado, la definición de comportamiento en los elementos permite automatizar muchas de las tareas de creación y edición de los mismos, asociando al elemento creado, por ejemplo, una determinada simbología o unos valores por defecto en cualquiera de sus campos.

El comportamiento en las entidades geográficas de la *geodatabase* podrá ser implementado de varias maneras:

c.1) Comportamiento sencillo: Hablamos de comportamiento sencillo cuando su implementación no supone programación. Así, una primera visión de comportamiento sencillo la tenemos en las reglas de validación, que establecen una serie de requisitos que debe cumplir un elemento. Se pueden definir cuatro tipos diferentes de “reglas de validación”:

I) Reglas de Atributos:

- *Rango*: El dominio de un campo se reduce a un intervalo numérico.
- *Máscara de cadena*: El dominio de un campo se reduce a una serie de cadenas posibles.

- *Serie*: El dominio del campo es igual a los valores de una lista (numérico o cadena⁸).

II) Agregación/Segregación: Estas reglas recalculan, siguiendo varias estrategias definidas por el usuario, el valor de los atributos de un polígono o de una línea cuando sufren una agregación (*merge*) o una segregación (*split*). Así, por ejemplo, un objeto parcela recalculará un campo de la tabla de atributos (por ejemplo el campo “impuesto”) cuando se produzca una agregación o segregación parcelaria.

III) Reglas de Relación: Controlan las reglas de “cardinalidad” entre los elementos relacionados de nuestra cartografía. Por ejemplo, una parcela puede estar relacionada con muchos propietarios o puede limitarse dicho número a 1, 2 o a 20 propietarios como máximo.

El modelo *geodatabase* permite la creación de relaciones complejas, en las que la vida y geometría de un elemento, gobierna a sus elementos relacionados, es decir, la eliminación de una parcela provocará el borrado o supresión de los edificios relacionados con ella.

IV) Conectividad: Comprueban las relaciones topológicas entre elementos pertenecientes a una red geométrica. Por ejemplo, dado un objeto “Cañería

⁸ Traducción del término inglés “*string*”

40mm”, podremos hacer que sólo sea conectable con otro del mismo tipo, o con otro del tipo “con una junta de unión de 40-60”, o del tipo “20-40”.

Las reglas de conectividad se establecen a nivel de subtipo. Es decir, dentro de una *Feature Class* de carreteras, por ejemplo, podremos encontrar carreteras del primer orden (un subtipo), del segundo orden (otro subtipo), etc. Tanto la definición de subtipos como la creación de reglas de conectividad, se implementan haciendo uso de asistentes muy intuitivos, y si bien no es necesario ningún desarrollo para su definición si será necesario trabajar con *ArcEditor* o *ArcInfo* para generarlas y editarlas. Su visualización es posible realizarla con cualquier cliente *ArcGIS*.

Un segundo tipo de comportamiento sencillo es la implementación de topología en la *geodatabase*, a través de la cual es posible mantener las relaciones espaciales entre elementos coincidentes o elementos conectados de una red geométrica.

Es importante entender que tanto las reglas de validación como las de topología son flexibles y que por lo tanto en determinadas ocasiones, cuando no se cumplen, el usuario puede decidir almacenar en la *geodatabase* objetos no válidos.

c.2) Comportamiento complejo.

Más allá del comportamiento sencillo comentado, cualquier tipo de comportamiento ha de ser programado, ya que es necesario crear nuevas librerías para implementarlo. Puesto que *ArcGIS* permite la creación de nuevos *geoObjetos* y éstos son componentes COM, tenemos la posibilidad de incorporar al modelo de datos preexistente nuestras propias clases de elementos, en las que se podrán definir nuevos métodos y propiedades

que implementen un comportamiento determinado. Así, en lugar de reducir el abanico de elementos a polígonos, líneas y puntos, podremos crear elementos de tipo *parcela*, *tubería*, etc.

El comportamiento que incorporan los *geoObjetos* puede llevar a cabo diversas tareas, tales como controlar los atributos del propio *geoObjeto*, su comportamiento a la hora de realizar un análisis, sus relaciones espaciales y topológicas con otros elementos, etc. Así por ejemplo el *geoObjeto* “edificio” cambia su representación en pantalla en función de la escala a la que se redibuje: a escala 1/5.000 o superior presenta muchos detalles, mientras que entre las escalas 1/5.000 y 1/50.000 se redibuja como un polígono simplificado. A escalas inferiores se representa como un punto.

d) Tecnología COM

Los *geoObjetos* de *ArcGIS* son objetos COM, es decir, fueron generados siguiendo un estándar (especificación COM de *Microsoft*) que define la forma de comunicación entre ellos, por lo que entran a formar parte de una corriente generalizada dentro del mundo de la informática.

La posibilidad de comunicarse con otros objetos COM (sean o no objetos SIG), permite que *ArcGIS* en general, y las *geodatabases* en particular, puedan integrarse con otros sistemas en vez de combinarse exclusivamente con éstos o complementarlos. De esta forma se rompe la barrera existente entre los SIG y el resto de sistemas de información existentes dentro de una organización.

La utilización del estándar COM en *ArcGIS* permite la utilización en nuestro sistema, de *geoObjetos* creados por terceros, independientemente del lenguaje o de la plataforma

en la que fueron creados. A partir de cada *geoObjeto*, es posible derivar otros nuevos que podrán aprovechar todas o algunas de las facetas de comportamiento implementadas en sus *geoObjetos* “padre”.

e) Acceso a geodatabases

Este puede realizarse a través de los menús estándares de *ArcCatalog*, *ArcMap* y *ArcToolbox*. Los programadores pueden asimismo emplear los APIs (*ArcObjects*, OLE DB y SQL) incluidos en el software.

3.8.1.6. El concepto de topología aplicado al modelo de *geodatabase*

La topología se define como un conjunto de reglas integrales que definen el comportamiento de las relaciones espaciales entre los elementos geográficos. Las reglas de integridad topológica de *ArcInfo* tienen reglas equivalentes en la topología de las *geodatabases*, pero además:

- El usuario puede definir qué capas participan en la topología.
- Polígonos múltiples, puntos y líneas pueden participar en la misma topología.
- Existe un elevado número de constreñimientos espaciales que han de ser aplicados (reglas topológicas).
- Los usuarios pueden definir qué reglas se adaptan mejor a sus capas de datos.
- La topología se almacena en un software comercial SGBD de forma continuada.

- El usuario puede ejecutar operaciones topológicas parciales (BUILD) para incrementar la ejecución.

3.8.1.7. Aportación del modelo de la *geodatabase* a los SIG

El modelo de la *geodatabase* abre una nueva puerta dentro del campo de los SIG, permitiendo una mayor flexibilidad a la hora de modelar la realidad. Las posibilidades que presenta en cuanto a mantenimiento de información fueron mejoradas notablemente con la implementación del “comportamiento” en los elementos geográficos.

Algunas de las principales características de la *geodatabase* tales como la gestión centralizada de los datos, la posibilidad de una edición en modo multiusuario o la implementación del “comportamiento” a cada uno de sus elementos nos permiten que el mantenimiento de la integridad de la información, tanto espacial como alfanumérica, sea mucho más sencillo.

Por otro lado, al seguir las especificaciones COM en su generación, se rompe con la separación existente hasta ahora entre los SIG y los demás sistemas de información de las organizaciones.

3.9. Estandarización de los datos y descripción de las normas ISO relativas a las bases de datos de información geográfica

3.9.1. Conceptos relacionados: una visión general

A estas alturas ya tenemos una idea bastante clara de qué es y cuál es la importancia de la *información espacial* (que podríamos definirla como “la información de todo tipo relativa a entes o eventos en la que se incluye la referencia a la localización de la misma sobre, o en las inmediaciones de la superficie terrestre”. Dicha referencia puede ser adoptada de distintas formas: coordenadas geográficas (latitud, longitud), coordenadas cartesianas, dirección postal,..., de forma que esta referencia queda ubicada en el espacio de forma inequívoca.

El motivo por el cual asociamos información a su localización en el espacio se basa en el hecho de que la información espacial tiene la cualidad de poder ser representada de forma gráfica y simbólica mediante mapas. Los mapas son una herramienta de comunicación de gran eficacia con la que el ciudadano, técnico o no, se siente familiarizado.

La situación actual nos acerca a la existencia de muchos servidores de mapas, donde cada servidor es optimizado para “sus usuarios” empleando su propio software y por lo tanto a expensas de posibles usuarios con otro software, otra marca de SIG u otros formatos de datos.

La forma de trabajar de hace unos años nos lleva a lo que se conoce con el nombre de “islas de acceso a la información” (Gould, 2005). Es en este marco en el que algunos pensadores empiezan a hablar de la homogenización de la forma de trabajar y la optimización de los recursos, surgiendo así las IDEs.

Una IDE (*Infraestructuras de Datos Espaciales*) se define como un conjunto de tecnologías, políticas, estándares y recursos humanos necesarios para adquirir, procesar, almacenar, distribuir y mejorar la utilización de la información geográfica. Su objetivo no es otro que el de optimizar el acceso a los datos geográficos por parte de los usuarios, minimizando la duplicación de esfuerzo e inversiones, además de facilitar y promover el uso de la información procedente de múltiples fuentes



Figura 3.13: Niveles de una IDE. (Fuente: Elaboración propia)

Los datos de referencia representan el conjunto de ficheros que todos los entes relacionados con el uso de la información geográfica emplean para referenciar sus datos. Por lo tanto son datos que proporcionan un enlace común entre aplicaciones y, por lo tanto, un mecanismo para compartir conocimiento e información.

Los datos de referencia deben cumplir una serie de requisitos:

- no proporcionar una situación ambigua.

- posibilitar la mezcla de datos de varias fuentes.
- facilitar un contexto a la información restante.

La iniciativa europea INSPIRE (acrónimo de *IN*fraestructure for *SP*atial *Info*Rmation *in Europe*) corresponde a una directiva del Parlamento Europeo en la que se estableció una infraestructura de la información espacial en el seno de la Unión Europea.



Entre otros puntos la iniciativa INSPIRE adopta como principales los siguientes:

- Los datos deben de ser recogidos una vez, y éstos han de ser ubicados en el nivel donde mejor puedan ser mantenidos.
- Debe de ser posible integrar información espacial en toda Europa y compartirla entre todos los usuarios.
- La información geográfica necesaria para que funcione el sector público a todos los niveles debe ser abundante en condiciones que no interrumpen su uso extensivo.
- Debe ser sencillo descubrir que información existe, si sirve para ciertas necesidades y bajo qué condiciones puede ser adquirida.

Por su parte hablar de IDEE (*Infraestructura de Datos Espaciales Española*) supone “bajar un escalafón” respecto al nivel anterior. La IDEE tiene una serie de puntos:

- Creación de un *Portal Nacional* de la IDE Española, para acoger todos los recursos disponibles.
- Establecimiento de un *Nodo Español de Datos de Referencia*, que acoja los datos considerados como de referencia.
- Implementación de un *Catálogo* que permita consultar los metadatos.
- Implementación de servicios de geoprocesamiento.
- Armonización gradual y progresiva de los recursos y componentes integrados en la IDE.

La IDEE es un sistema distribuido y accesible a través de la web (<http://www.idee.es>), el cual ofrece los siguientes servicios:

- Servicio de búsqueda de datos geográficos. Permite localizar qué conjuntos de datos geográficos de referencia hay disponibles a una escala determinada, de una zona en particular, de un tema específico y/o de una fecha concreta.
- Servicio de visualización.
- Servicio de nomenclátor.
- Servicio de geoprocesamiento.
- Búsqueda avanzada de datos temáticos.
- Combinación y encadenamiento de las anteriores.

La conclusión que se puede extrapolar del tema de las *Infraestructuras de Datos Espaciales* viene emparejada con términos como el de liberación de datos, apertura de sistemas de trabajo, interoperabilidad de sistemas, etc.

Mediante protocolos (estándares) de la OGC (*Open Geospatial Consortium*) disponemos de normas para que servidores y clientes se entiendan:

- *Web Map Service* (WMS)
- *Web Feature Service* (WFS)
- *Web Coverage Service* (WCS)
- *Web Catalog Service* (z39.50, CSW y SRW)

El primero de ellos, el *Web Map Service* (WMS), es un estándar para publicar cartografía en Internet y sus especificaciones están recogidas en la OGC. WMS constituye un servicio que ofrece mapas (imágenes *png*, *jpeg* y formatos similares) a través de internet. Estos mapas tienen como fuente de información datos tanto vectoriales como raster. A través de este servicio tales datos no pueden ser modificados.

WMS conforma un servicio en una página web y su empleo ha de ser efectuado desde un navegador que admita este servicio. Entre sus posibilidades están las siguientes:

- Visualización sencilla y rápida de la información vectorial y raster.
- Capacidad para superponer múltiples capas procedentes de uno o varios servidores.
- Permite transparencias.
- Permite la configuración de leyendas.

- Permite hacer consultas de la información alfanumérica.

Este servicio está en auge en los últimos años y son ya algunas las instituciones que se animan a trabajar con este sistema. Entre las posibles URLs que trabajan con esta tecnología está el Catastro: <http://ovc.catastro.meh.es/Cartografia/WMS/ServidorWMS.aspx>. El servicio WMS es libre y gratuito, con la única limitación de que no permite realizar descargas masivas de porciones de cartografía.

El segundo escenario planteado es el *Web Feature Service* (WFS), que viene a ser el servicio que permite obtener y modificar datos geográficos de tipo vectorial a través de un mecanismo de transacciones. El WFS permite:

- Acceso completo a los atributos de las entidades gráficas.
- Permite trabajar como si fuera información vectorial local.
- Permite configurar leyendas.
- Consultas avanzadas.
- Análisis espacial.

El tercer escenario plantea el acceso avanzado a la información raster, servicio web ofrecido por el *Web Coverage Service* (WCS), mediante el cual se permite:

- Acceso completo a los atributos de los píxeles.
- Permite trabajar con información remota como si fuera información raster local.
- Análisis espacial.

WCS conforma un servicio que permite el intercambio de información geoespacial en forma de coberturas (*coverage*), las cuales son básicamente mapas junto a información detallada sobre éstos para su posterior interpretación, manipulación, etc.

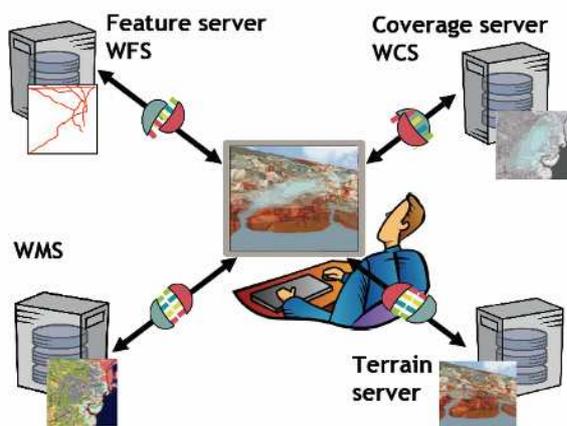


Figura 3.14: Relaciones entre los diferentes componentes Web de la información geográfica. (Fuente: <http://www.geoinfo.uji.es>; Acceso, 25/VII/2009)

3.9.2. Metadatos y Normas ISO

Los metadatos son unas herramientas que utilizamos más habitualmente de lo que pensamos. Cualquier etiqueta de cualquier producto, ya sea de un supermercado, de una farmacia, etcétera nos aporta información (metadatos) sobre el contenido de dicho producto (ingredientes, calorías, proteínas,...). De la misma forma, el prospecto de un medicamento nos dice qué productos lo forman, cómo debemos utilizarlo, cuales son las indicaciones, las contraindicaciones, los efectos secundarios, etc. Éstos son los *metadatos*.

Hay que diferenciar claramente los datos de los metadatos: los datos describen el mundo real y son un modelo de la realidad; los metadatos describen los datos y se utilizan para tomar decisiones acerca de los mismos. Los metadatos constituyen la

información, en forma de documentación, que permite que los datos sean bien entendidos, compartidos y explotados de manera eficaz por todo tipo de usuarios a lo largo del tiempo. Se utilizan para poder identificar, acceder y usar los datos.

Además de los metadatos, también tenemos que referirnos al auge que en los últimos años se produjo dentro del ámbito de las *Infraestructuras de Datos Espaciales* (IDE), como evolución de los SIG o SIT. Las IDEs se construyen a partir de los SIG y/o SIT de diferentes organizaciones, de diferentes niveles (local, regional, nacional o internacional) y de diferentes ámbitos temáticos (cartografía, geodesia, medio ambiente, agricultura,...).

El objetivo de las IDEs es el de integrar datos y servicios de modo que el ciudadano pueda acceder a la información y a los recursos de diferentes fuentes sin tener un conocimiento de la arquitectura del sistema. No obstante, la interoperabilidad de los sistemas, la integración de datos procedentes de fuentes dispersas y heterogéneas, junto a la homogeneidad de los servicios sólo es posible a través del cumplimiento de estándares, normas y recomendaciones de carácter nacional e internacional independientes de plataformas y aplicaciones.

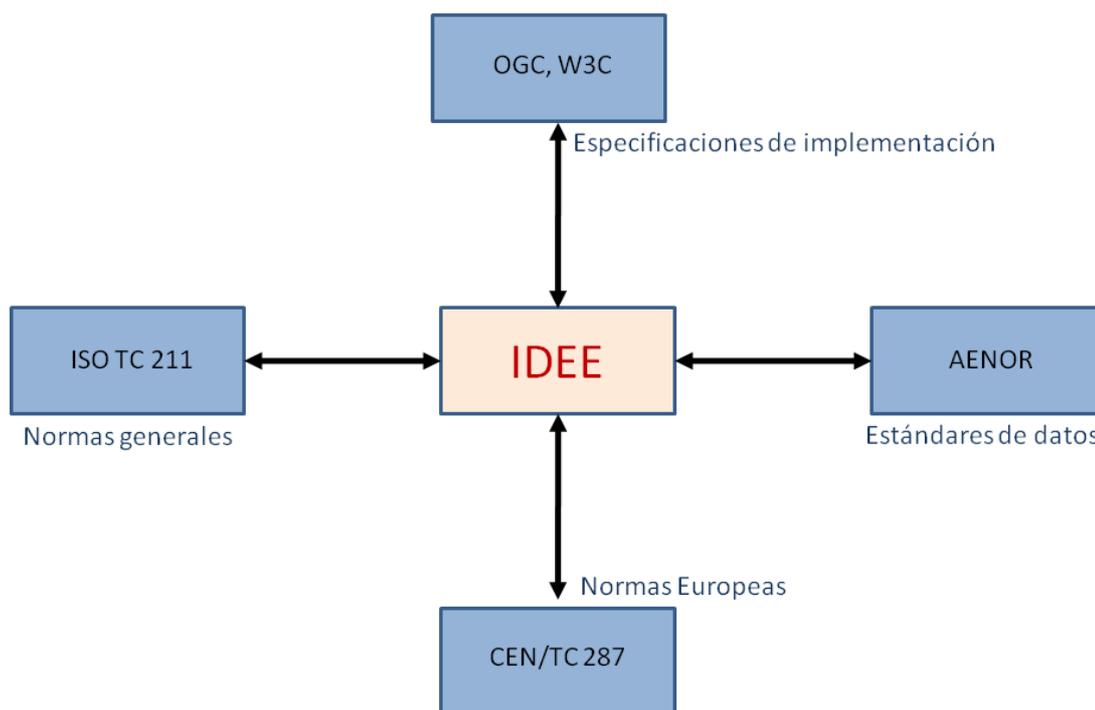


Figura 3.15: Estándares en el ámbito de la IDEE (Fuente: VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía – TOPCART – Madrid- 2004, 19-22 Octubre 2004-Normas y Estándares en el entorno de la IDEE; Adaptación)

3.9.2.1. La necesidad de creación y de aplicación de unas normas

El gran esfuerzo que realizan las asociaciones y organizaciones productoras de normas para crear especificaciones de estándares que sean ampliamente aceptadas por el sector de los SIG y la voluntad que los creadores y desarrolladores de IDEs ponen en el cumplimiento de esas especificaciones y en el aprendizaje continuo de los nuevos estándares y revisiones está justificado por ser el mejor medio para conseguir los siguientes objetivos:

- Comunicación entre sistemas de diferentes instituciones que, por razones de área geográfica o por razones temáticas o incluso por ambas a la vez, están obligados a compartir información y servicios.

- Reducción de costes al compartir información digital entre varias organizaciones. De esta forma la información puede ser obtenida una sola vez y por el organismo más cercano a los datos. Hay que destacar que la mayor partida presupuestaria en el momento de crear un SIG es para la obtención de datos.

- Permitir el uso de la información espacial por parte de las diferentes aplicaciones, con diferentes ámbitos de interés y desarrolladas en diferentes plataformas.

- Aumentar los períodos de utilidad y estabilidad de los productos de información.

3.9.2.2. Antecedentes

Los organismos que gestionan información geográfica necesitan crear metadatos de sus datos cartográficos, para poder confeccionar sus *Catálogos*. El Catálogo es la componente inicial de una IDE y la más importante, la cual va a permitir a los usuarios la búsqueda, localización, comparación y utilización de los conjuntos de datos geográficos y, en el futuro, de todo tipo de servicios y recursos. Para que los Catálogos procedentes de distintas organizaciones puedan relacionarse entre sí, es decir, sean interoperables y admitan búsquedas distribuidas, es necesario que satisfagan las especificaciones de interoperabilidad del *Open Geospatial Consortium* (OGC) y que estén constituidos a partir de normas de metadatos que sean comunes para todos ellos.

En la actualidad la norma ISO 19115 “*Geographic Information--Metadata*” es la *Norma Internacional de Metadatos*, referencia obligada a la hora de “metadatar” datos

geográficos y es la norma que define en detalle todos los aspectos relacionados con los metadatos. Dicha norma está presentando ciertos inconvenientes a los responsables de la creación de los metadatos por una serie de circunstancias:

- Es una norma muy amplia: constituida por más de 400 metadatos.
- Es una norma muy voluminosa: es un documento que consta de 140 páginas.
- Es una norma muy compleja: en cuanto a la terminología empleada, la forma de describir los ítems,..., lo que hace que la interpretación de la misma sea muy complicada.
- Es una norma muy general, tanto que es difícil de implementar directamente sin definir un perfil, entendido éste como una manera concreta de utilizarla seleccionando ciertos parámetros, posibilidades y variaciones que se definen como opcionales.

Por todo esto surge la necesidad de crear un *Núcleo Español de Metadatos* (NEM), es decir, un conjunto mínimo de metadatos, recomendado para la descripción de los recursos relacionados con la información geográfica, definido como un perfil de la ISO 19115 y que tenga en cuenta todas las iniciativas y acciones relevantes en el campo de los metadatos.

Por lo tanto, el NEM no pretende ser el Perfil de Metadatos para España, sino un núcleo común que se recomienda para que todos los Catálogos de Metadatos generados en España sean comparables e interoperables.

Es interesante tener una visión general de que son los metadatos, de las normas que en materia de metadatos existen en la actualidad y del conjunto mínimo de metadatos que constituyen el NEM.

Los trabajos desarrollados hasta el momento y relativos a este campo de estudio se presentan con un núcleo abierto en el que habrá que profundizar poco a poco según vaya surgiendo la necesidad de incorporar nuevos ítems, según vayan apareciendo iniciativas o normas relacionadas con el mundo de los metadatos, las cuales sean convenientes de incorporar en el mismo. La norma ISO 19115-2, extensión de la ISO 19115 para Metadatos de datos raster y malla, supondrá probablemente ampliar el NEM para tener en cuenta los requerimientos en cuanto a metadatos de este tipo de información.

3.9.2.3. Definición y aspectos generales

La definición más habitual de los metadatos es la que concibe a éstos como *“datos sobre los datos, los cuales describen el contenido, la calidad, la condición y otras características de los datos, a la vez que ayudan a una persona cualquiera a localizar y entender los datos espaciales disponibles”*.

Debemos pensar en los metadatos espaciales como una leyenda, mucho más detallada que la del mapa analógico, la cual describe a las personas que produjeron los datos, las fuentes documentales empleadas en la producción, los atributos de los datos, la fecha de publicación, el sistema de referencia, la frecuencia de mantenimiento, etc.

La *International Organization for Standardization* o *ISO* (de la que hablaremos más en detalle en el próximo apartado) es una federación de organismos nacionales estándares, con la cual también colaboran organizaciones internacionales, ya sean o no gubernamentales. Esta organización está dividida internamente en comités técnicos

encargados de elaborar estándares para diferentes temáticas. El comité más importante para el interés de este trabajo es el ISO/TC 211, destinado a la información geográfica. Existe una extensa lista de estándares relacionados con la información geográfica (que van desde la ISO 19103 a la ISO 19119), pero la dedicada especialmente al tema de los metadatos es la ISO 19115.

3.9.2.4. Organizaciones productoras de normas

Existen muchas organizaciones y asociaciones que publican normas y estándares a nivel nacional e internacional. A continuación describiremos brevemente la filosofía, modo de funcionamiento y normas de aquellas consideradas más relevantes dentro del ámbito de la información geográfica.

A) ISO (International Organization for Standardization)

La ISO se constituye como una red de institutos de estándares nacionales de 146 países. Aunque no es una organización gubernamental, ocupa un papel especial entre los sectores público y privado.

Dentro de ISO, el *Comité Técnico TC211* tiene como objetivo la emisión de estándares en el campo de la información geográfica digital, creando un conjunto estructurado de estándares para información sobre objetos y fenómenos que están directa o indirectamente asociados a una localización relativa a la Tierra. Estos

estándares especifican métodos, herramientas y servicios de gestión de datos, consulta, procesamiento, presentación y transferencia de información geográfica.

Los objetivos globales de la ISO/TC211 son los siguientes:

- Incrementar el conocimiento y uso de la información geográfica.
- Incrementar la capacidad, acceso e integración de la información geográfica.
- Promocionar la eficiencia, eficacia y economía del empleo de la información geográfica digital y de los sistemas software y hardware asociados.
- Contribuir al desarrollo sostenible.

Los estándares internacionales e informes técnicos de la ISO/TC 211 son enumerados en la siguiente tabla:

Numeración-título y descripción de la Norma		
ISO 6709:1983		Representación estándar de latitud, longitud y altitud para la localización de puntos geográficos
ISO 19101:2002	Información Geográfica	Modelo de Referencia
ISO 19105:2000	Información Geográfica	Conformidad y evaluación
ISO 19106:2004	Información Geográfica	Perfiles
ISO 19107:2003	Información Geográfica	Esquemas para información espacial
ISO 19108:2002	Información Geográfica	Esquemas para información temporal
ISO 19111:2003	Información Geográfica	Sistemas de Referencia de Coordenadas
ISO 19112:2003	Información Geográfica	Referencia espacial para identificadores geográficos
ISO 19113:2002	Información Geográfica	Principios de calidad
ISO 19114:2003	Información Geográfica	Procedimientos de evaluación de calidad
ISO 19115:2003	Información Geográfica	Metadatos
ISO 19116:2004	Información Geográfica	Servicios de posicionamiento
ISO/TR 19120:2001	Información Geográfica	Estándares sobre funcionalidad
ISO/TR 19121:2000	Información Geográfica	Imágenes y datos de cobertura
ISO 19125-1:2004	Información Geográfica	Acceso a entidades simples – Parte 1: Arquitectura común.
ISO 19125-2:2004	Información Geográfica	Acceso a entidades simples – Parte 2: Opción SQL

Figura 3.16: Lista de estándares de la ISO/TC 211 (Fuente: Elaboración propia)

Como ya subrayamos anteriormente, el estándar ISO 19115 hace referencia al esquema necesario para describir la información geográfica (el centrado en el tema de los metadatos). Proporciona información sobre la identificación de los datos, área geográfica que cubren, nivel de calidad, sistema de referencia, fecha de publicación, etc. Este estándar se podría aplicar a:

- Catalogar el conjunto de datos, actividades de almacenamiento y a la descripción completa del conjunto de datos.
- Conjunto de datos geográficos, series de conjunto de datos, elementos geográficos individuales y sus características.

El estándar ISO define:

- Secciones, entidades y elementos de metadatos condicionales y obligatorios.
- El mínimo conjunto de metadatos necesarios para poder ejercer sus funciones básicas (búsqueda y localización de los datos, determinación del grado de adecuación de los datos, acceso a los datos, transferencia de datos y uso de los mismos).
- Elementos opcionales de los metadatos, que permitan una documentación más precisa de los datos, si se considera necesario.
- Un método para la extensión de los metadatos a partir del cual poder resolver necesidades específicas.

B) W3C (*World Wide Web Consortium*)

W3C desarrolla tecnologías interoperables (especificaciones, guías, software y herramientas) para elevar la web a su máximo potencial. Además, W3C es un fórum para la información, el comercio, la comunicación y el conocimiento de la comunidad de usuarios de la Web.

C) OGC (*Open Geospatial Consortium*)

La OGC es una asociación internacional sin ánimo de lucro, que lidera el desarrollo de estándares sobre interoperabilidad de componentes software que tratan información geográfica. OGC trabaja con gobiernos, industria privada y universidades para crear interfaces software con objeto de acometer aplicaciones de tipo SIG.

Las especificaciones adoptadas son públicas y accesibles sin ningún coste.

Visión: Un mundo en el que todos aprovechen la información geográfica y los servicios disponibles a través de la red, aplicaciones y plataformas.

Misión: La misión principal es desarrollar especificaciones de interfaces espaciales que estén abiertas y disponibles para su uso global.

Las especificaciones más significativas de la OGC son las siguientes:

Acceso de las entidades simples (Simple Features - SQL, CORBA, OLE)
Servicios de Catálogo
Coberturas
Servicios de Transformación de Coordenadas
Servicios de Mapas por la Web (WMS)
Lenguaje de marcado geográfico (GML)

Servicio de objetos geográficos (WFS)
Especificación de codificación de los Filtros (expresión de pregunta)
Descriptor de los Estilos de los Temas (SLD)

D) CEN (*Comites Européan De Normalisation*)

El Comité Técnico CEN/TC 287 (*Comites Européan de Normalisation*) tiene asignada la responsabilidad de la estandarización de la información geográfica. Mantiene una estrecha colaboración con la ISO/TC 211, lo que significa que colabora en el desarrollo de los estándares internacionales y establece los procedimientos necesarios para adoptar en Europa los estándares ISO una vez que éstos sean establecidos.

E) AENOR (*Asociación Española de Normalización y Certificación*)

A nivel español la colaboración con el comité técnico CEN/TC 287 titulado "Información Geográfica Digital", se canaliza a través del Comité Técnico Nacional 148 (CTN 148) de AENOR. Este comité realiza la traducción y adopción de las normas europeas.

F) Interacciones entre las diferentes organizaciones

En la siguiente figura se representa esquemáticamente la relación entre las normas de las organizaciones mencionadas anteriormente:

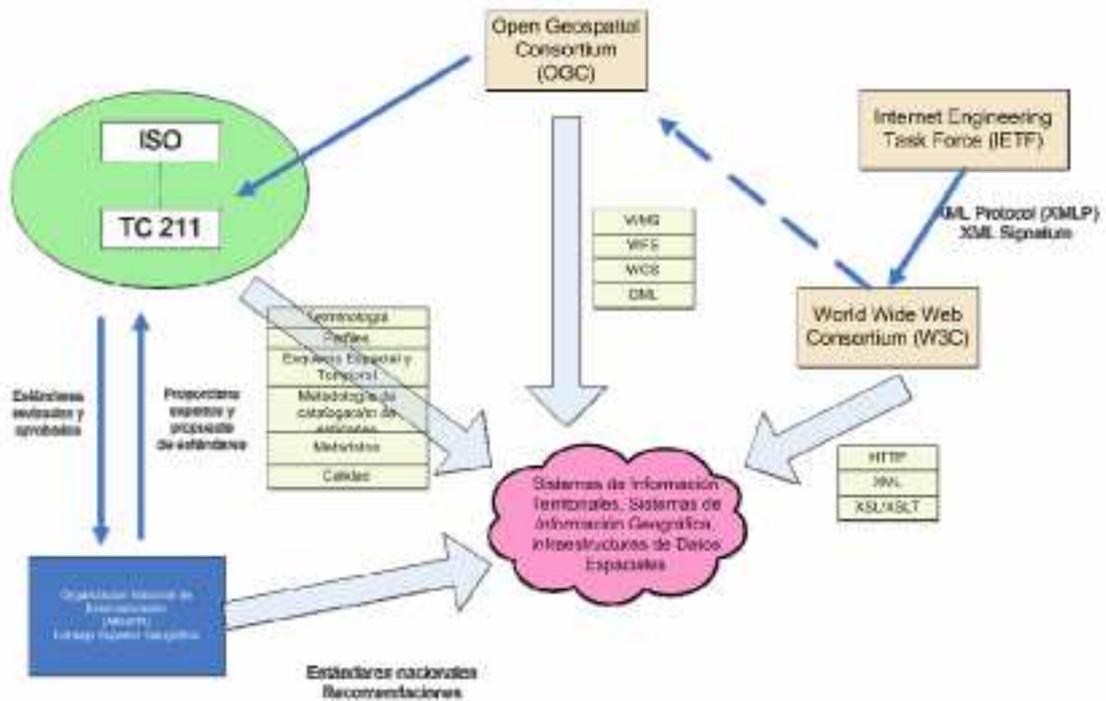


Figura 3.17: Asociaciones y relaciones entre normas de diferentes organizaciones. (Fuente: VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía – TOPCART – Madrid- 2004, 19-22 Octubre 2004- Normas y Estándares en el entorno de la IDEE; Adaptación)

3.9.2.5. Terminología asociada

Este estándar utiliza una terminología la cual, en ocasiones, no resulta muy habitual o conocida. Por este motivo, proporcionamos un conjunto de términos con sus correspondientes definiciones:

- *datatype* (Tipo de datos): Es el dominio de valor, el cual contiene las operaciones permitidas en el dominio. Un *datatype* está especificado por un término, por ejemplo entero, real, booleano, cadena, fecha, etc.
- *dataset* (Conjunto de datos): Es una colección de datos más pequeños e identificables. Un *dataset* puede estar dentro de otro *dataset*.
- *dataset series* (Serie): Grupo de conjuntos de datos que comparten una misma especificación de producto.

- *grid* (malla): Red formada por dos o más conjuntos de curvas en las que el miembro de cada conjunto interseca con los miembros del otro conjunto, dividiendo así un espacio determinado.
- *metadata element* (Elemento del metadato): Unidad discreta de un metadato.
- *metadata entity* (Entidad del metadato): Conjunto de elementos de metadatos que describen un mismo aspecto de los datos.
- *metadata section* (Sección del metadato): Subconjunto de metadatos que consiste en una colección relacionada de elementos de metadatos y entidades del metadato.
- *model* (Modelo): Abstracción de algún aspecto de la realidad.

3.9.2.6. Funciones de los metadatos

Es importante observar que en el contexto de la información geográfica digital, los metadatos no son un elemento independiente de los datos, sino que son parte de un mismo conjunto. Los metadatos:

- Ayudan a ordenar y mantener la inversión en los datos. Los usuarios potenciales de los datos pueden no utilizar los datos porque no conocen las características de los mismos.
- Ayudan a la transferencia de los datos. Aportan información sobre el formato del archivo, el volumen en megabytes, la localización de los datos,..., lo que permite al usuario procesarlos correctamente.

- Se pueden utilizar para permitir la distribución en línea de los datos. Así, podrán incorporar direcciones para descargar archivos, ya sean gratuitamente o previo pago, mediante unas descripciones de cómo realizar estos procesos.
- Facilitan la búsqueda de datos en múltiples bases de datos. Los metadatos estándares permiten a un usuario hacer una determinada consulta, que es redireccionada a los diferentes catálogos de metadatos registrados en el servidor principal. El resultado es un listado de metadatos procedentes de diferentes servidores.
- Pueden ayudar a evitar el uso erróneo de los datos. Incluyen unas descripciones de cómo debemos emplear estos datos y con qué finalidad y objetivo fueron creados.

3.9.2.7. Objetivos

Los objetivos que se persiguen con la creación de los metadatos son los siguientes:

- Que se puedan buscar y encontrar los conjuntos de datos, es decir, saber qué datos existen, qué datos hay disponibles de una determinada zona y para un tema determinado, a una escala determinada o en general con unas características específicas que el usuario demanda.
- Que se pueda valorar la calidad del conjunto de datos, valoración requerida para ser empleada como fuente de datos en otros procesos dentro de una misma organización o para el intercambio entre organizaciones.

- Que se pueda elegir cuál es el conjunto de datos más idóneo, comparando los distintos conjuntos de datos entre sí, de forma que se pueda seleccionar cuáles cumplen los requisitos del usuario de manera más óptima para el propósito que se persigue.

- Evitar la duplicidad de trabajo, informando sobre la información existente, su ubicación y su disponibilidad.

- Facilitar la utilización de los datos, mediante la descripción de todas las características técnicas relevantes de los datos, de forma más objetiva, más amplia y completa, haciendo posible su explotación y su ayuda a los usuarios de los datos tanto en la obtención de resultados como en su mantenimiento y actualización.

Por último hay que decir que se ha producido una evolución desde la primera concepción de los metadatos como “datos acerca de los datos”, tal y como los define la ISO 19115, hasta la idea de metadatos como datos que describen no sólo datos sino también servicios (“datos acerca de datos y servicios”), como pueden ser los servicios de publicación de mapas en Internet, servicios de transformación de coordenadas, servicios de nomenclátor, etc. Todos ellos son servicios accesibles en la red, que necesitan ser descritos mediante metadatos para poder ser buscados, comparados y utilizados con propiedad (ISO 19119).

Incluso, además de incluir datos y servicios como objeto de descripción, se dio un paso más al concebirse los metadatos como “datos acerca de los recursos”, entendiendo ya como recurso unos datos, un servicio, un libro, un autor, una fuente, un mapa, un

atlas, un programa, un servidor,...tal y como se contempla en el *Dublín Core Metadata* (aunque dicho sea de paso, esta concepción es la menos empleada).

3.9.2.8. Normas de los Metadatos y el NEM

Al definir este *Núcleo Español de Metadatos* (NEM) se tuvieron en cuenta las normas y estándares existentes en la actualidad. Tales normas proporcionan una base desde la cual los organismos y responsables de los conjuntos de datos en general serán capaces de desarrollar perfiles individuales o propuestas de normativas que puedan satisfacer sus propias necesidades.

Debido al hecho de que la aplicación de la norma internacional de metadatos ISO 19115 “*Geographic Information–Metadata*” es muy compleja y de que no está exenta de problemas, en muchos sectores, regiones y países se tiende a la definición de perfiles y conjuntos mínimos de campos exigibles o recomendables. La propia ISO 19115 aplica esta idea al problema definiendo un *núcleo* o *Core* con solamente 22 elementos de los 409 que la constituyen.

El NEM se define como un subconjunto de elementos de metadatos de la ISO 19115, considerado como el mínimo recomendable por su relevancia y significado, el cual constituye un núcleo que viene a ser un conjunto de metadatos “mínimo” esencial cuya utilización prioritaria es recomendada a la hora de crear los metadatos. Dicho de otra forma, el NEM puede entenderse como una recomendación de un subconjunto de elementos y opciones de los elementos de metadatos de la ISO 19115, considerado como el mínimo aconsejable por su pertinencia, utilidad, relevancia y significado, lo

que va a permitir realizar una serie de intervenciones (búsquedas, comparaciones,...) a partir de metadatos que procedan de diferentes fuentes, sobre distintos conjuntos de datos, de un modo rápido, práctico, sencillo y fiable.

El NEM está basado en un amplio consenso, a partir de las opiniones, comentarios y aportaciones de un grupo abierto de expertos en la materia pertenecientes a diferentes organizaciones e instituciones en el ámbito nacional, autonómico y local.

Por otro lado, el NEM es en realidad un perfil de la ISO 19115, de acuerdo con el concepto de perfil definido en la ISO 19106 “*Geographic Information Profiles*”, es decir, un modo particular y concreto de aplicar y utilizar la norma, seleccionando un subconjunto de ítems y un conjunto de parámetros optativos y de posibilidades opcionales. Sin embargo constituye un perfil especial, ya que su finalidad no es una implementación concreta, sino la de servir de núcleo común recomendado que permita la interoperabilidad de los metadatos en España.

Por lo tanto, no es un perfil normativo o restrictivo, ni se pretende que sea implementado directamente, sino que cada institución u organismo debe diseñar qué ítems de metadatos necesita para satisfacer sus necesidades, en función de la finalidad que persiga y, en ese proceso, se recomienda incluir por lo menos los ítems del NEM por compatibilidad con el resto de las iniciativas.

Este núcleo se define fundamentalmente a partir de las dos normas de metadatos esenciales que en la actualidad existen:

- *ISO 19115:2003 “Geographic Information Metadata”.*
- *Dublin Core Metadata.*

3.9.2.9. El NEM (*Núcleo Español de Metadatos*)

Con objeto de sintetizar y resumir aspectos relativos al NEM exponemos el presente punto. En España, existe una *Infraestructura de Datos Espaciales* llamada IDEE, (<http://www.idee.es>; Acceso, 25/VII/2009), cuyo geoportal se inauguró en el año 2003, coordinado y desarrollado desde la *Comisión de Geomática del Consejo Superior Geográfico*, órgano superior y consultivo de planificación del Estado en el ámbito de la Cartografía que depende del Ministerio de Fomento y en el que están representados los productores de datos geográficos digitales de referencia (en el sentido INSPIRE) de ámbito nacional e autonómico (Instituto Geográfico Nacional, Servicios Cartográficos del Ejército, Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Agricultura, Institutos Cartográficos y Servicios de Cartografía de las Comunidades Autónomas,...).

El acrónimo NEM significa *Núcleo Español de Metadatos*, el cual se refiere a un conjunto mínimo de elementos de metadatos recomendados en España para su utilización a la hora de describir mediante el empleo de metadatos los recursos relacionados con la información geográfica. Está formado por la unión del *Core* de la Norma ISO 19115 de Metadatos, junto a elementos del *Dublin Core Metadata*.

Dentro de la investigación llevada a cabo por estudiantes de la ETSIGCT (Universidad Politécnica de Valencia) se creó un grupo de trabajo y dentro de éste un subgrupo denominado *Metadatos* (SGT2), encargado de realizar, entre otras funciones, un inventario de los metadatos de cada una de las organizaciones productoras de datos. También se creó el subgrupo de trabajo sobre *Arquitectura y Normas* (SGT3), cuya función era la de realizar un estudio de las normas que existen en la actualidad para propósitos de calidad, servidores de mapas, catálogos y metadatos.

En Noviembre de 2004 nació el subgrupo de trabajo del NEM (SGT NEM), cuya función principal es, básicamente, la de definir las tareas que ha de llevar a cabo el NEM, además de elaborar acciones de mantenimiento de todo lo relativo a sus competencias.

3.9.2.10. El ámbito de los Metadatos

Como ya dijimos anteriormente, la norma ISO 19115 contempla la posibilidad de asignar metadatos a varios niveles de detalle:

- A una serie, colección o producto completo (como una determinada serie cartográfica de toda España a una escala determinada, una cobertura de imágenes *Landsat 7* de todo una región, etcétera), independientemente de que esté formada o no por un conjunto de hojas o unidades.
- A cada una de las hojas o unidades que componen una serie.
- A un subconjunto de datos definido dentro de un conjunto mayor de datos determinado por cualquier criterio (extensión espacial, clases determinadas de objetos, condición sobre los atributos, etcétera), o una combinación de varios criterios.
- A una clase o instancia de un objeto determinado.
- A una instancia del atributo.

Cualquiera de los niveles de detalle mencionados puede definirse como los datos a los que se asignan los metadatos. Para indicar ese nivel de detalle, la norma ISO 19115

incluye el elemento *MD-Metadata.hierarchyLevel*. También es posible describir el ámbito de la descripción de la calidad de un subconjunto de datos que describen los metadatos.

3.10. Fases para la implantación de un SIG

Como ya vimos en los puntos precedentes, la utilización de un SIG permite resolver muchas dudas geográficas. Un sistema de capas superpuestas con diferentes tipos de información puede ayudar a contestar preguntas o puede evidenciar patrones muy difíciles de establecer de otra forma.

Para integrar un SIG a nuestros proyectos de trabajo debemos tener en cuenta una serie de etapas:

- 1) Conseguir el software con el que podemos trabajar (software SIG).
- 2) Definir el problema/tarea suscitado.
- 3) Descargar o elaborar el mapa adecuado.
- 4) Conseguir los datos pertinentes.
- 5) Organizar la información en una base de datos.
- 6) Interrelacionar los datos con el mapa utilizando el software SIG.
- 7) Realizar el análisis de la información que revela el SIG.
- 8) Presentación de los resultados.

3.10.1. Fases

3.10.1.1. Software para SIG

La primera fase consiste en conseguir un programa (software) apropiado para la puesta en marcha del proyecto. A día de hoy existen en el mercado numerosas alternativas. Entre las posibilidades están los de la casa *ESRI*, *Intergraph*, *Bentley*, etc. Sin embargo, el coste de las licencias de estos programas suele ser muy restrictivo para muchas organizaciones, instituciones y pequeñas empresas. En los últimos años, los paquetes SIG gratuitos han conocido una notable expansión debido (1) al fuerte desembolso económico que hay que hacer para comprar una licencia de un SIG de pago, (2) al gran desarrollo y expansión que han tenido los *OpenGis* y el software libre en general durante los últimos años.

3.10.1.2. Definir el problema o tarea

En esta fase se deben analizar los puntos fundamentales para el desarrollo de un proyecto SIG. Esto incluye la definición del problema a resolver (propósito específico y objetivos), decidir qué tipo de producto final se quiere y se va a desarrollar (mapas de trabajo, mapas de presentación, informes,...), determinar quién será el usuario final del producto resultante (estudiantes, técnicos, creadores de mapas o público en general), además de definir el medio de presentación de ese producto (proyección, impresión normal o impresión en *plotter*).

Del planeamiento y de la elección acertada de estos elementos (mapas, datos y atributos) depende el éxito que se alcance finalmente en la actividad que vamos a

realizar. Las etapas de análisis y presentación de resultados están ligadas directamente y dependen de la formulación que se haga del problema o de la tarea.

3.10.1.3. Descargar o elaborar el mapa adecuado

La información geográfica que representa la superficie de la Tierra y los objetos que se localizan sobre ella tienen básicamente tres formatos: imágenes, mapas y atributos.

El formato de imágenes incluye fotografías aéreas, imágenes de satélite e imágenes digitalizadas por medio de un escáner. Por su banda, los mapas contienen características como localizaciones y formas que representan objetos del mundo real. Cualquiera de estos objetos se puede representar dentro de un SIG a través de tres tipos básicos de formas: puntos, líneas y polígonos.

Como ya vimos en apartados precedentes, los puntos representan objetos que tienen localizaciones concretas y que son muy pequeños para que puedan ser dibujados como áreas (por ejemplo escuelas, iglesias, estaciones de bomberos, bancos,...). Por su parte, las líneas representan objetos que son largos pero muy estrechos como para que puedan ser dibujados como polígonos (carreteras, calles, ríos, vías de tren, puentes, etc.) y, por último, los polígonos, los cuales representan objetos muy grandes como para ser dibujados con puntos o líneas (por citar algunos ejemplos y dependiendo de la escala: parques, lagos, países, bosques,...).

Esta etapa está relacionada directamente con la anterior ya que en ella buscamos determinar cuál es el área geográfica que mejor se ajusta a la solución del problema/tarea suscitada al comienzo. Muchas soluciones implican desplegar un área

geográfica que se pueda localizar fácilmente en los sitios web que ofrecen colecciones de mapas o imágenes organizadas de acuerdo a su nivel de recubrimiento (mundial, continental, nacional, regional,...) o al tipo (de satélite, topográficos, división política, orografía,...). En estos casos, el mapa o la imagen pueden incluso ser descargadas de la propia web para su posterior uso en un software SIG.

Otras soluciones implican la utilización de áreas geográficas bastante particulares y, por lo tanto, difíciles de conseguir en formato digital o analógico. Por ejemplo, el plano de una sección de un barrio en una ciudad pequeña, un área rural o un terreno delimitado.

Los formatos gráficos que suelen aceptar los diferentes programas SIG que utilizemos es otro aspecto importante. La mayoría de los programas de este tipo aceptan formatos como *tiff*, *bmp* y *jpg*.

3.10.1.4. Conseguir los datos pertinentes

Otra tarea importante consiste en determinar cuáles son los datos que al relacionarlos con el área geográfica identificada en el paso anterior pueden ayudar a resolver el problema/tarea propuesto.

En esta etapa hay que empezar a pensar en función de las capas. Una capa debe contener un solo tipo de información ya sea ésta es representada únicamente en forma de puntos, líneas o polígonos. Por ejemplo, las áreas de los barrios de una ciudad representadas sobre el mapa de dicha ciudad irán representadas en forma de polígonos; las escuelas de esa misma ciudad en forma de puntos, los parques serán representados

en forma de polígonos y las calles serán representadas por líneas, etc.

Cada capa, a su vez, puede contener varios atributos con información descriptiva asociada a los elementos ubicados sobre un mapa. Por ejemplo, el área de cada barrio de una ciudad puede tener asociada información como la cantidad de habitantes, el número de construcciones, la cantidad de manzanas, etc. Y así, para cada escuela representada sobre un mapa de una ciudad determinado se puede recoger información como, por ejemplo, el número de estudiantes, el valor de la matrícula, número de profesores, cantidad de PCs, etc.

De la misma forma que con los mapas, muchas soluciones implican relacionar datos que se pueden localizar y descargar fácilmente de Internet. Pero otras soluciones requieren de la recogida de información ya que ésta no existe o es muy difícil el acceso a ella (censo de varias manzanas de un barrio, tiendas ubicadas en un barrio,...). En estos casos, se debe definir la información con la que queremos trabajar, recogerla y adaptarla en una hoja de cálculo o en una base de datos.

3.10.1.5. Organizar la información en una base de datos

Después de identificar las capas (tipos de información) y los atributos asociados a éstas, la próxima tarea será la de obtener los datos. Para eso pueden ser localizados y descargados de Internet, solicitarse a una agencia gubernamental o recogerlos mediante trabajo de campo. Es muy común que los datos se tabulen en una hoja de cálculo y que luego se exporten en un formato que el software SIG pueda leer sin ningún tipo de problema. La mayoría de los programas SIG acepta los datos en formato *dbf* (*dBase*);

con todo, de la misma forma que con los mapas, es buena idea asegurarse de cuáles son los formatos de datos con los que nuestro software SIG puede trabajar.

La organización de datos demanda del técnico habilidades para estructurar la información, almacenarla en un SGBD y posteriormente utilizarla con el objetivo de contestar preguntas o de elaborar informes. Antes de utilizar un SIG es fundamental demostrar comprensión sobre los conceptos fundamentales de las bases de datos (definición, características y restricciones), entender la organización de una base de datos en tablas, registros/campos y comprender cuales son los diferentes tipos de datos posibles y las propiedades de un determinado campo.

Los atributos de cada capa se almacenan en tablas por separado. El primer campo de cada tabla de datos debe contener un código que permita relacionar cada registro de datos con una entidad dentro de la capa (punto, línea o polígono).

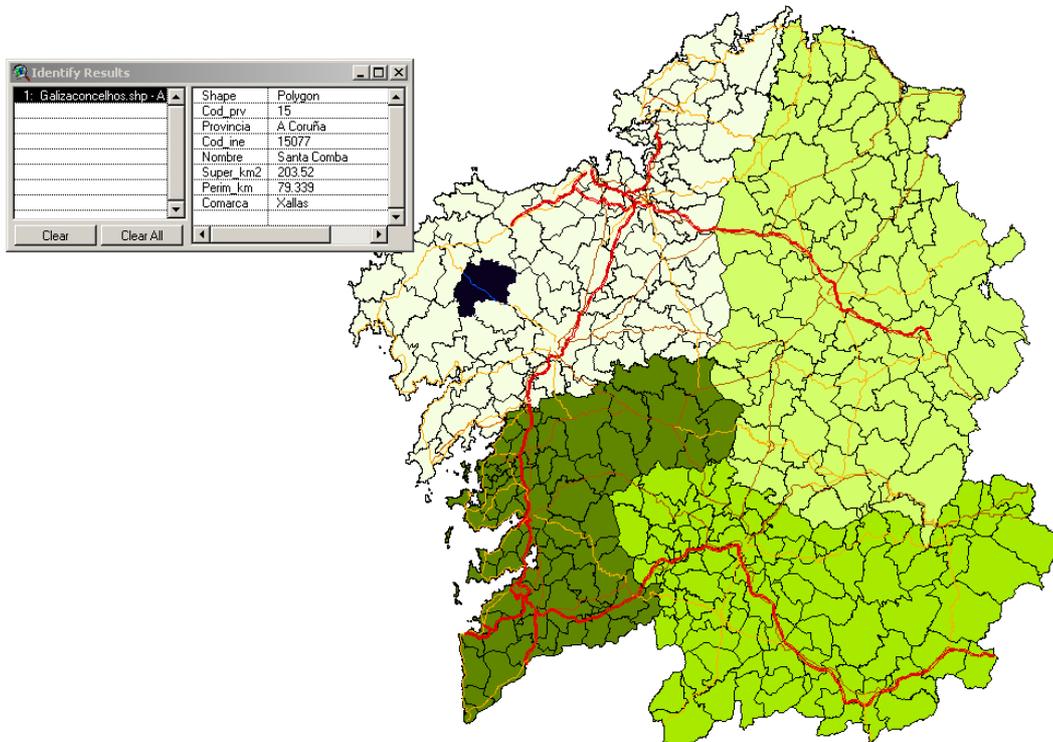


Figura 3-18: En esta imagen podemos ver cómo una entidad visual [polígono señalado en negro] tiene asociado información alfanumérica [tabla de la izquierda]. Es interesante ver cómo las infraestructuras viarias son representadas por medio de elementos lineales, mientras que los municipios lo son a través de polígonos cerrados. (Fuente: Elaboración propia).

3.10.1.6. Interrelación de los datos con el mapa utilizando software SIG

En esta fase se constituye lo planeado en la fase 2: un producto final en forma de mapa de trabajo, mapa de presentación o informe. Los productos esperados de los SIG son básicamente mapas automatizados o dinámicos y reportes producidos a través de técnicas de análisis geográfico.

Es importante tener en cuenta que el aprovechamiento de las características y funciones de un SIG por parte del equipo técnico depende del conocimiento de algunos conceptos básicos de cartografía y de los principios básicos de técnicas de preparación de mapas y de diseño gráfico. En general, la cartografía es parte del campo de la comunicación gráfica que permite representar algún fenómeno geográfico extendido sobre una porción de superficie mediante el empleo del espacio bidimensional.

En esta etapa se deben desarrollar una serie de actividades que podemos resumir en los siguientes pasos:

- Configurar de forma apropiada los estilos a aplicar a las diferentes capas.
- Establecer como capa el mapa o la imagen que sirva de base para dibujar los objetos geográficos de las otras capas.
- Crear las capas identificadas para realizar el proyecto mediante líneas, puntos y polígonos.
- Importar o crear las tablas con los datos de los atributos identificados para el proyecto.
- Asociar los datos a las capas correspondientes.
- Crear y desplegar las etiquetas de convenciones.
- Verificar que la información concuerde y los resultados finales sean coherentes.

3.10.1.7. Realizar el análisis de la información que revela el SIG

Esta es una de las etapas más importantes en la utilización de un SIG. En ella tendremos la oportunidad de probar hipótesis, de identificar patrones o tendencias, de determinar fenómenos naturales o sociales, etc. Esta fase está directamente relacionada con la definición del problema/tarea suscitado inicialmente.

El análisis geográfico es un proceso en el cual se describe o interpreta la ordenación y la dinámica de los elementos que conforman el espacio geográfico construido con el SIG. Para eso se superponen capas y se utilizan diferentes colores, símbolos y patrones de tal forma que permitan evidenciar relaciones de interdependencia y de causa-efecto entre los diferentes atributos de áreas geográficas determinadas.

3.10.1.8. Presentación de los resultados

Esta fase también está muy relacionada con la definición del problema/tarea suscitada inicialmente. Ahora se presenta el producto final desarrollado (mapas de trabajo, mapas de presentación, informes,...) a través del medio de presentación definido (proyección, impresión normal o impresión en *plotter*) y de acuerdo al usuario/audiencia del producto resultante (estudiantes, técnicos, políticos, expertos en cartografía o público en general).

Recapitulando sobre todo lo comentado en estas fases, y a modo de conclusión, podemos comparar las relaciones espaciales tradicionales (propias del análisis geográfico tradicional) con las más recientes (derivadas del empleo de los SIG).

FUNCIONES TRADICIONALES	FUNCIONES CON SIG
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Habilidades para reconocer la distribución espacial y patrones espaciales ▪ Identificar formas ▪ Recordar y representar coordenadas ▪ Conectar sitios o lugares ▪ Asociar y correlacionar fenómenos espacialmente distribuidos ▪ Comprender y usar jerarquías espaciales ▪ Regionalizar ▪ Encontrar la mejor ruta a un destino determinado ▪ Imaginar mapas a partir de descripciones verbales ▪ Trazar mapas ▪ Comparar mapas ▪ Superponer y ocultar mapas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construir gradientes y superficies ▪ Manejar capas o estratos ▪ Regionalizar ▪ Descomponer ▪ Agregar ▪ Correlacionar ▪ Evaluar regularidades o aleatoriedades ▪ Asociar ▪ Valorar similitudes ▪ Establecer jerarquías ▪ Valorar la proximidad (requiere conocer la posición) ▪ Medir distancias ▪ Medir direcciones ▪ Definir formas ▪ Definir patrones ▪ Determinar grupos ▪ Determinar dispersión

Las relaciones espaciales, listadas en la columna de la izquierda de la tabla anterior, son los aspectos del pensamiento espacial que se desarrollan más frecuentemente en la concepción geográfica tradicional. En la columna de la derecha se enumeran los procesos que aparecen con la utilización de los SIG, los cuales están centrados en la interacción con datos relacionados espacialmente, procesos de pensamiento espacial y definición de atributos de los elementos presentes en un área geográfica concreta.

3.11. Software SIG

3.11.1. Software SIG: ArcGIS

Uno de los programas SIG más importantes a nivel internacional es *ArcGIS*. Este software, propiedad de la casa *ESRI*, ocupa en España una cuota de mercado del 40% (2002), lo que consolida a *ESRI* como la empresa líder en SIG a nivel nacional.

ArcGIS constituye una familia escalable de productos cuya unión forma un sistema completo de información geográfica. El software fue evolucionando y acoplando nuevas extensiones y funcionalidades de trabajo que ayudan a rentabilizar esfuerzos, economizar tiempos de trabajo y subsanar errores o problemáticas presentes en las versiones precedentes.

3.11.1.1. ArcGIS Desktop

ArcGIS Desktop es como un conjunto de aplicaciones integradas: *ArcMap*, *ArcCatalog* y *ArcToolbox*. Empleando estas tres aplicaciones en conjunto se puede desarrollar cualquier actividad o tarea SIG, desde una muy simple hasta una muy compleja, incluyendo mapeo (cartografiado), administración de datos, análisis geográfico, edición de datos y geoprocésamiento. Además, las diferentes versiones de *ArcGIS* (de la versión 8.2 en adelante) permiten tener acceso a muchos otros recursos y datos espaciales disponibles en Internet a través de los servicios de *ArcIMS*.

ArcGIS Desktop es un sistema amplio, integrado, escalable, diseñado para satisfacer las necesidades de un amplio rango de usuarios.

3.11.1.2. ArcMap

ArcMap es la aplicación central de *ArcGIS Desktop*. Esta aplicación SIG se emplea para todas las actividades relacionadas con el mapeo, incluyendo la cartografía, análisis de mapas y edición de los mismos. En esta aplicación se trabaja esencialmente con mapas. Estos tienen un diseño de página que contiene una ventana geográfica, además de una vista con una serie de *layers*, leyendas, barras de escalas, flechas norteadas y otros elementos.

Por lo tanto, *ArcMap* ofrece diferentes formas de ver un mapa:

- Una vista de datos geográficos.
- Una vista del diseño cartográfico (*layout*), en el cual se pueden aplicar un gran conjunto de funciones SIG.

3.11.1.3. ArcCatalog

La aplicación *ArcCatalog* ayuda a organizar y administrar todos los datos SIG. Incluye herramientas para explorar y encontrar información geográfica, para grabar y visualizar los metadatos, para una rápida visión de cualquier conjunto de datos y para definir la estructura del diseño de los *layers* con datos geográficos.

3.11.1.4. ArcToolbox

ArcToolbox es una aplicación sencilla que contiene muchas herramientas SIG para emplear en el geoprocesamiento de datos. Existen dos versiones de *ArcToolbox*: una completa que viene con el software *ArcInfo* y una versión más simple que viene con el software *ArcView* y *ArcEditor*.

Las aplicaciones *ArcMap*, *ArcCatalog* y *Arctoolbox* fueron diseñadas para trabajar en conjunto con ellas, con el objetivo de llevar a cabo todas las funciones y operaciones de un SIG. Por ejemplo, se puede buscar y encontrar un documento en *ArcCatalog*, luego abrirlo en *ArcMap* haciendo simplemente un doble *click* en el icono *Catalog*.

Después se puede editar y mejorar los datos empleando las herramientas disponibles en el ambiente de edición de *ArcMap*. También se pueden buscar datos de otro sitio a través de las conexiones de bases de datos de *ArcCatalog*. Una vez que se encuentran los datos de interés, pueden ser arrastrados y dejarse como una *layer* en *ArcMap*. De la misma forma, se pueden arrastrar y dejar datos de *ArcCatalog* en herramientas de *ArcToolbox*.

Una vez que se crea nueva información geográfica empleando estas tres aplicaciones, los metadatos del conjunto de datos resultantes se pueden grabar mediante *ArcCatalog*.

3.11.1.5. ArcView

Es uno de los tres niveles de la arquitectura de *ArcGIS Desktop*. Las últimas versiones de *ArcView* están compuestas por una serie de aplicaciones: *ArcMap*,

ArcCatalog y *ArcToolbox* para *ArcView*. Este es un potente juego de herramientas para el mapeo, la elaboración de reportes y el análisis de mapas.

En las últimas versiones de *ArcView*, tanto las herramientas de simbología como las de edición se han incrementado enormemente y el interfaz de *Windows* viene equipado con múltiples asistentes para ayudar a crear, mantener y actualizar los datos y mapas. Otra capacidad adicional es la administración de metadatos y la búsqueda de datos con *ArcCatalog*, edición simple de la *geodatabase*, soporte a las anotaciones, proyección instantánea de *features* y *rasters* de distintos sistemas de coordenadas, además de la posibilidad de conectarse y emplear servicios *ArcIMS*.

ArcView en sus últimas versiones también se puede personalizar empleando *Visual Basic* (VBA), el cual viene incluido en las últimas versiones del propio *ArcView*.

3.11.1.6. ArcEditor

ArcEditor es una funcionalidad nueva que aparece a partir de la versión 8 y sus capacidades fluctúan entre las de *ArcView* y las de *ArcInfo*. De esta manera, *ArcEditor* contiene todas las capacidades de *ArcView*.

Al mismo tiempo se añaden capacidades de administración para todos los modelos de la *geodatabase* en *ArcCatalog*, más avanzadas para la edición de *geodatabases* y de coberturas con *ArcMap*. Cuando se tiene acceso a una DBMS vía *ArcSDE*, se pueden editar y mantener las *geodatabases multiusuarios* con *ArcEditor*. Éste incluye herramientas avanzadas para la administración de la versión como, por ejemplo, herramientas de unión de versiones para identificar y resolver conflictos.

3.11.1.7. ArcGis Explorer

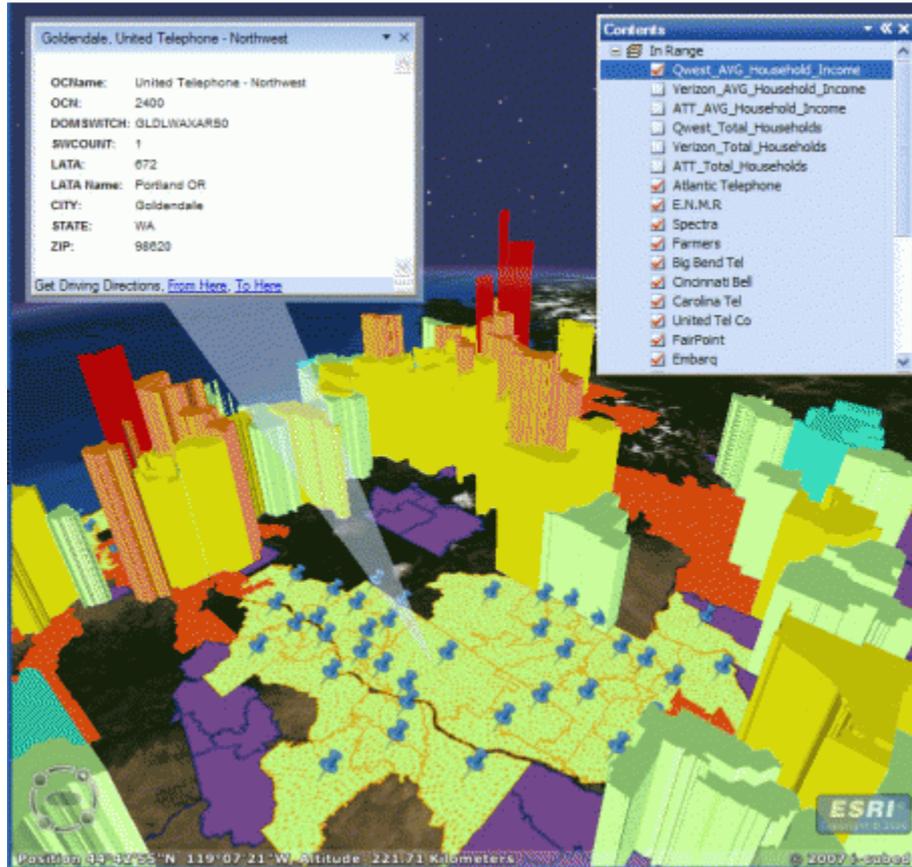


Figura 3.19: ArcGis Explorer. (Imagen cortesía de ESRI).

ArcGIS Explorer facilita el compartir información geográfica con el resto del mundo. Contiene una nueva interfaz más intuitiva y funcional, en la que incluye *Bing Maps*, visualización 2D/3D integrada, cuenta con un mayor soporte de datos, más fácil de configurar y personalizar, tiene más y mejores presentaciones, está disponible en seis idiomas (entre ellos español), permite llevar a cabo una mejor gestión de proyecciones,... Entre las ventajas que aporta la última versión:

- Nuevas experiencias para el usuario: Mejor organización y gestión de herramientas y contenido, más intuitivo y fácil de usar.
- Pantalla de visualización 2D/3D integrada que permite a los usuarios elegir el modo de visualización que ellos elijan.

- Herramientas para presentaciones: Permite crear presentaciones interactivas convincentes que incluyen sus propios mapas y datos.
- Fácil de configurar y personalizar: Nuevas herramientas que proporcionan una manera fácil de adaptar las aplicaciones a un público específico o para necesidades específicas.
- No requieren programación.
- Múltiples configuraciones de autor y puede ser administrado de manera centralizada.
- Kit de desarrollo de software (SDK), el cual permite a los desarrolladores crear herramientas personalizadas y complementos para ampliar las capacidades de *ArcGIS Explorer*.
- Servicios *Virtual Earth*: Bases de mapas continuamente actualizados y capas de *ArcGIS online*.
 - *Virtual Earth* incluye imágenes, calles, híbrido y capas.
 - Disponible como un servicio de suscripción para los usuarios independientes de *ArcGIS Explorer*.
- Internacionalización: Soporte para múltiples idiomas en la interfaz de usuario de *ArcGIS Explorer* y en la ayuda en línea.
 - *ArcGIS online sharing*: Búsqueda en línea para compartir, descubrir y usar contenido adicional.

3.11.1.8. Formatos de datos compatibles

Un objetivo fundamental de *ArcGIS* es la capacidad de trabajar con todos sus archivos de datos y con los de una DBMS, así como también con los servicios de *ArcIMS*. Tanto *ArcMap* como *ArcCatalog* permiten trabajar con una amplia fuente de datos. También se pueden ver y administrar estas fuentes de datos en *ArcCatalog*, grabar y administrar los metadatos, además de buscar sus fuentes de datos basándose en su contenido. En *ArcMap* los *layers* de los mapas se pueden crear a partir de cualquiera de estas fuentes de datos. También se pueden ejecutar operaciones de consultas, de proyecciones de mapas al instante, de unión de tablas y de análisis de mapas.

Tal vez la capacidad más interesante es la de trabajar con los servicios de *ArcIMS* en *ArcMap* y *ArcCatalog*, exactamente como lo haría cualquier otra fuente de datos del SIG. Esto abre *ArcMap* a todo un nuevo mundo SIG a través de Internet.

Arcmap permite desarrollar cualquier operación de mapeo y de análisis de forma virtual sobre un conjunto de datos *ArcIMS*.

3.11.1.8.1. Extensiones propias de ArcGIS

ArcGIS trabaja con una serie de extensiones que permiten “acoplar” un número casi ilimitado de funciones y herramientas de trabajo al paquete original. Como tampoco es objetivo de este estudio conocer todas las herramientas integradas dentro de un SIG, consideramos oportuno solamente hacer una breve alusión a las mismas.



EXTENSIONES DE ARCGIS
ArcGIS 3D Analyst
ArcGIS Geostatistical Analyst
ArcGIS Military Analyst
ArcGIS Publisher
ArcGIS Schematics
ArcGIS Spatial Analyst
ArcGIS Survey Analyst
ArcGIS Tracking Analyst
ArcPress para ArcGIS
ArcScan para ArcGIS
Image Analysis para ArcGIS
Stereo Analyst para ArcGIS
ArcGIS Data Interoperability
ArcIMS Data Delivery
ArcGIS Network Analyst

Figura 3.20: Extensiones de ArcGIS –versión 9–.
(Fuente: Elaboración propia)

3.11.2. Principales software SIG

A continuación exponemos una tabla en la que se ofrece un listado con los principales software SIG. En dicha tabla se hace referencia, entre otros aspectos, a las principales características propias y lenguajes de programación con los que trabajan estos programas software:

Software SIG	Windows	Mac OS X	GNU/Linux	BSD	Unix	Entorno Web	Licencia de software
ABACO DbMAP	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Java	Software no libre
ArcGIS	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Software no libre
Autodesk Map	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
Capaware	Sí (C++)	No	No	No	No	No	Libre: GNU GPL
Caris	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
CartaLinx	Sí	No	No	No	No	No	Software no libre
Geomedia	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Software no libre
GeoPista	Java	Java	Java	Java	Java	Sí	Libre: GNU
GeoServer	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Java	Libre: GNU
GRASS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Mediante pyWPS	Libre: GNU
gvSIG	Java	Java	Java	Java	Java	No	Libre: GNU
IDRISI	Sí	No	No	No	No	No	Software no libre
ILWIS	Sí	No	No	No	No	No	Libre: GNU
Generic Mapping Tools	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Libre: GNU
JUMP	Java	Java	Java	Java	Java	No	Libre: GNU
Kosmo	Java	Java	Java	Java	Java	En desarrollo	Libre: GNU
LocalGIS	Java	Java	Java	Java	Java	Sí	Libre: GNU
Manifold	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
MapGuide Open Source	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	LAMP/WAMP	Libre: LGNU
MapInfo	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Software no libre
MapServer	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	LAMP/WAMP	Libre: BSD
Maptitude	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
MapWindow GIS	Sí	No	No	No	No	No	Libre: MPL
Bentley Map	Sí	Abandonado	No	No	Abandonado	Sí	Software no libre
Quantum GIS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Libre: GNU
SAGA GIS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Libre: GNU
GE Smallworld	Sí	?	Sí	?	Sí	Sí	Software no libre
SavGIS	Sí	No	No	No	No	Con Google Maps	Software no libre: Freeware
SEXTANTE	Java	Java	Java	Java	Java	No	Libre: GNU
SITAL	Sí	No	No	No	No	Con Google Maps	Software no libre

SPRING	Sí	No	Si	No	Solaris	No	Software no libre: Freeware
SuperGIS	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
TatukGIS	Sí	No	No	No	No	?	Software no libre
TNTMips	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Software no libre
TransCAD	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
uDIG	Sí	Si	Si	No	No	No	Libre: LGNU

Figura 3.21: Listado con los principales software SIG. (Fuente datos: Wikipedia).

4

SIG y producción cartográfica

Uno de los principales motivos por los que muchas administraciones se decantan por un SIG es el de la producción cartográfica. La dificultad, laboriosidad, el coste y los bajos niveles de precisión de muchos de los métodos tradicionales obliga a que sean muchas administraciones (de todos los niveles) las que aprovechan para adoptar un SIG en alguna de sus competencias.

Hasta hace no muchos años, la cartografía tenía un papel muy secundario debido, sobre todo, a que era cara en origen y estaba poco extendida. Esto era una realidad en muchos niveles administrativos y competencias, pero quizás el caso más llamativo era el de la promoción turística. Concejalías de turismo (Admón. local), Secretarías y Direcciones Generales autonómicas (Admón. regional) o Ministerio (Admón. nacional), redujeron al mínimo sus niveles de calidad de producción cartográfica en un sector donde los posibles turistas no conocían en la mayor parte de las ocasiones el territorio que iban a visitar.

En (Balsa Barreiro, 2008) se hace un repaso a la cartografía turística oficial publicada en Galicia y de dicho estudio se deduce el empleo reducido de aplicaciones SIG en dicha región. El procedimiento de análisis empleado por este autor es completamente válido y, en consecuencia, extrapolable a cualquier otra Administración nacional en cualquiera de sus niveles. Entre los principales errores a los que se hace referencia destacamos los siguientes:

- 1) Ausencia de escalas (tanto gráficas como numéricas) y símbolos de orientación (rosas de los vientos o simples flechas indicando el norte).
- 2) Empleo de elementos cartográficos inadecuados (pobre paleta de colores y símbolos en algunos casos).

- 3) No está claro a quién se dirige la cartografía elaborada. La cartografía publicada supone muchas veces un “conocimiento excesivo” del territorio por parte del visitante o viceversa, pudiendo pecar, en consecuencia, por exceso o por defecto.
- 4) Información desactualizada y/o errónea.
- 5) La elaboración de cartografía turística sustentada en divisiones (administrativas) de poca entidad.

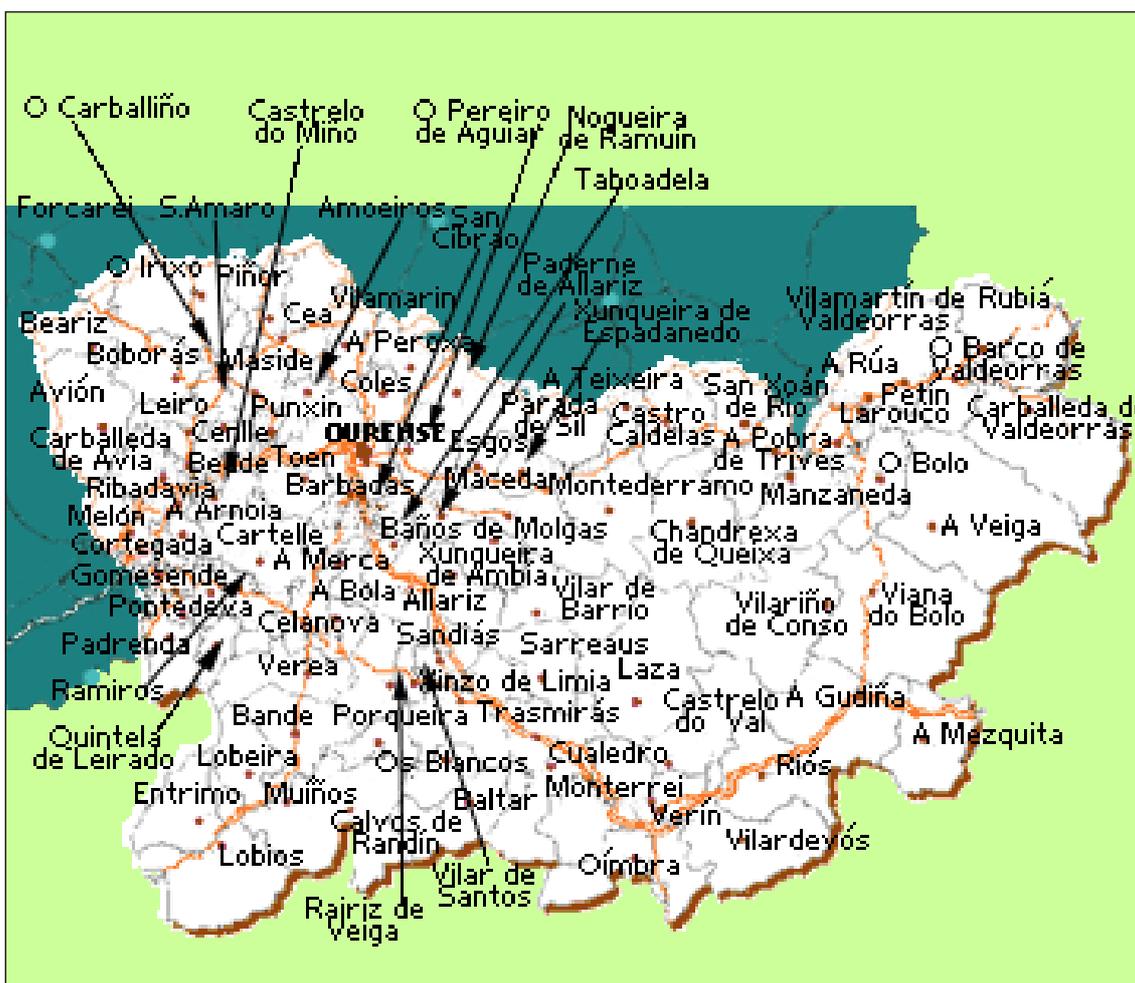


Figura 4.1: Mapa de municipios de la provincia de Ourense colgado en la web de Turgalicia (2009). El desequilibrio gráfico y visual se basa en el empleo de simbología inadecuada y en la falta de criterios para la restricción representativa de algunas entidades. (Fuente imagen: Turgalicia)



Figura 4.2: La supresión de escalas y símbolos de orientación, el empleo de elementos cartográficos inadecuados y el desequilibrio gráfico-visual merman gravemente la calidad de un mapa. (Imagen extraída de la monografía “Galicia. Praias” del año 2001. Turgalicia)

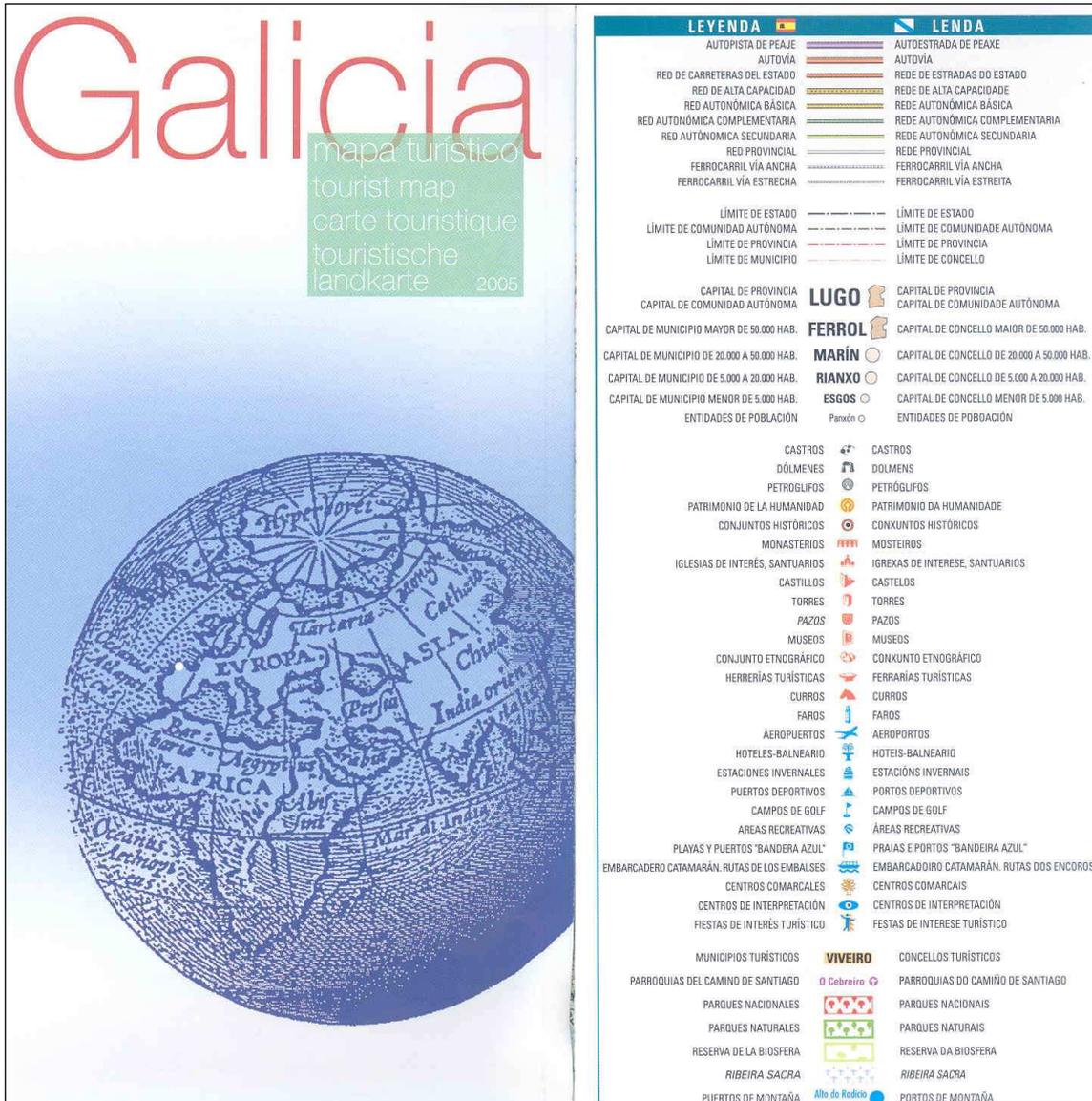


Figura 4.3: Leyenda asociada al mapa turístico de Galicia publicado por Turgalicia (2007). El empleo de algunos colores inadecuados como la paleta de azules asociada a una serie de infraestructuras y a los puertos de montaña es poco adecuado, dado que ese color y esa tonalidad suelen estar reservados a los elementos hidrográficos. (Fuente imagen: Turgalicia)

Los errores presentes en la cartografía oficial de Galicia (Balsa Barreiro, 2008) son muy semejantes a los que podemos encontrar en cualquier otra administración autonómica y/o local española, aunque sí es cierto que hay grandes diferencias en el tratamiento de la cartografía turística en las diferentes administraciones locales y regionales dentro de España.

Está claro que algunas de las posibles soluciones a los errores comentados son sencillas de adoptar como, por ejemplo, elaborar una cartografía con todos los elementos asociados (leyenda, escala precisa, rosa de los vientos), pero otras son bastante más complicadas: así, la actualización de la cartografía obliga a editarla de forma permanente. La solución adoptada por parte de grandes empresas y altos niveles administrativos que trabajan cotidianamente con cartografía es la de adopción de SIG, los cuales se emplean en la creación de cartografía digital como herramientas que permiten realizar un proceso automatizado o semiautomatizado de elaboración de mapas denominado *cartografía automatizada*.

Las administraciones regionales y locales con más turismo son a su vez las que más invierten en su promoción, apostando para ello de forma decidida por una cartografía de calidad como herramienta principal de información para dar a conocer su territorio. Se busca así dispensar al usuario en internet de todas las facilidades de consulta rápida a través de la web, empleando normalmente servidores cartográficos interactivos (*Web Mapping Service*). Las administraciones responsables priorizan aspectos como la facilidad de manejo, la creación de entornos atractivos, la rapidez de consulta y la sencillez de las aplicaciones cartográficas.

Otra gran ventaja del empleo de los SIG está relacionada con el hecho de que el proceso de edición y/o actualización de la información geográfica es casi instantáneo y mucho menos costoso que el requerido en la cartografía analógica tradicional tanto en términos económicos como de esfuerzo. De ahí el interés de muchas administraciones por reducir al mínimo su volumen de cartografía en formato papel, aunando esfuerzos y recursos en incentivar su cartografía digital y aplicaciones SIG en internet (WMS).

El paso que va desde la cartografía analógica (escaneada en formato digital) a las aplicaciones interactivas de base analógica con herramientas digitales sencillas (callejeros interactivos con opciones zoom) es sólo el primer escalón. El último ha sido el de ofrecer en entorno web la cartografía SIG, con una serie de herramientas simples y opciones de búsqueda asociadas. La utilización de este modelo permite, además de la adaptación de escalas, hacer las correcciones oportunas (incorporación o desaparición de hitos, actualización de información, etc.) de un modo rápido y sencillo, evitando de esta forma caer en gran parte de los errores comentados en este texto.

El producto cartográfico final resultante puede estar tanto en formato digital como analógico. El uso conjunto que en determinados SIG se da de potentes técnicas de análisis espacial junto con una representación cartográfica profesional de los datos, hace que se puedan crear mapas de alta calidad en un corto período de tiempo. La principal dificultad en *cartografía automatizada* es el utilizar un único conjunto de datos para producir varios productos según diferentes tipos de escalas, una técnica conocida como *generalización*.

El presente de la cartografía pasa por la web. La cartografía en entornos webs exige seguir ofreciendo una cartografía de calidad en periodos de tiempo más cortos, obligando al cartógrafo a ejecutar un proceso de actualización de la información casi continuado, además de un proceso de edición de la misma casi instantáneo.

El mundo de los SIG ha asistido en los últimos años a una explosión de aplicaciones destinadas a mostrar y editar cartografía en entornos web como *Google Maps*, *Microsoft Live Maps* u *OpenStreetMap* entre otros. Estos sitios web dan al público acceso a enormes cantidades de datos geográficos. Algunos de ellos utilizan software que, a través de una API, permiten a los usuarios crear aplicaciones personalizadas. Estos

5

SIG integrado en el ámbito local

La gestión local presenta la ventaja de una mayor capacidad de adaptación a la realidad geográfica específica de la región, gracias a un mayor contacto y mejor conocimiento del territorio. La utilización de este saber dentro de los sistemas de información geográfica (SIG) ayuda en la búsqueda de la administración óptima y más acorde con el espacio.

Los SIG no son una herramienta nueva dentro del ordenamiento y gestión del territorio de cualquier ámbito, incluido el ámbito local. Por sus características los SIG permiten una mejor gestión de los diferentes elementos del ordenamiento y de los recursos de la administración local, surgiendo como un buen instrumento para la eficiencia y el ahorro en dicho ámbito. Aparecen aplicados a diferentes temáticas, tanto en el análisis de hechos existentes como en la realización de proyectos futuros, desde la gestión de residuos urbanos hasta la gestión del tráfico.

Con el paso del tiempo, y especialmente en los momentos actuales, la administración y los proyectos pasan por tener en la eficacia, ahorro y sustentabilidad una componente importante, que anteriormente no se consideraba o al menos, no en la misma medida que en la actualidad. Los programas que se desarrollan en los diferentes ámbitos locales están condicionados ahora por un contexto de eficiencia energética, ahorro de recursos y sustentabilidad ecológica que precisa, y supone, tener en cuenta nuevos conceptos y nuevas ideas. Estos nuevos criterios se pueden introducir en forma de variables alfanuméricas dentro de los SIG con el fin de obtener los resultados pretendidos.

Pero la consideración de estos nuevos principios dentro de los SIG para la obtención de gestiones y proyectos eficientes según las nuevas premisas no aprovecha el potencial de los SIG como vehículo para conseguir una gestión de calidad de la totalidad del ámbito del ordenamiento local. Normalmente, se suele realizar la gestión de las

diferentes áreas de administración con una relativa tendencia a tratar los temas con cierta independencia entre ellos (tráfico, iluminación, basuras), cuando todos ellos coexisten en el mismo espacio, incluso interactúan entre ellos. Los SIG permiten la gestión y planificación del territorio teniendo en cuenta todos los elementos de la ordenación y la interconexión entre ellos, evitando que la modificación de uno de ellos perjudique a otros. La introducción de un nuevo análisis multivariable, para el que los SIG están ampliamente capacitados, ofrece la oportunidad de alcanzar unos niveles de gestión local de gran eficiencia y un espacio de gran calidad.

Plantemos a continuación algunos aspectos de la gestión del territorio a modo de ejemplo, sus características, nuevas perspectivas y el papel que puede jugar los SIG.

5. 1. Recogida de Residuos Sólidos Urbanos

La cantidad de residuos urbanos no ha dejado de crecer. La media nacional ha pasado de los 378 kilogramos de basura por ciudadano de 1995 a los 502 kilogramos en 2003 y 588 kilogramos de 2007. El aumento en la utilización de envases y embalajes (que suponen alrededor del 60 % del volumen y el 33% del peso de la basura, explica en buena medida este constante aumento (Revista Consumer Eroski, nº132, Mayo 2009).

Se han desarrollados diferentes marcos legales, europeos, estatales, autonómicos y municipales, con el fin de invertir o mitigar esta tendencia y sus consecuencias, en el que destacan la Ley 10/1998, de 21 de Abril, de Residuos y la Ley 11/1997, de 24 de Abril, de Envases y Residuos de Envases junto a los Reales Decretos que desarrollan dichas leyes, acompañadas por las de ámbito autonómico.

Dentro de este contexto, destaca el Plan Nacional Integrado de Residuos en sus dos fases. Dicho Plan, que actualmente ya se encuentra en su segundo desarrollo (2007-2015), en cuanto a residuos urbanos se refiere marca el objetivo de conseguir tasas de reciclaje del 70% del vidrio, el 65% del papel y cartón y el 30% de plásticos y envases. A falta de seis años del final de la aplicación de este plan los porcentajes de reciclaje no alcanza dichas cifras: la media es de un 47% del vidrio, 44% del papel y cartón, 18% de plásticos y envases, y el 37% de las pilas. Todo ello a pesar de que la mayoría de las áreas muestreadas cumplían con los requisitos establecidos de números de contenedores por habitante: un contenedor de vidrio cada 500 habitantes, un contenedor de papel y cartón por cada 500 habitantes y un contenedor de plásticos y envases cada 300 habitantes (Revista Consumer Eroski, nº132, Mayo 2009).

Es evidente que la implantación y mantenimiento del sistema de recogida supone un peso económico importante. La recogida suponía alrededor del 80% de los costes del total de la gestión de los residuos urbanos en los años setenta, y del un 60% durante la década de los ochenta y noventa. Sin embargo, la implantación de sistemas de recogida selectiva produce un nuevo aumento de los costes (Montilla Gómez, Gallardo Izquierdo, Vidal Nadal, 2000).

El desarrollo del sistema de gestión de residuos dentro del ámbito local debe de tener en cuenta, buscando de nuevo la integración de todas las áreas de gestión local, diferentes aspectos que no deben ceñirse únicamente a las variables clásicas empleadas en la gestión de residuos. Se debe intentar buscar la sintonía con los ciudadanos para que hagan uso de los medios, encontrar la integración con otros aspectos de la organización local y el resto de usos del espacio y actividades.

La ubicación de los contenedores de residuos suele hacerse empleando variables como datos demográficos y socioeconómicos (concentración de población, producción de residuos), tipos y capacidades de los contenedores (tamaños y capacidades de volumen, movilidad), características de los viales (centros históricos, nuevas áreas urbanas). No es inusual que mediante la combinación de estas variables y técnicas de análisis geográfico se establezcan las localizaciones de los contenedores y que de esta se derive el cálculo de las rutas. Un cálculo de las rutas óptimo ayuda a reducir el tiempo de recogida y por tanto las consecuentes molestias, además de reducir los cortes derivados como combustible y emisiones. La automatización de los métodos de recogida ha ayudado a dinamizar y reducir los costes de la recogida de residuos, aunque esto reste flexibilidad a la hora de elegir el lugar donde poner el contenedor, pues obliga a situarlos todos a un mismo lado. Existen camiones de recogida de basuras con dos bocas de carga con el fin de recoger dos residuos diferentes en un mismo viaje, ahorrando recursos medioambientales y económicos. Incluso se han desarrollado sistemas neumáticos de recogida de residuos, donde los residuos se tiran a unos buzones conectados a unas conducciones subterráneas que los dirigen a centro de tratamiento o almacenamiento.

Aunque es fácil llegar a la conclusión que los conceptos anteriormente mencionados son los que priman en la resolución del problema de la recogida de residuos urbanos, existen otras circunstancias indirectas, y a veces incluso directamente relacionadas con la efectividad del sistema de recogida.

Podemos observar, por ejemplo, que la recogida de basuras se suele realizar durante horario nocturno (o centrado en lo máximo posible en este intervalo nocturno) en la mayoría de las ciudades y grandes poblaciones para evitar en la medida de lo posible retenciones o atascos de tráfico, consumos, emisiones y facilitar la tarea de los operarios

y con el fin de recoger la mayor cantidad de basura posible acumulada a lo largo del día. Sin embargo, las quejas o disconformidad por parte de la población debido a los ruidos que dicha recogida nocturna produce suele ser frecuente, especialmente en épocas estivales.

Aunque la elección del horario de recogida no impacta en gran medida en la efectividad del sistema de recogida, no sería descabellado introducir nuevos conceptos a tener en cuenta que mejoren los efectos del sistema de recogida de residuos en el conjunto del planeamiento local.

Es evidente que la localización de los contenedores es siempre problemática, porque a nadie le gusta tenerlos frente a la puerta de casa, ya que estéticamente son feos y a veces producen malos olores. Por esta razón se intenta conseguir una localización que moleste a las menos personas posibles. Sin embargo, es fácil observar que si se ubican lejos de los domicilios los ciudadanos no los utilizan, especialmente en el caso de los contenedores vidrio, papel y envases. De modo que es recomendable llegar a una solución de consenso. Por ejemplo, el contenedor de vidrio presenta el inconveniente de ruidos al caer las botellas, lo que es muy molesto para los vecinos que lo tiene cerca de sus viviendas: en algunos municipios se restringe el horario de uso de los contenedores de vidrio durante la noche.

Es fácil observar ubicaciones poco integradas en el paisaje que pueden ser subjetivas, pero en ocasiones son ciertamente “inadecuadas” como puede ser tener uno o incluso varios contenedores, especialmente en el caso de los contenedores de orgánicos, ubicados al lado de zona de terrazas de restauración. Es evidente que las áreas de restauración pueden necesitar de un número especial de los contenedores de residuos, pero la utilización de información catastral con la ubicación de las actividades

económicas puede ayudar a escoger una localización más integrada en el uso del espacio, evitando desagradables “convivencias” sin solución, del mismo modo que se está utilizando para prever volúmenes de uso. Por otro lado, por ejemplo, se debe asegurar el fácil acceso a contenedores de papel en aquellas áreas en que la actividad de oficinas es importante con el fin de asegurar que el gran volumen de papel y cartón generado por esta actividad entre correctamente en el ciclo de reciclaje.

No sería difícil evitar que los contenedores de orgánicos queden expuestos continuamente al sol, evitando un aumento de los malos olores. La utilización de la cartografía catastral de las manzanas y edificios, sus alturas junto a los SIG permitiría conocer las áreas de sombra y su recorrido.

En áreas de gran densidad de población se plantea la utilización de contenedores de mayor capacidad. Esos nuevos contenedores buscan minimizar el número de estos, lo que supone un ahorro en su compra y mantenimiento, pero asegurando su compatibilidad con el actual sistema de recogida, o estudiando su posible cambio, pues en algunos casos se trata de contenedores sin ruedas preparados para la carga lateral, normalmente al lado derecho, mediante camiones de carga automática. Esta característica obliga a estudiar cuidadosamente su ubicación pues en este caso no permiten su localización en el lado izquierdo de la calzada, limitando las posibles elecciones a la hora de tener en cuenta otras variables. La escasa o nula movilidad de estos nuevos contenedores de mayor capacidad ha dado lugar a ubicaciones inadmisibles (Figura 5.1) como pueden ser encima de pasos de peatones, aceras o un carril de la calzada por una falta de planificación al no tener en cuenta otros elementos como las aceras, el tráfico o las plazas de aparcamiento (Figura 5.2).



Figura 5.1: Inadmisibles ubicación de un contenedor de residuos orgánicos sobre la acera, restando de forma notable el ancho practicable de la misma al crear un estrechamiento, que además es utilizado como “parapeto” para el aparcamiento de motocicletas (Fuente: imagen propia).

A la hora de intentar asegurar la recogida selectiva de los residuos urbanos debemos tener en cuenta que solamente se reciclan aquellos residuos que se depositan bien separados en cada uno de los contenedores. Por esto, es mejor que utilicemos las papeleras lo menos posible. De modo que la ubicación de los contenedores de residuos, e incluso su propio diseño (con aperturas de mejor accesibilidad, de tipo más urbano y menos industrial), debería tener en cuenta también esta circunstancia con el fin de fomentar su uso por parte de los vecinos, no ubicando papeleras en sus alrededores y facilitando un uso “peatonal” de los contenedores.



Figura 5.2: La falta de previsión en el cambio del tipo de contenedor (de mayor capacidad y carga automática lateral) respecto al aparcamiento y las aceras da lugar a localizaciones desordenadas que desaprovechan el espacio (Fuente: imagen propia).

Un aspecto muy importante es el tema de recolección de pilas. Se trata de uno de los residuos más contaminante y peligroso. Su gestión queda, en cierto modo, fuera del circuito de recogida de residuos, basándose en pequeños contenedores (que diferencian entre pilas convencionales y de tipo “botón”) fácilmente integrables en cualquier contexto o mediante comercios colaboradores (Figura 5.3). Sin embargo, la mayoría de los ciudadanos desconocen su ubicación y ya que por sus características no son fácilmente identificables, como ocurre con los contenedores de colores, desistiendo la población de su uso en algunos casos. Además sería conveniente ofrecer información sobre los puntos de recogida de pilas, como una campaña informativa municipal basada en carteles adosados en los contenedores de residuos sólidos informando de los peligros

de las pilas y la situación del contenedor para pilas más cercano respecto al contenedor en cuestión.



Figura 5.3: Contenedor para la recogida de pilas en el interior de un centro comercial (Fuente: imagen propia).

La aplicación de los SIG junto a estos nuevos conceptos, aparentemente provenientes de otras problemáticas, junta a la digitalización y representación cartográfica y alfanumérica de estos permite alcanzar unos resultados realmente brillantes e integrados dentro de las diversas temáticas que la administración local debe abordar. Estamos hablando de información disponible o de proceso de fácil realización.

5. 2. Una nueva visión de la planificación de la vegetación

La vegetación puede influir en el microclima urbano, modificando sus variables características, lo que hace pensar en su utilización para mejorar las condiciones ambientales locales al tenerse en consideración en el ámbito de planeamiento y gestión.

Posiblemente uno de los efectos más conocidos de la vegetación en la alteración del balance energético dentro del ámbito urbano sea el control de la radiación solar. Las plantas absorben de la energía solar entre el 5% y el 20 % para la fotosíntesis, otro 5-20% la reflejan; mediante la evapotranspiración consiguen disipar entre un 20% y un 40%, emiten el 10-15% y transmiten el 5-30%. (Ochoa de la Torre, 1999).

Las especies caducifolias son las que mejor resultado dan a la hora de controlar la incidencia de la radiación solar: bloqueando los rayos solares durante el verano y permitiendo su paso en invierno. Desarrollando esta idea, debemos tener en cuenta el ciclo de foliación de las especies para que esté en armonía con las necesidades de calentamiento o enfriamiento y las tasas de transmisividad de la radiación de cada especie a lo largo de las diferentes estaciones en función de los objetivos y requerimientos.

La iluminancia, resultado de la radicación difusa y la radiación directa a través del follaje, bajo los árboles, depende de la altura, edad, tipo de hoja y especie. También influye que se trate de un árbol aislado o en grupo (no se tocan la copas), grupos heterogéneos de especies y grupos homogéneos de especies.

En áreas urbanas, con alta densidad de edificación, el viento puede quedar relegado a un segundo papel debido a la importancia de la estructura propiamente urbana: altura de los edificios, anchura de las calles, densidad de construcción, presencia de espacios abiertos, orientación de la trama urbana, etc.

Sin embargo, en áreas sin grandes construcciones o densidades, como en el caso de áreas de baja densidad, áreas residenciales, espacios abiertos o descubiertos, la vegetación puede jugar un papel importante. Se han realizado estudios en los que se demuestra que un aumento del 10% en la cubierta de arbolado da lugar a disminución de entre el 10% y el 20% de la velocidad del viento; con un 30% se consigue reducciones del 15% al 35%. Estos efectos se siguen conservando en gran medida incluso en invierno, cuando algunos árboles han perdido sus hojas.

No obstante, en espacios abiertos, incluidas las zonas de baja densidad de edificación, es donde podemos observar mayores efectos en la reducción de la velocidad del viento, con disminuciones de hasta un 30%: es un aspecto bien conocido en agricultura para proteger cultivos y evitar la erosión del suelo. La protección del viento que puede ofrecer estas barreras vegetales quedan condicionadas por la velocidad y dirección del viento, las dimensiones y forma de la barrera, y finalmente, por su densidad y penetrabilidad. Se ha llegado a demostrar que, en un cómputo general, son mejores las barreras de arbolado que las barreras sólidas, pues sus efectos se extienden a mayores distancias (Olgay, 1998).

Como hemos podido observar, la utilización de la vegetación para modificar los vientos debe tener presente que este cambio supondrá en muchos casos un encauzamiento de éste. Estas modificaciones de la dirección del viento, tanto en plano horizontal como en el vertical, pueden dar lugar bloqueos o direccionamientos de aire: si no se tienen en cuenta puede dar lugar a obstrucciones de ventilación o corrientes de aire frío no deseadas. Pero, si se tienen en cuenta, podemos conseguir ventilación de aire fresco para el verano o bloqueos de aire frío en invierno. De modo que no sólo podemos intervenir en los efectos, positivos y negativos, del viento en el ámbito exterior; si no que podemos incluso influir en los espacios interiores.

La utilización de un plano de la trama urbana junto a un modelo en tres dimensiones de nuestra área de trabajo, información de los vientos dominantes, características climáticas, etc. nos permitirá establecer el tipo de vegetación y barrera que mejor se ajuste a nuestros objetivos y necesidades.

Aunque la sombra proporcionada por la vegetación consigue una pequeña reducción de la temperatura, y es siempre un alivio en los días calurosos de intenso sol, es el proceso de la evapotranspiración el principal responsable de la reducción de la temperatura por parte de la masa vegetal.

No obstante, este beneficioso efecto necesita de una mínima densidad vegetal para que sea significativo. Plantas y árboles aislados no consiguen resultados apreciables en esta dirección. Por ello, la búsqueda de este efecto se suele planear a través de los parques y jardines, incluso de los patios interiores. Se trata pues, de la creación de microclimas con un cierto aislamiento de los efectos atmosféricos que puedan deshacer o esparcir sus efectos.

Son bien conocidas las diferencias de temperaturas entre los parques urbanos y el resto de las áreas urbanas edificadas. Incluso estas diferencias son claramente perceptibles en áreas rurales, donde se pueden observar notables reducciones de temperatura y aumento de la humedad relativa en las áreas arboladas respecto al campo abierto.

Aunque se trate de un efecto que no se fácil alcanzar, debería de tenerse en cuenta a la hora de planificar la creación de parques y jardines dentro de la trama urbana estudiando su ubicación relativa respecto a otros elementos climáticos y urbanos, junto a otros que aseguren su desarrollo y mantenimiento.

La utilización de la vegetación como un elemento más dentro del diseño de la trama urbana durante el desarrollo de la planificación urbana, bien sea de una aérea de nueva creación o la remodelación de un ya existen, aprovechando las características anteriormente mencionadas, da lugar a espacios de mayor calidad e incluso mayor eficiencia.

No debemos quedarnos únicamente con el aspecto paisajístico de la vegetación en las calles: prácticamente único aspecto que se tiene en cuenta actualmente. La utilización apropiada y planificada de la vegetación dará lugar a una mejor gestión y mantenimiento de dichos usos paisajísticos tradicionales, mejorará la calidad ambiental de los viales y permitirá el acondicionamiento climático del espacio urbano.

Al mismo tiempo, la introducción de vegetación en el espacio edificado tendrá repercusiones en los balances energéticos de los espacios interiores (edificios). La consideración de dicho elemento vegetal sobre la planificación local, puede, y debe tener en cuenta, las consecuencias de estas en los espacios interiores, pues influirá en los usos y requerimientos energéticos. Son numerosos los experimentos teóricos e

incluso prácticos que utilizan a la masa vegetal como ayuda en el control del balance energético de edificios. Incluso en la actualidad podemos ver como se llega a utilizar elementos vegetales como parte del propio edificio, con el fin de utilizar las posibilidades de cambio micro-climático de las plantas anteriormente mencionadas. En dichos experimentos, se ha demostrado que es posible reducir el uso energético para calentar durante el invierno o enfriar durante el verano cuando se utiliza de apoyo elementos vegetales.

Otra característica es la capacidad de la vegetación para reducir el ruido. Si bien, dicha capacidad posee un efecto relativamente pequeño (independientemente del efecto de pantalla visual respecto a la fuente de ruido), es interesante hacer mención de ella como una prueba más de la presencia en nuestro espacio actual de elementos con características o variables que no se tienen en cuenta, cuando no desconocen. De nuevo, se han desarrollado pruebas a partir de las cuales se han establecido clasificación de árboles en función de la capacidad de absorción sonora, se sabe que la mejor ubicación de la vegetación con este fin es cerca de la fuente y que la mejor vegetación es la hoja perenne (evitando las coníferas) (Ochoa de la Torre, 1999).

No podemos olvidar, otras propiedades bien conocidas y beneficiosas de la vegetación dentro de nuestros espacios urbanos y rurales, aunque se traten particularidades más complejas de introducir y calcular dentro de la planificación local, como la producción de oxígeno, filtro de contaminantes, acción antiséptica (depuración de bacterias), indicador biológico, retención de polvo y materiales residuales, absorción de gases tóxicos, influencia en la calidad del agua, protección del suelo, etc. Otras como los efectos psicológicos sobre los ciudadanos ante un espacio con vegetación, la creación de barreras visuales ante elementos desagradables o molestos (carreteras, vías de

tren) o la creación de espacios con privacidad son también singularidades notables que se pueden buscar y planificar.

La combinación de las comentadas características de la vegetación junto a las particularidades climáticas y energéticas del espacio a ordenar, todas ellas en forma de variables alfa-numéricas, empleando las herramientas de los SIG, nos permite establecer los tipos de elementos vegetales (arbolado en barrera, setos, pérgolas, etc.), ubicación, especie (caducifolias, perennes, foliación, ...), etc. Podremos definir las áreas con exceso de energía junto aquellas que presenten carestía energética, desde el punto de vista climático, y sus variaciones estacionales, de modo que podremos abordar el diseño de nuestras medidas para la modificación de estos balances energéticos con el fin de obtener espacios más confortables y eficientes; tanto en el exterior (calles, plazas, etc.) como en los espacios interiores (edificios); en las zonas ya existentes como en futuros proyectos de nueva creación.

El resultado es la creación de espacios agradables, de mayor calidad, con unos micro-climas que permiten un ahorro energético, dando lugar a reducción de los costes (tantos de la administración pública como privados) y de los gases de efectos invernadero y otros contaminantes derivados del uso de energías.

El inventario de las especies, su ubicación, la posibilidad de realizar su seguimiento, consumos de agua, etc. va a dar lugar a una mejor gestión, desde el punto de vista “tradicional” (sin la integración con otros ámbitos del ordenamiento local), de los medios junto a un constante flujo de información que va a permitir mejorar su gestión. La introducción de estas nuevas variables permite mitigar o eliminar las consecuencias perniciosas derivadas de ubicaciones o especies erróneas que están dando consecuencias micro-climáticas negativas o daños en otros elementos como aceras, edificios,

mobiliario urbano, instalaciones subterráneas, otras plantas o árboles, reducción de visibilidad, etc.

La integración de la planificación de las masas verdes dentro del ordenamiento local junto a la política urbanística y las normativas de edificación, permitirá aprovechar todas las potenciales características que hemos planteado, consiguiendo unos resultados de gran calidad. Con un SIG enriquecido con estas nuevas variables que recogen estas propiedades junto a las variables tradicionales, se está en condiciones de tomar decisiones con mayor rapidez, mayor precisión y menores costes.

5. 3. Iluminación: gestión e integración

Los proyectos de alumbrado público se desarrollan a partir de una serie de conceptos teóricos y cálculos, actualmente muy estructurados y automatizados, que se pueden convertir en una serie de variables con el fin de integrarlos dentro de un SIG global que permita tanto su propia gestión desde un punto de vista tradicional (cálculos, mantenimiento) como en un sistema integrado para que no se vea perjudicado por otros elementos del planeamiento (como puede ser el arbolado) o perjudique a otros (tráfico).

Los requisitos de seguridad y visibilidad que una instalación debe de cumplir para ser eficaz quedan definido por la luminancia (luz que llega a los ojos desde los objetos iluminados), los coeficientes de uniformidad (análisis de la uniformidad de la iluminación desde un punto de vista global y longitudinal), el deslumbramiento (deslumbramiento por las propias fuentes de luz y los posibles reflejos en objetos) y el coeficiente de iluminación de los alrededores (medida de la iluminación en los

alrededores a la vía o punto iluminado, normalmente se evalúa en unos 5 metros a los lados del punto central de iluminación).

La luz se consigue a partir de las lámparas que pueden ser de diferentes tipos. Tenemos las lámparas incandescentes (no halógenas, halógenas de alta presión, halógenas de baja presión) y las lámparas de descarga (fluorescentes, luz de mezcla, vapor de mercurio a alta presión, halogenuros metálicos, vapor de sodio a baja presión y vapor de sodio a alta presión). Actualmente, para el alumbrado público, se utilizan las lámparas de descarga, en especial, las de vapor de mercurio a alta presión, vapor de sodio a baja presión y vapor de sodio a alta presión.

El segundo elemento que forma el conjunto básico del alumbrado público es la luminaria. Se trata del aparato que reparte, filtra o transforma la luz emitida por las lámparas formado por todos los dispositivos de soporte y protección de estas: carcasa o armadura, equipo eléctrico, reflector, celosía y filtro. Existen diferentes clasificaciones de las iluminarias en función de distintos criterios: por el grado de protección eléctrica, la mecánica de las iluminarias (sistema IP), clasificación óptica (cut-off, semi cut-off, non cut-off y la nueva clasificación C.I.E.).

Finalmente, existen otros elementos que forman parte del sistema de alumbrado como los sistemas de arranque y encendido (muy importantes para las lámparas de descarga de uso actual), sistemas de corrección del factor de potencia (condensadores o baterías) y los equipos de ahorro de energía.

En la actualidad, son usuales los SIG para la gestión y especialmente, el mantenimiento del alumbrado público municipal. Estos permiten dinamizar el control del estado del equipo (rondas de vigilancia, inventario, averías, reposición, mantenimiento predictivo, etc.) y mejorar la calidad del servicio al permitir un mejor

seguimiento del sistema al estar estas características en el SIG en forma de variables alfa-numéricas.

Los proyectos para la implantación o modificación del alumbrado de los viales parten del tipo de vial y, por tanto, de su uso. Para ello se utiliza una clasificación de las vías públicas a partir de las normativas correspondientes con valores recomendados (Figura 5.4).

Clase de vía	Densidad tráfico	Tipo de vía	Ejemplos
A	Vías con tráfico denso y de alta velocidad.	Vías con calzadas separadas, sin cruces a nivel y con acceso controlado.	Autopistas, autovías.
B	Carreteras principales con tráfico rápido y posiblemente carriles para tráfico lento y peatones.	Vías importantes con calzadas separadas para vehículos lentos y/o peatones.	Carreteras nacionales, principales, interurbanas, circunvalaciones, radiales.
C	Vías con tráfico moderadamente rápido (70km/h).	Vías públicas importantes para todo uso, rurales o urbanas.	Circunvalación, carreteras radiales y vías urbanas de tráfico rápido.
D	Vías con tráfico mixto con presencia de vehículos lentos y peatones.	Vías públicas, urbanas o comerciales, con tráfico mixto y lento o gran circulación de peatones.	Carreteras provinciales, comarcales, travesías, vías urbanas y calleas comerciales.
E	Vías con tráfico elevado mixto y limitación de velocidad.	Vías residenciales.	Áreas residenciales y calles locales.

Figura 5.4: Ejemplo de clasificación CIE de los viales públicos.

A partir de cada uno de los tipos de viales se establecen los criterios de referencia en cuestión de iluminación que se deben de cumplir (Figura 5.5).

Clase de vía	Entorno	Categoría	Luminancia media (cd/m ²)	Uniformidad		Deslumbramiento	
				Global (U ₀)	Longitudinal (UL)	Molesto	Perturbador
A		A	≥2	≥0.4	≥0.7	≥0.6	≤10 %
B	Claro	B1	≥2	≥0.4	≥0.7	≥0.5	≤10 %
B	Oscuro	B2	≥1	≥0.4	≥0.7	≥0.6	≤10 %
C	Claro	C1	≥2	≥0.4	≥0.5	≥0.5	≤20 %
C	Oscuro	C2	≥1	≥0.4	≥0.5	≥0.6	≤10 %
D	Claro	D	≥2	≥0.4	≥0.5	≥0.4	≤20 %
E	Claro	E1	≥1	≥0.4	≥0.5	≥0.4	≤20 %
E	Oscuro	E2	≥0.5	≥0.4	≥0.5	≥0.5	≤20 %

Figura 5.5: Valores recomendados por la CIE.

Una vez definido los requisitos que debe de cumplir cada vial se puede abordar el planeamiento de la infraestructura necesaria: número de elementos, potencias, disposición de la luminarias (unilateral, tresbolillo, pareada, suspendida), las alturas, etc.

La presencia de un elemento o circunstancia particular puede obligar a introducir alguna modificación sobre los criterios genéricos para cada vía o área. En los cruces de viales se debe buscar una mayor iluminación con el fin de que la visibilidad sea mejor, en plazas y glorietas las luminarias se deben ubicar en el borde exterior para que iluminen las vías de salida y acceso junto con la iluminación de dichas vías, si la calle posee pasos de peatones las luminarias deben de situarse antes de estos (en el sentido del tráfico) para que este paso sea bien visible tanto por peatones como por conductores, el arbolado en los viales y su evolución es otro elemento a considerar pues condiciona la efectividad de las luminarias.

Podemos observar como los SIG integrados van a permitirnos manejar la interacción de los diferentes elementos del planeamiento (iluminación, tráfico, arbolado, etc.) y

observar o prever las consecuencias que el cambio de uno de los elementos supone en el resto, tanto en el caso del ámbito local ya existente como en la proyección de nuevas áreas.

Actualmente, se está intentando implantar métodos de gestión de los sistemas de alumbrado con el fin de obtener métodos que aumenten la eficacia energética: ahorrar en energía, mantener niveles de iluminación aceptables y reducir contaminación lumínica. Dichos métodos de control se fundamentan básicamente en el encendido, apagado del alumbrado y reducción del flujo luminoso: basados en interruptores crepusculares (a partir de la luminosidad ambiental) o interruptores horarios astronómicos (a partir de posición geográfica).

Podemos encontrar proyectos en los cuales se puede realizar un control remoto de la iluminación (telegestión) que pueden llegar a agrupar, programar, apagar, encender y regular a partir de controladores de iluminación, puntos de control y una aplicación informática para la supervisión basada en SIG (<http://www.lighting.philips.com>) (Figura 5.6).



Figura 5.6. Pantalla de la aplicación de control del sistema Starsense de Philips (Fuente: <http://www.lighting.philips.com>; Acceso, 25/VII/2009)

Disponer de este sistema de información es una importante ayuda a la hora de abordar los potenciales cambios en el sistema de alumbrado local derivados de la aplicación de los distintos planes de ahorro energético y eficiencia energética. La sustitución de lámparas y luminarias por otras de mayor eficiencia, de balastos electromagnéticos por otros electrónicos, de sistemas de control y de flujo luminoso se puede realizar a partir del sistema de información, de modo que, por ejemplo, se pueda desarrollar un plan por fases que permita calcular áreas con mayor prioridad en función de diferentes criterios: en busca del máximo ahorro, zonas con luminarias que necesitan sustitución, basándonos en el tipo de uso o concurrencia del vial, etc. Se podrían establecer previsiones que permitan calcular los costes de la inversión junto al ahorro energético y económico combinado con las necesidades locales para obtener el máximo margen de rentabilidad posible con el fin de emprender la siguiente fase de modernización.

5. 4. La trama urbana: inicio hacia un espacio de calidad

La planificación de la trama urbana (viales y manzanas) suele desarrollarse como consecuencia de una continuación de la trama existente (calles, caminos, avenidas) o de aquellos elementos condicionantes (ríos, vías de ferrocarril).

La organización espacial de los diferentes usos del suelo que deben convivir en el mismo espacio condiciona la forma y distribución de esta. La red de calles y la organización del tráfico, la ubicación de los edificios con su forma y orientación, la localización de espacios públicos (jardines, edificios públicos), etc. condicionan la estructura del ámbito urbano. Se trata además de un elemento del planeamiento de gran rigidez, con limitadas posibilidades de flexibilidad futura, por lo que es importante tener en cuenta las consecuencias del proyecto en cuestión.

Hasta tiempos muy recientes los factores culturales, estilos arquitectónicos, estructura urbana ya presente, eran los principales protagonistas a la hora de desarrollar las tramas urbanas. No se solía tener en cuenta elementos como la iluminación o las futuras necesidades de refrigeración o calefacción a partir de las características climáticas del lugar. Esta circunstancia ha dado lugar, entre otros motivos, a que las áreas urbanas estén lejos de ser ambientes con un buen aprovechamiento de las características físicas del espacio sobre el que se desarrollan. La falta de consideración de este concepto de eficiencia energética junto a la concentración de actividades y población en las áreas urbanas da lugar a que esta sean los centros de mayor consumo energético: se calcula que alrededor del 40% del consumo final de la energía proviene del gasto derivado de los edificios.

La orientación de la trama urbana y la ubicación dentro de ella de los diferentes elementos que la componen (calles, edificios, espacios verdes) es uno de los principales

elementos a considerar a la hora de abordar un proyecto de una trama urbana de calidad. Dicha orientación va a condicionar tanto las horas de insolación disponibles, como la aparición de sombras sobre edificios y viales. Tener en cuenta este hecho nos permite proyectar un paisaje urbano de gran calidad.

La realización de cálculos de iluminación natural permite establecer estudios sobre la iluminación solar directa y difusa con el fin de obtener el máximo partido de la luz natural: minimizar el bloqueo de luz natural o evitar excesos de insolación, utilización de la luz difusa, espacios de sombra, etc. De este modo, se consigue reducir el uso del alumbrado eléctrico, tanto de los espacios exteriores como en el interior de los edificios.

Por otro lado, evaluar el comportamiento de la luz solar sobre las distintas superficies nos permita pronosticar posibles problemas de calor o frío debido a excesos o carestías de insolación. Conocer los periodos de iluminación directa nos permite prever la cantidad de energía captada por las superficies y las posibles necesidades de refrigeración o calefacción derivadas (Figuras 5.7 y 5.8).

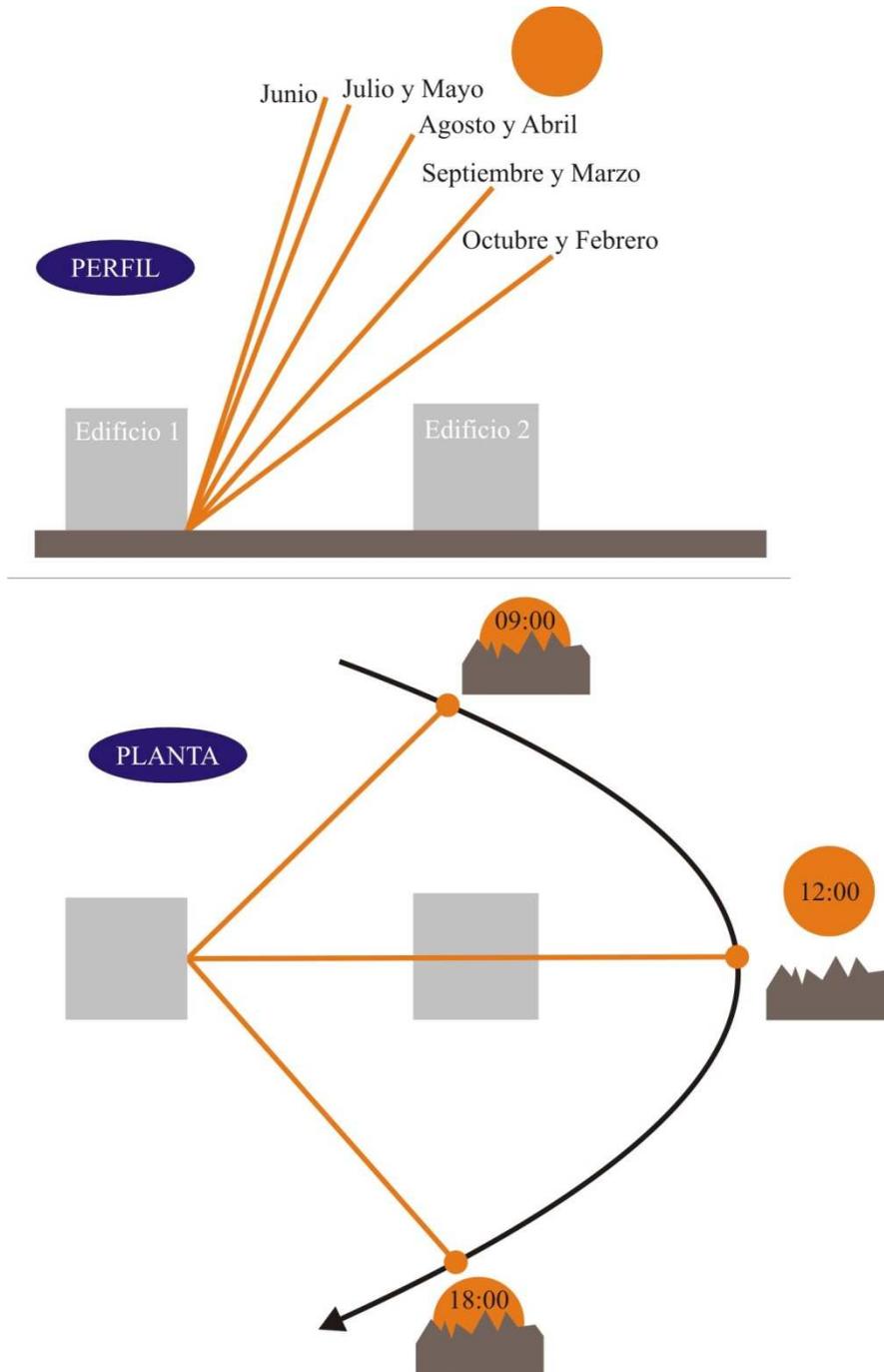


Figura 5.7: Elevación del sol sobre el horizonte de Febrero a Octubre y su recorrido a lo largo (planta) desde su salida hasta su puesta (perfil) en verano.

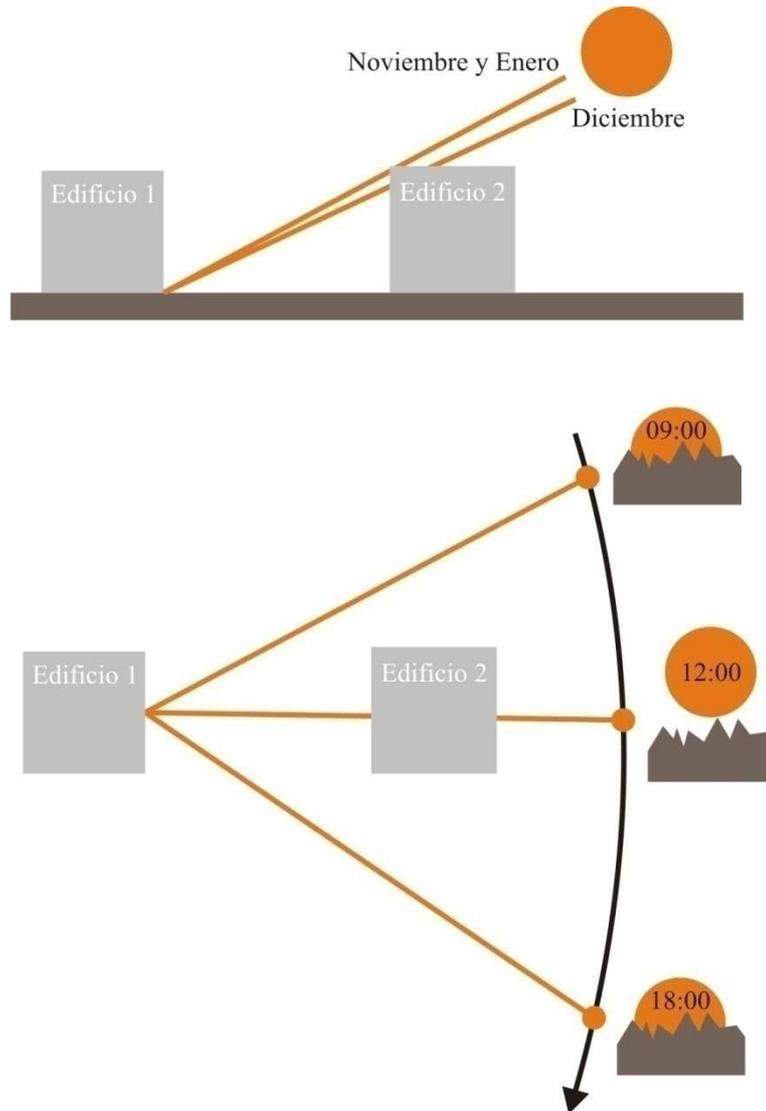


Figura 5.8: Elevación del sol sobre el horizonte de Noviembre a Enero y su recorrido a lo largo (planta) desde su salida hasta su puesta (perfil) en invierno.

Aunque la mayoría de los estudios que tratan el tema de la trama urbana como un elemento básico a la hora de desarrollar espacios de calidad suelen centrarse en la radiación solar y sus derivaciones en la iluminación y temperatura, la orientación y estructura del tejido urbano se puede estudiar respecto a cualquier característica local. Un ejemplo sería el caso del viento, buscando el bloqueo, desviación o encauzamiento de este en área ventosa o tratando de maximizar las ventajas de la circulación de brisas en un área costera. Las características locales definirán las variables presentes en el estudio y su preferencia.

La trama urbana es el resultado de una serie de variables morfológicas. Se pueden utilizar y modificar estas variables teniendo en cuenta la búsqueda de nuevos objetivos de calidad ambiental y eficiencia junto a las clásicas necesidades a las que responde el ordenamiento local (edificabilidad, tráfico, etc.). En función de las características climáticas y geográficas del área en cuestión se puede calcular la proyección de la trama urbana con el fin de intentar conseguir el máximo aprovechamiento los elementos beneficiosos y paliar los negativos.

Introduciendo y modificando en el SIG variables como la separación horizontal entre edificios; la densidad de edificación; la altura, tipología, tamaño y forma de los edificios; la alternancia de alturas, la orientación de la trama (orientación sur en el caso de ciudades del hemisferio norte de latitudes altas y medias), etc. podremos observar diferentes resultado, creando y evaluando diferentes soluciones en función de nuestro objetivos. Debemos de tener en cuenta que se tratan de grandes rasgos de la morfología urbana los cuales, aunque se planifiquen con sumo cuidado, difícilmente van a obtener resultados o soluciones de continuidad por sí solos. Se van a necesitar de elementos complementarios, como la vegetación, materiales adecuados de construcción, etc., para conseguir un espacio de calidad, lo que refuerza la idea de un SIG integrado. No olvidemos que, variables como la insolación (y sus consecuencias), presenta variaciones estacionales a los largo del tiempo, antes las cuales un elemento rígido como la trama urbana tiene limitada capacidad de adaptación. Sin embargo, obviar el papel de la trama urbana dentro de un proyecto de ordenamiento eficiente nos obligará a introducir elementos correctores (luminarias, vegetación, parasoles, sistemas de refrigeración o calefacción, etc.) en una cantidad y/o intensidad considerablemente mayor a la que hubiera sido necesaria con un planeamiento que tuviera en cuenta las variables geográficas y estructurales dentro del ámbito local.

5.5. Desplazamientos dentro del espacio local

Posiblemente la planificación y gestión del tráfico sea uno de los elementos de la ordenación del espacio que presente una mayor utilización de los SIG.

Los SIG permiten desde el diseño de la red vial hasta el desarrollo de los sistemas de control y gestión de tráfico, tanto en entornos interurbanos como urbanos. Dichos sistemas de información parten de una cartografía digitalizada cuyas tablas alfanuméricas se van enriqueciendo con multitud de variables que ordenan, modelan, restringen o condicionan el tráfico. Partimos entonces de una cartografía de los viales junto con la ubicación de los elementos significativos para el tráfico como semáforos, señales verticales, señales horizontales, sentidos de tráfico, etc. acompañados de otros atributos como números de carriles, posibilidad de aparcamiento, pasos inferiores, cruces, pasos de peatones, etc.

Con esta información se crean los sistemas de control de tráfico en tiempo real a partir de los cuales se generan los mapas de intensidades de tráfico que van a permitir a usuarios y gestores escoger una ruta o coordinar una actuación específica. Estos mapas de intensidades van a ayudar en el desarrollo de modelos de simulación (Figura 5.9) del comportamiento del tráfico en diferentes situaciones proporcionando una herramienta de prevención y planificación. Estamos hablando de la gestión del tráfico en el día a día o abordar una situación de emergencia en la que la actuación de los equipos de emergencias está, en cierto modo, condicionada por las características del tráfico.

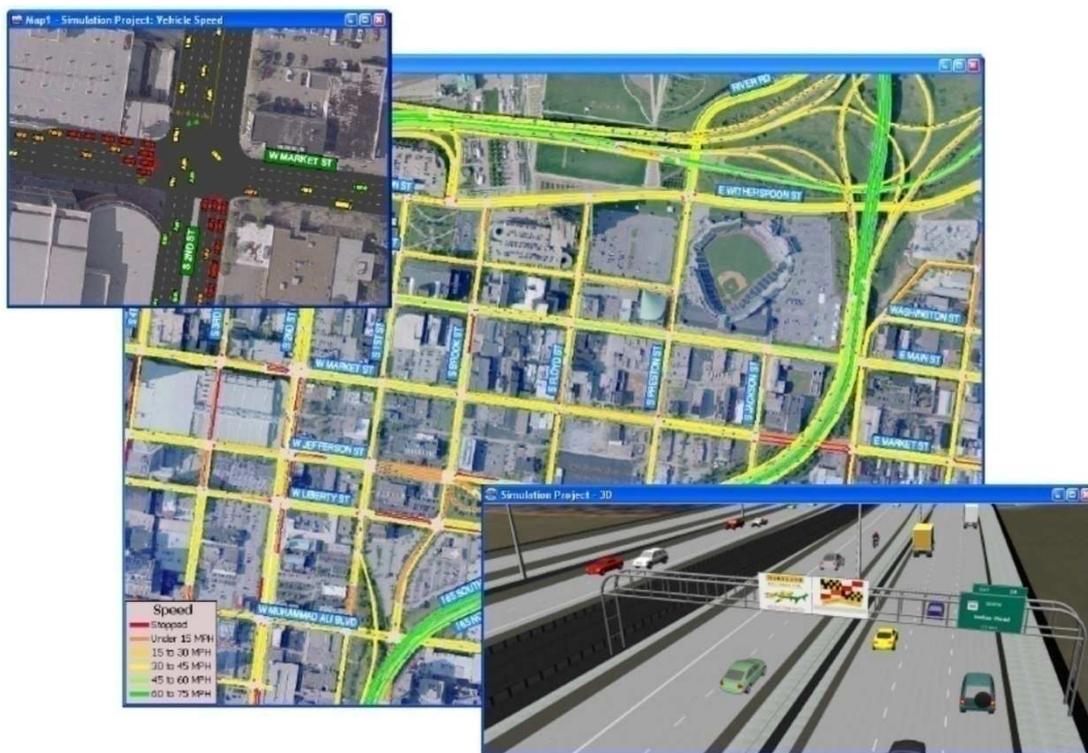


Figura 5.9: Visualización de algunas pantallas de la aplicación TransModeller desarrollada por Caliper Corporation (Fuente: <http://www.caliper.com/transmodeler>; Acceso, 25/VII/2009).

Además de ayudar a la interacción de los servicios de emergencias con el tráfico, también se permite calcular, diseñar u optimizar los servicios de transporte público teniendo en cuenta variables como la temporalidad de los viajeros, horas de máxima afluencia, estacionalidad, festividades, interconexión con otras líneas o medios de transporte, etc. en busca de los menores costes y de un mejor servicio (Herrero et al., 2004).

Sin embargo, a la hora de abordar la planificación del tráfico dentro del ordenamiento local mediante los SIG, podemos realizar desarrollos de mayor calidad si tenemos en cuenta variables que no se suelen contemplar en la misma medida o que son de nueva consideración.

Uno de los temas que debemos incluir son las emisiones atmosféricas generadas por el tráfico dentro de nuestra área. El tráfico rodado contribuye a la contaminación

atmosférica por la emisión de diferentes contaminantes como el dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, plomo, óxidos de azufre, etc. Introduciendo variables como la intensidad del tráfico y sus variaciones, tipos de vehículos (ligeros, pesados), combustible (diesel, gasolina), tipo de vías (urbanas, interurbanas, rurales), podemos realizar un estudio de las emisiones derivadas del tráfico, ubicando los puntos de mayor emisión (Garrido Palacios, 2000) (Figura 5.10). Conocidas las emisiones podemos combinarlas con las variables que caracterizan y regulan el tráfico junto a aquellas variables que expresen nuevas soluciones con el fin de realizar estudios en busca de diseños (para las futuras áreas o para modificar áreas existentes) que atenúen o minimicen las emisiones de contaminantes.

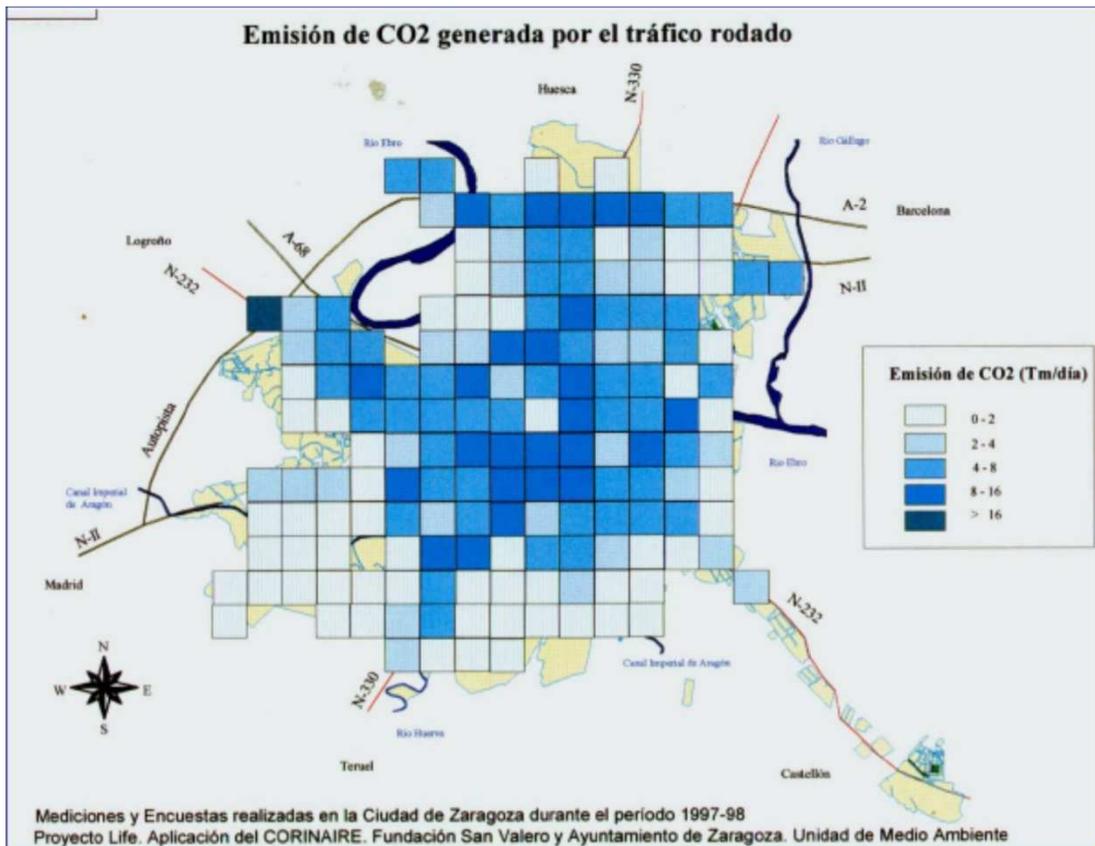


Figura 5.10: Mapa de emisiones de CO₂ generadas por el tráfico rodado en la ciudad de Zaragoza (Fuente: Garrido Palacios, 2000).

Otro aspecto es el ruido que produce el tráfico rodado, especialmente en los ámbitos urbanizados. Existen multitud de estudios y modelos de simulación del ruido en general, y del tráfico en particular, que han dado como resultado la generación de mapas acústicos. Mediante estas representaciones de la presión sonora a la que está sometida la población se pueden adoptar acciones para prevenir y reducir el ruido y los niveles de exposición perjudiciales. La incorporación de los resultados de estos estudios en los SIG nos permitirá observar las áreas con problemas de saturación sonora como consecuencia del tráfico rodado (Figura 5.11).

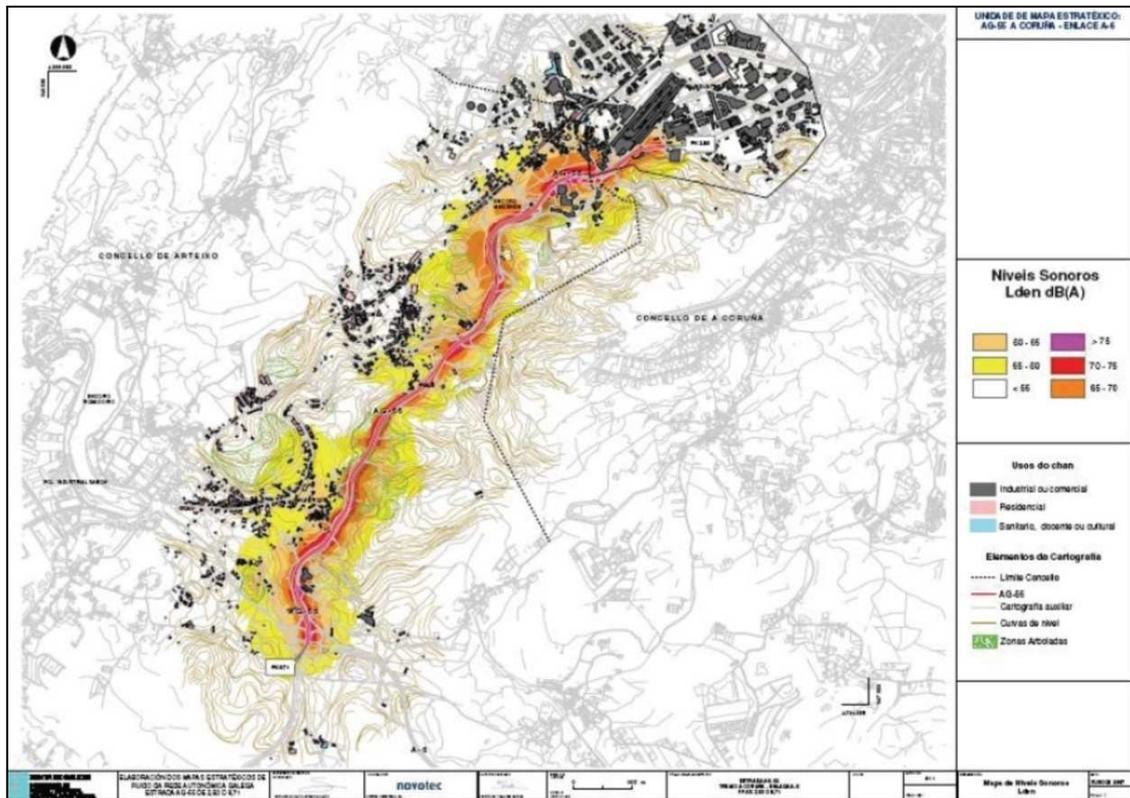


Figura 5.11: Mapa de ruido en los alrededores de la A-6 en A Coruña
(Fuente: Ministerio de Fomento, CEDEX).

Combinando esta información con el resto de variables del tráfico junto con otros conceptos del ordenamiento, como los usos del suelo, podremos establecer políticas de planeamiento que tengan en cuenta todos los elementos implicados con el fin de realizar modificaciones en el tráfico que también comprendan esta problemática y no busquen

únicamente la fluidez del mismo. De este modo se pueden establecer actuaciones o futuras proyecciones que comprendan medidas como: la prohibición de circulación de vehículos pesados (total o temporal), reducción y control de la velocidad, reordenación del tráfico en áreas concretas, fomento del transporte público, programas de peatonalización, modificación o sustitución de firmes, pantallas de protección acústica, distribución de los usos del suelo, etc.

La ordenación del tráfico se realiza a partir de una serie de estructuras, que le dan su lugar en el espacio y su forma de uso, que van desde la calzada hasta las propias aceras pasando por toda una serie de elementos reguladores (carriles, señales, semáforos, etc.).

Todos estos elementos se pueden digitalizar e introducir en forma de variables alfanuméricas dentro un SIG con el fin de evaluar nuestro espacio actual, abordar modificaciones para mejorarlos o proyectar una nueva área que cumpla los requisitos más exigentes.

Como hemos comentado una de las estructuras que forma parte del espacio son las propias aceras. No son pocas las ocasiones en las que no se tiene en cuenta la circulación de personas o ciertos matices de estas estructuras. En ocasiones las aceras parecen ser únicamente el espacio que delimita las áreas de influencia de vehículos y peatones (y a veces ni eso se consigue). Curiosamente, en los ámbitos urbanos podemos observar situaciones en las cuales la tendencia a proporcionar cierta preferencia al tráfico da lugar a efectos contrarios: sería el caso del aprovechamiento de la calle para aparcamiento o maximizar el espacio en los cruces para el tráfico de vehículos. Relacionada con esta situación podemos encontrar espacios muertos, “sombras” en el tráfico que además pueden ser incorrectamente utilizados (vehículos aparcados) que entorpecen el paso (incluyendo a vehículos de emergencias, recogida de basuras); en

otras ocasiones no facilitan la visión del cruce. Para esta ocasión, se puede considerar el estudio de la instalación de “orejas” en las aceras: se impediría el aparcamiento ilegal en las esquinas, se disminuye la velocidad en el cruce, facilita el cruce de los peatones y amplía a superficies para estos y la instalación de mobiliario público.

Sin embargo, el estudio de los desplazamientos no debe centrarse únicamente en el flujo del tráfico y las redes de transporte. Debemos de considerar la movilidad peatonal y sus infraestructuras dentro del conjunto de la movilidad del área. Existen espacios propios en cada ámbito (calzadas y aceras), pero en muchas ocasiones peatones y vehículos comparten espacios, por lo tanto deberían de compartir estructuras y funcionalidad. En algunos casos es evidentes (lomos reductores, pasos de peatones, semáforos) en otros casos no lo es tanto (rotondas, iluminación o las comentadas “orejas”).

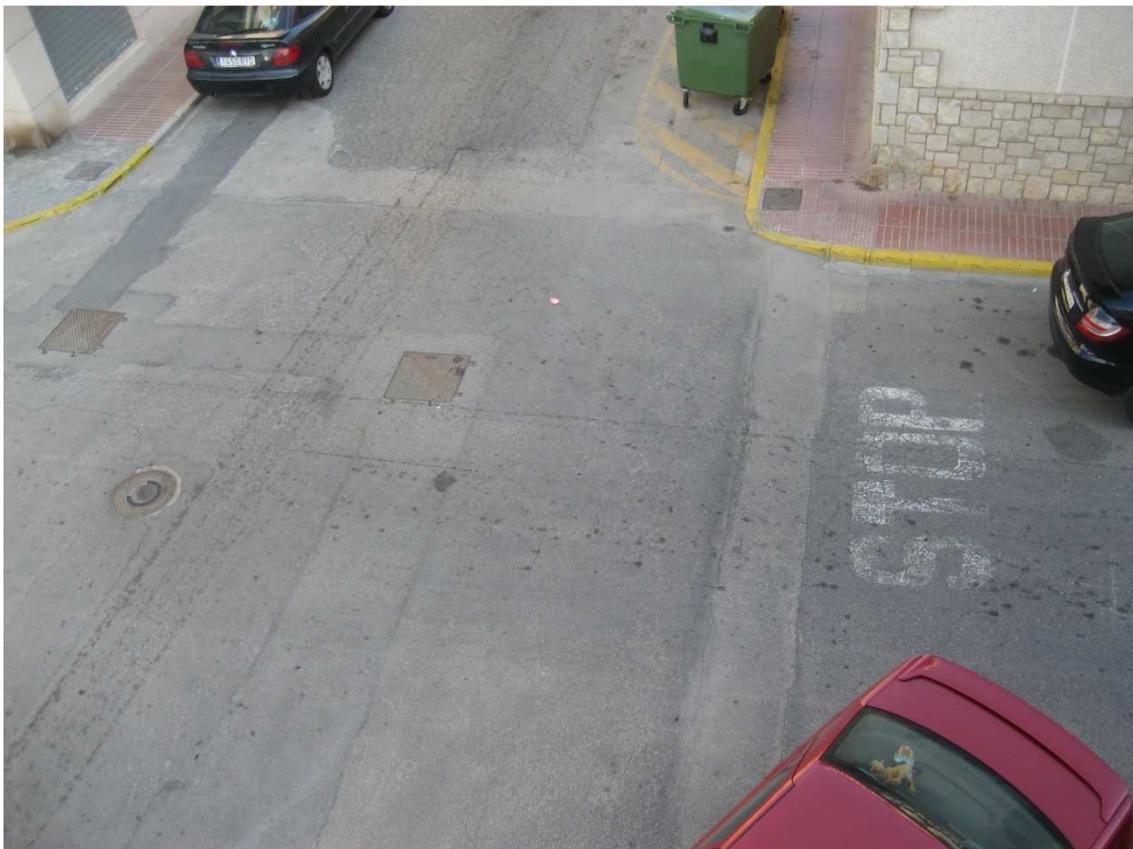


Figura 5.12: Detalle de un cruce de cuatro calles de un área residencial sin pasos de peatones ni elementos alguno que asegure el flujo de peatones e impedidos (Fuente: imagen propia).

Del mismo modo que se evalúa la conectividad y flujo del tráfico de vehículos, mediante técnicas SIG se puede estudiar la posibilidad y calidad de la circulación de personas (Figura 5.12). Es más, dicho análisis debe de incluir criterios que aseguren la utilización de dichos espacios peatonales por personas impedidas (minusválidos, ciegos): el SIG puede evaluar la aptitud de un área al uso de estas personas introduciendo las características que deben de cumplir en forma de variables (dimensiones, pendientes y desniveles, franjas señalizadoras, presencia de mobiliario urbano). Podemos observar como en nuestros espacios existen aceras que no cumplen los requisitos ni siquiera para los peatones tanto por sus dimensiones como debido a las consecuencias de los detalles de uso (Figura 5.13).

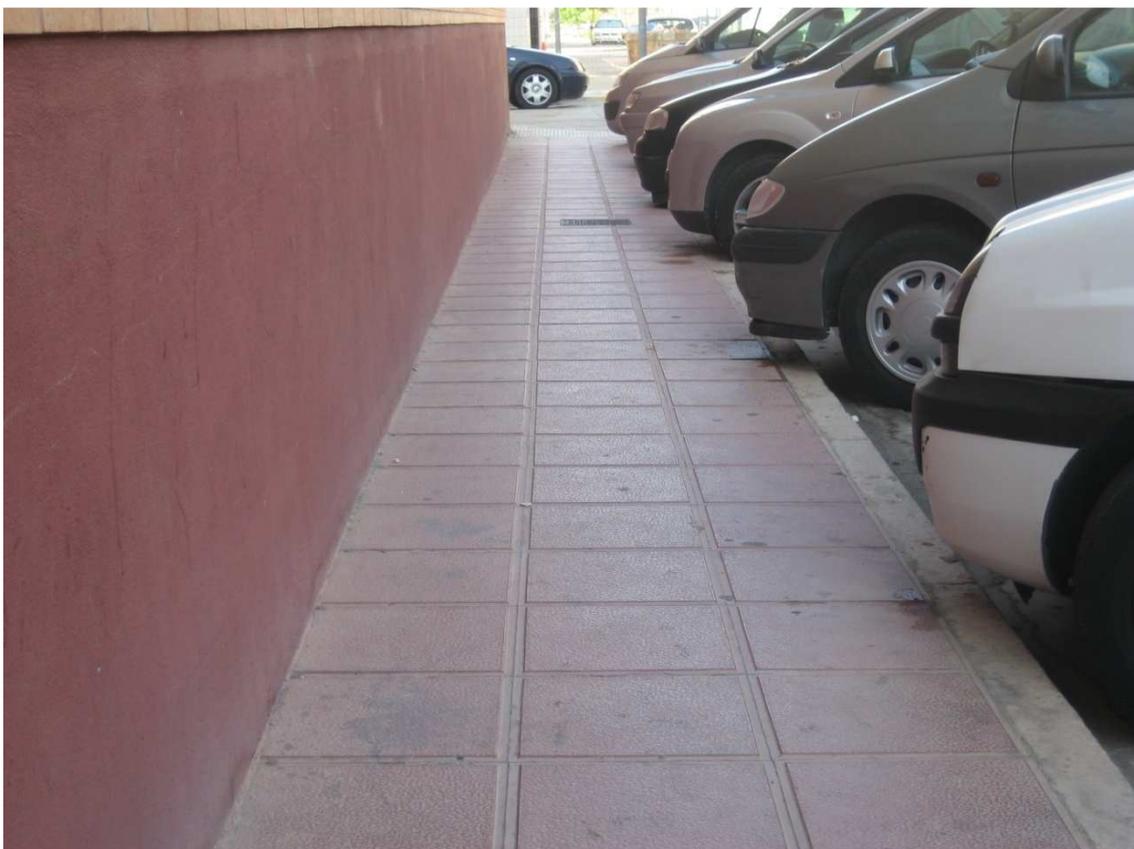


Figura 5.13: Ejemplo de una acera de un área residencial realmente estrecha junto a una falta de previsión a la hora de considerar el aprovechamiento del espacio por parte de los vehículos aparcados (Fuente: imagen propia).

Mediante técnicas de análisis SIG podemos observar si nuestra área cumple con los requerimientos de movilidad peatonal, si ante la necesidad de introducir un cambio por la instalación de mobiliario nuestra área va a seguir cumpliendo con ellos, las características que debe de cumplir una nueva área para ser un espacio de calidad.

La administración local puede desarrollar sus estudios de proyección, estado de confort de tránsito y seguridad para vehículos y peatones, de evaluación de proyectos presentados ante la administración local mediante técnicas SIG.

5.6. Aplicaciones de los SIG y los nuevos conceptos.

Como hemos comentado, los SIG permiten combinar diferentes tipos de información en un único escenario, con el fin de evaluar el modo en el que interactúan y poder tomar una decisión integrada. Además, esto permite incluir nuevos conceptos y elementos que nos ayuden a conseguir una utilización del espacio más eficiente y sostenible, con mejor control y aprovechamiento de los recursos (económicos, materiales y personales) de los que disponga la administración.

Planteemos un primer caso en el que queramos evaluar la calidad de la circulación peatonal en nuestro ámbito local. A partir de una cartografía y datos que comprendan información como la ubicación de las calles, posición de los pasos de cebra, la existencia de rampas y sus características en dichos pasos, el ancho de las aceras (mínimo de tres metros); podemos abordar dicho análisis para la totalidad de nuestro territorio con relativa facilidad para desarrollar posteriormente programas de seguimiento que nos permitan conocer su estado y ayudar en su mantenimiento.

En la figura 5.14 podemos ver una representación de una sección de trama urbana que recoge dos cruces. Se puede distinguir fácilmente los pasos de cebra, sentidos de tráfico y rampas (cuadrados rojos). En la figura 5.15 se presenta como funciona el modelo de esquematización de la realidad que realiza el SIG en los que las aceras y pasos son sustituidas por líneas (links en el argot técnico) que llevan unidas a cada una de ellas tablas de información con las características: ancho, si son acera o pasos o rampa, etc. En la figura 5,16 podemos observar el resultado que obtendríamos al aplicar en este SIG de análisis peatonal: encontramos deficiencias en la red de desplazamiento peatonal que rompen la continuidad del tránsito de peatones e impedidos por el espacio.

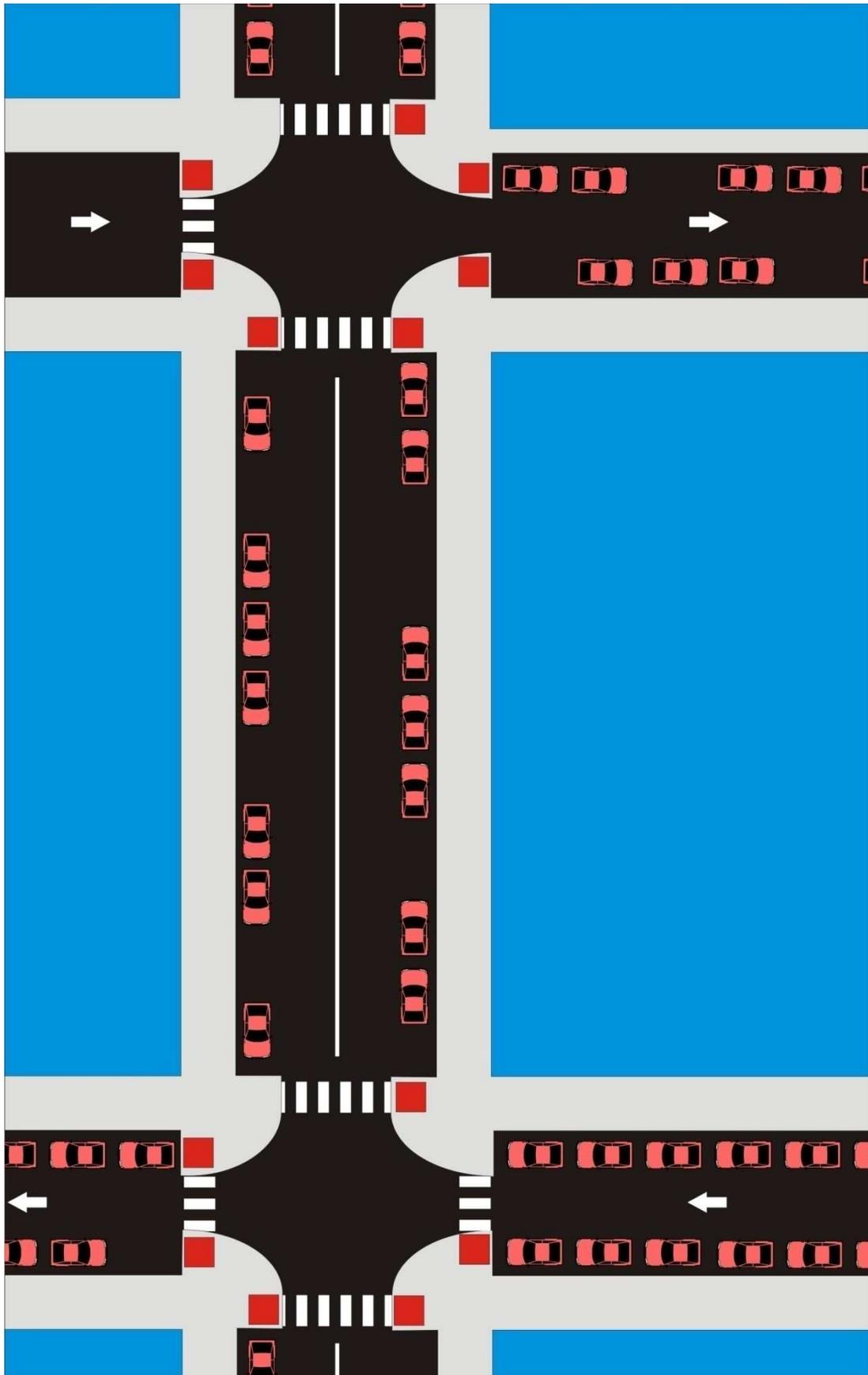


Figura 5.14: Plano de aceras, pasos de peatones y rampas.

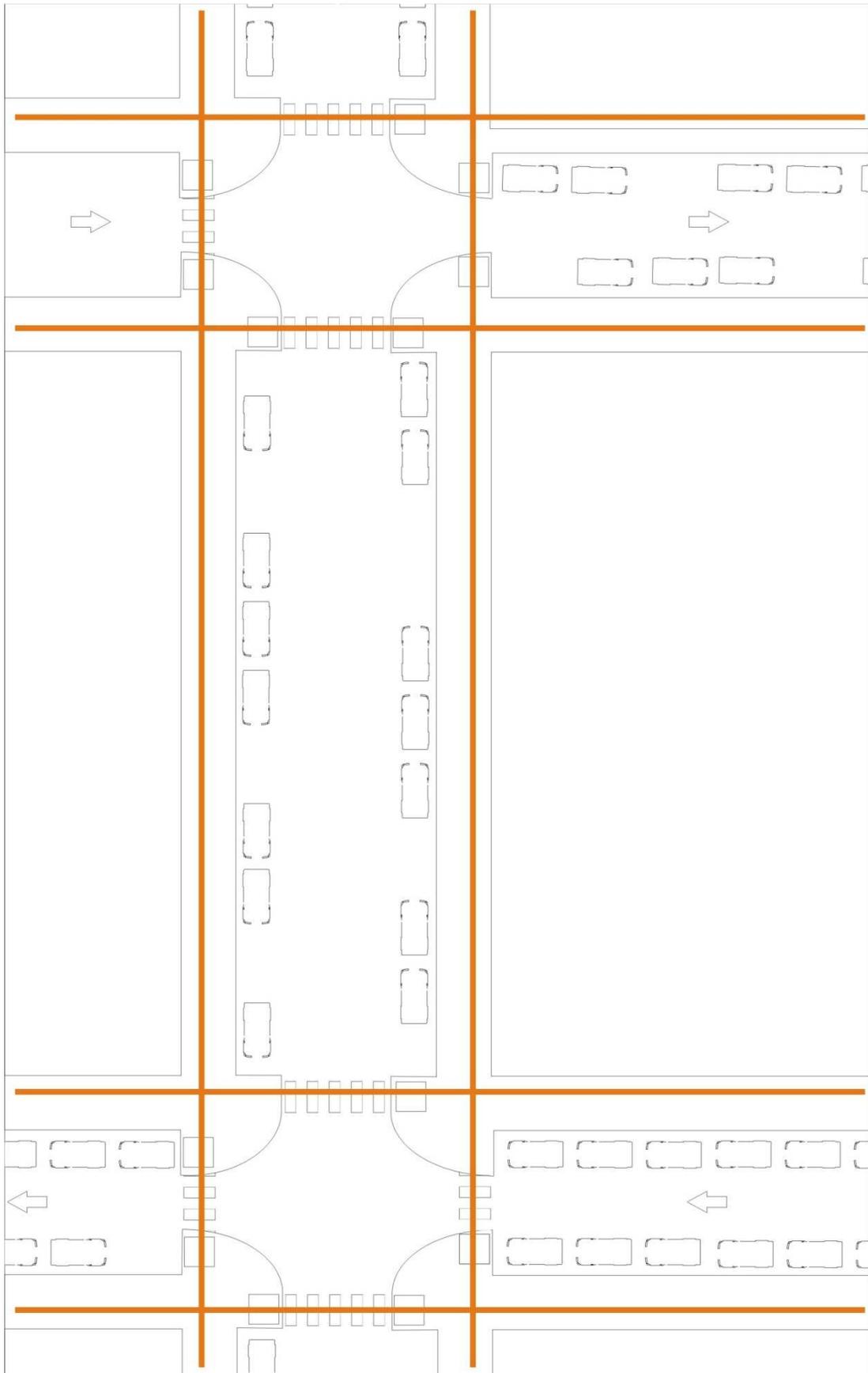


Figura 5.15: Esquematización de aceras.

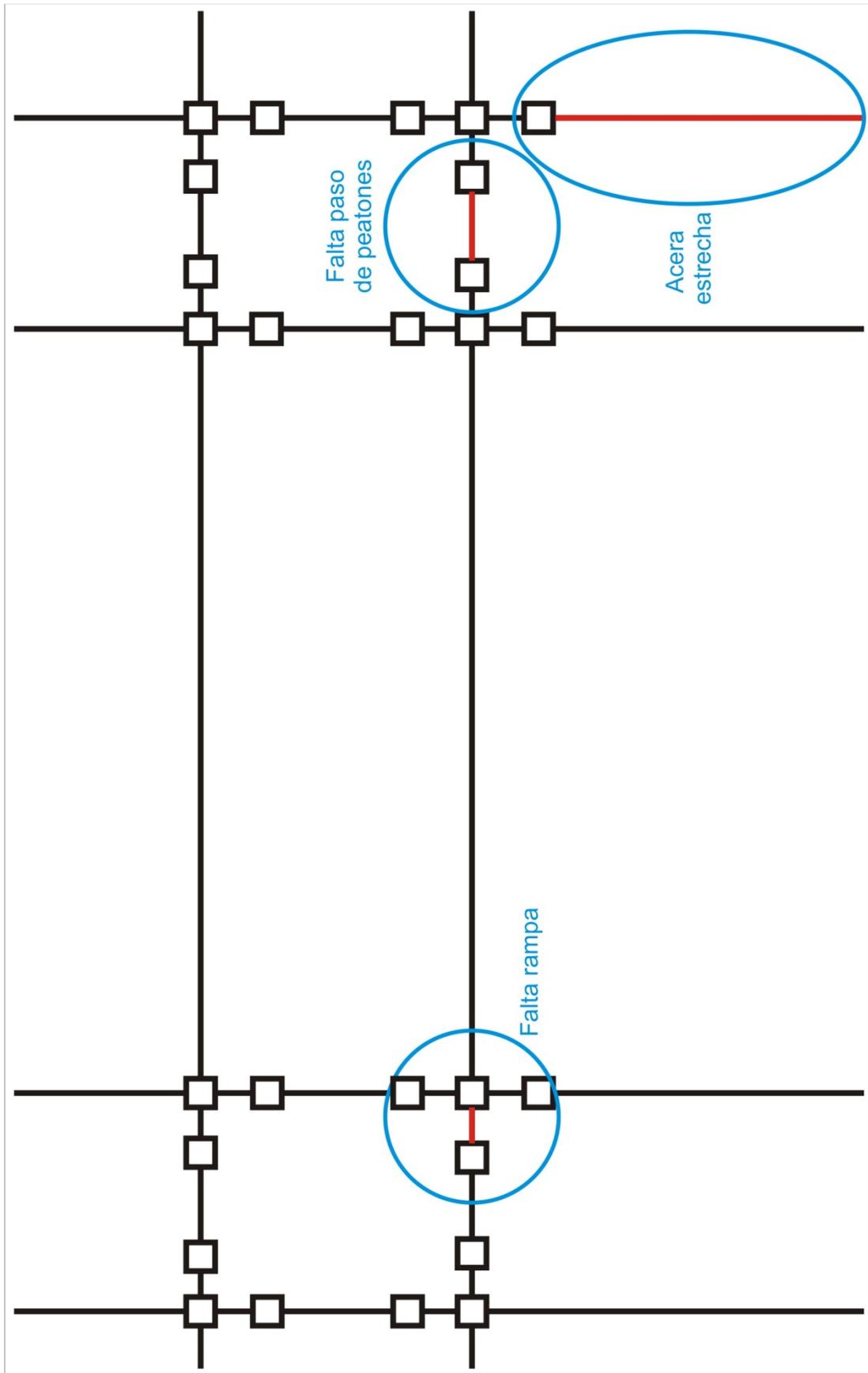


Figura 5.16: Resultado del análisis de movilidad peatonal.

De esta manera podemos evaluar la calidad de nuestra red peatonal en todo nuestro ámbito de estudio rápidamente, independientemente de su extensión y densidad, y averiguar cuales son las áreas que precisan de una actuación con mayor premura.

Desarrollemos ahora el estudio de la ubicación de las luminarias en nuestra misma zona de estudio. Con anterioridad hemos comentado lo adecuado de localizar las luminarias antes de los pasos de peatones, con el fin de que el peatón los pueda emplazar con facilidad y que los conductores pueden visualizar a los peatones con mayor facilidad y seguridad. Combinaremos de este modo tres elementos de la gestión local: tráfico, iluminación y peatones.

Para ellos partiremos de la figura 5.17, en la que nos encontramos de nuevo con nuestra sección de trama urbana en la que podemos ver ahora las luminarias en los laterales de las acera y mirando hacia las calzadas.

En la figura 5.18 tenemos una esquematización de la realidad donde podemos ver la representación mediante líneas de los viales y aceras junto al área de influencia, el área iluminada, por cada luminaria. Al introducir estos elementos como elementos georeferenciados y unidos a las tablas que describan sus características (si la línea es calzada y su sentido, una acera, paso de peatones, superficie de iluminación, etc) podemos obtener resultados como el que tenemos en la figura 5.19 en la que fácilmente vamos a poder localizar los pasos de peatones que no cumplen con los requisitos de iluminación que hemos planteado anteriormente (líneas rojas).

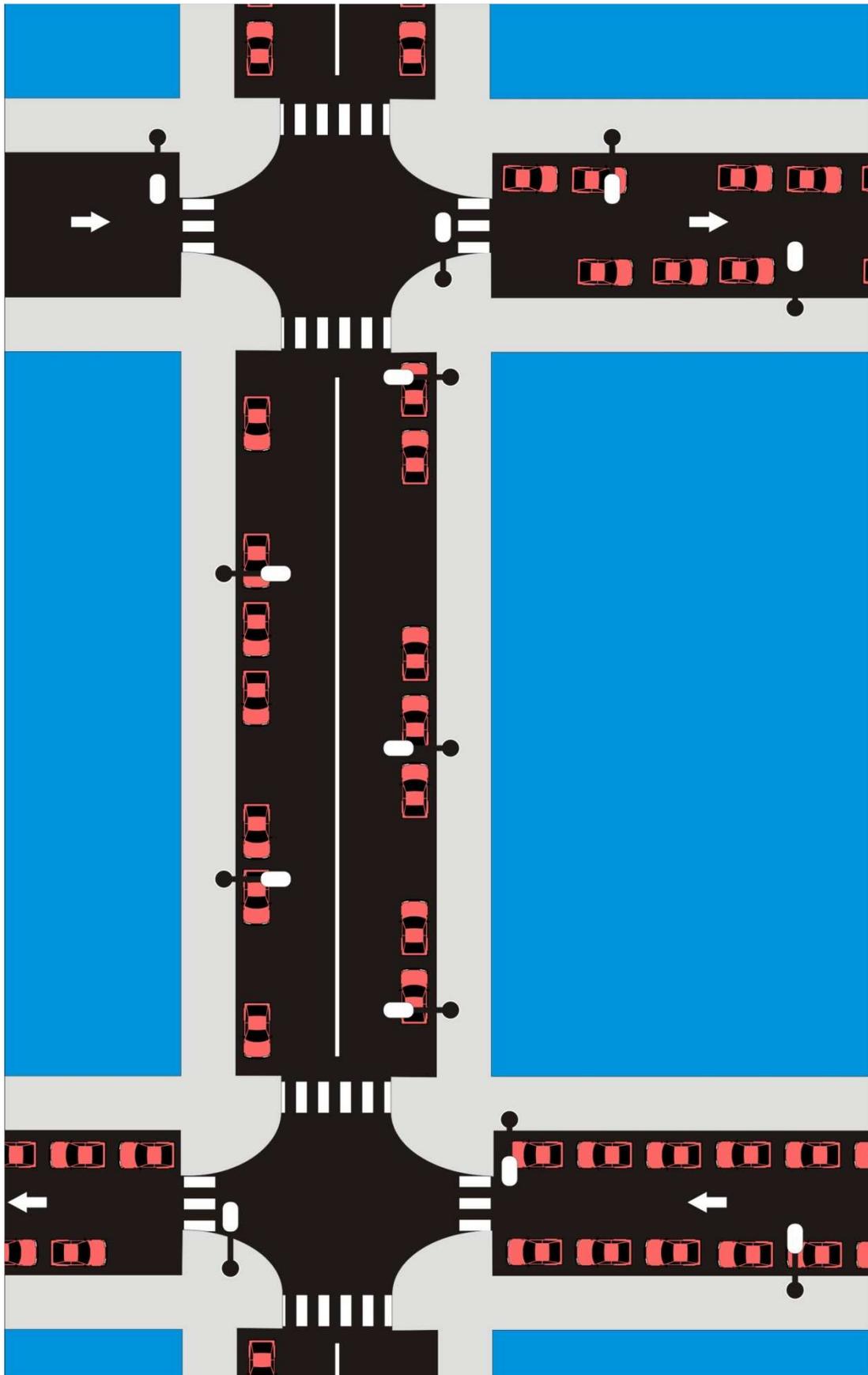


Figura 5.17: Plano de luminarias y paso de peatones.

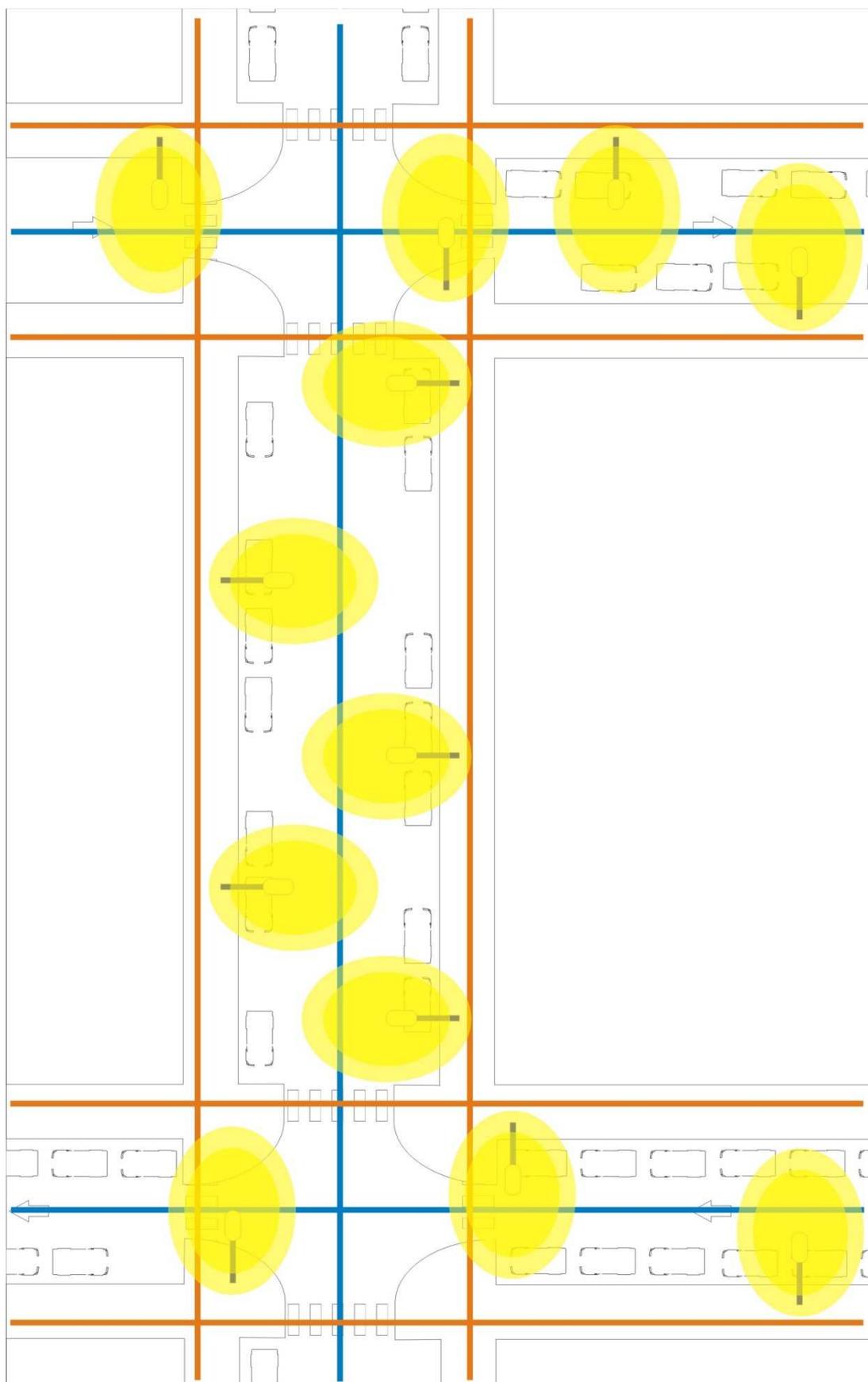


Figura 5.18: Esquematización de luminarias y paso de peatones.

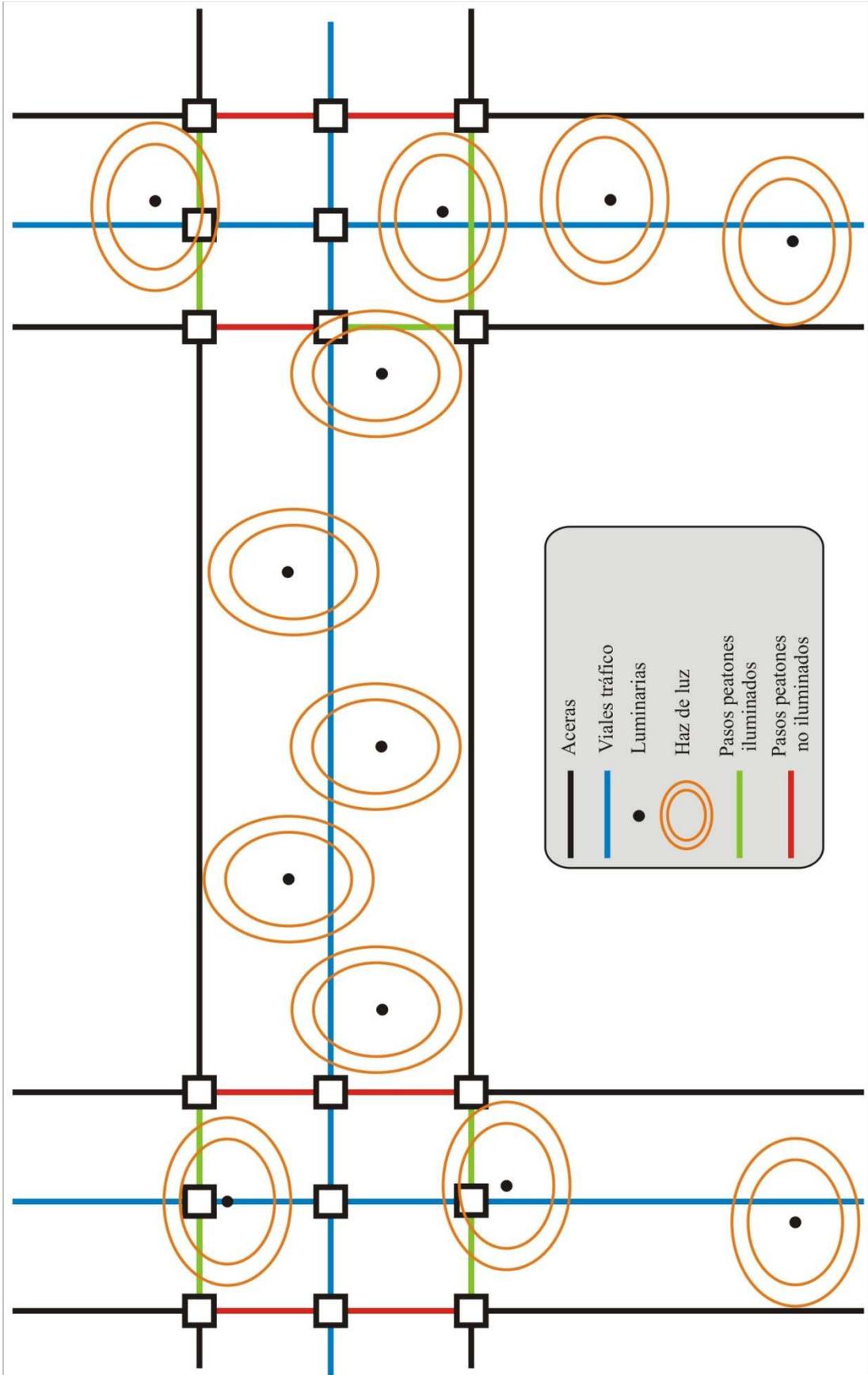


Figura 5.19: Resultado del análisis de luminarias y pasos de peatones.

Continuando con la interacción del tráfico y la seguridad con otros elementos observemos este caso en el que se valora las consecuencias de la localización de los contenedores de basura con el tráfico.

La ubicación de los contenedores de basura se suele hacer siguiendo una serie de criterios como la población, el volumen de residuos generados, el tipo de actividad, etc. Por otro lado, es fácil encontrarse, como gestor o como usuario, como conductor o peatón, que en ocasiones la disposición de los cruces y paso de peatones adolece de cierta seguridad por una falta de planificación, incluso en algunos caso un escenario bien planificado en inicio (calzadas y aceras) se estropea por una posterior modificación como puede ser el mobiliario urbano.

La utilización de información en tres dimensiones, que los SIG pueden utilizar, nos va permitir estudiar las consecuencias de la instalación de un contenedor de basura cerca de un cruce. En la figura 5.20 vemos el ángulo visual desde la calzada que se tiene del cruce justo antes del paso de peatones: el área roja representa el espacio ocultado por el contenedor. En la figura 5.21, visto en planta, podemos ver como incluso dificulta la visión del conductor de posibles coches en la otra calle. En la figura 5.22 vemos de nuevo la esquematización de la realidad de calzada y aceras junto a los polígonos que describen los ángulos visuales. La combinación de estas informaciones dentro del SIG nos ofrece la posibilidad de descubrir la existencia de obstaculizaciones de la visión (figura 5.23), tanto de peatones sobre el paso de peatones (línea morada) como de la presencia oculta de coches o peatones sobre la calzada del cruce (línea roja), debido a la localización de contenedores, permitiéndonos al mismo tiempo establecer la ubicación idónea para evitar este tipo de situaciones.

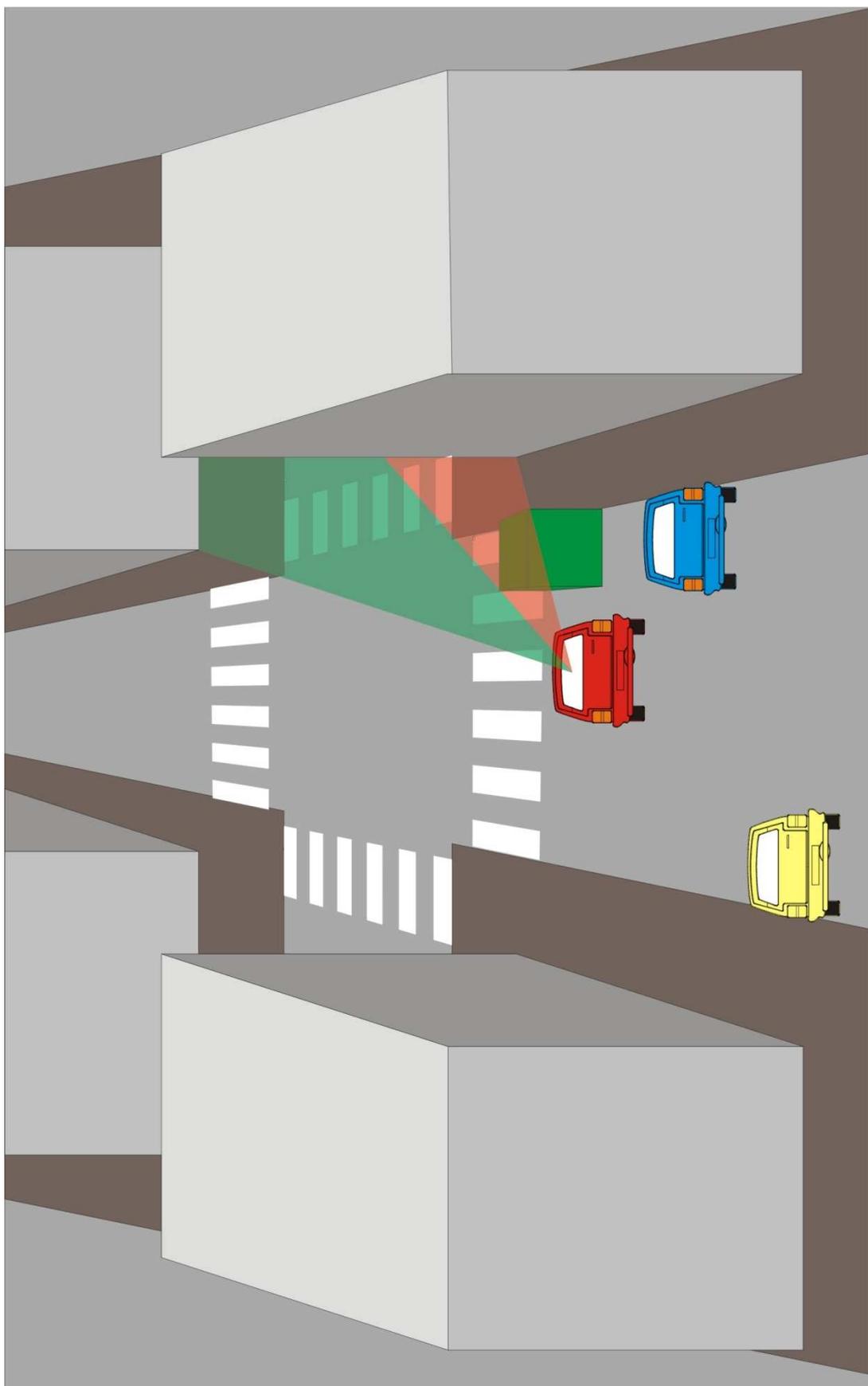


Figura 5.20: Representación en tres dimensiones de un cruce y la localización de contenedor de basuras.

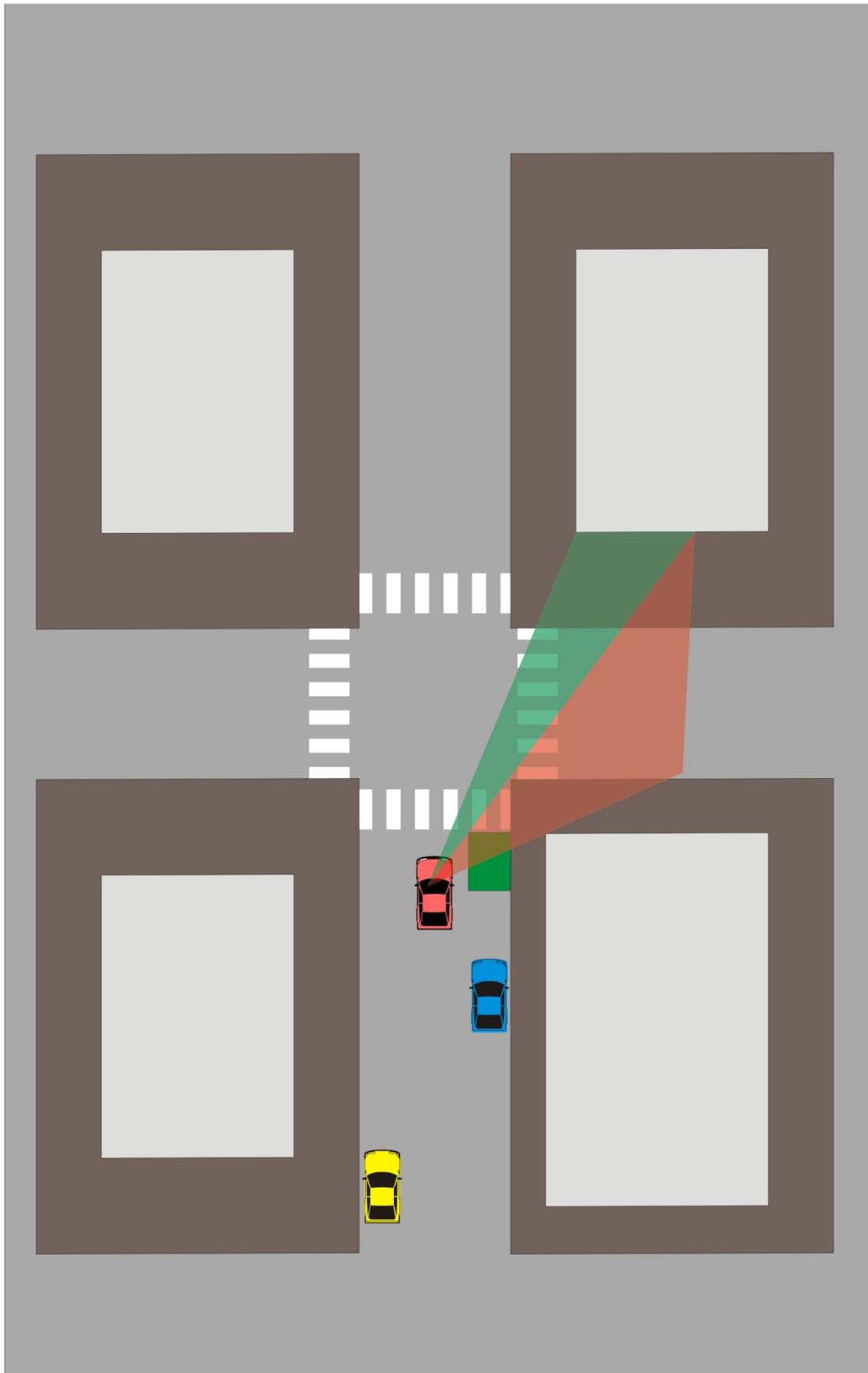


Figura 5.21: Plano de un cruce, la localización de contenedor de basuras y ángulo visual.

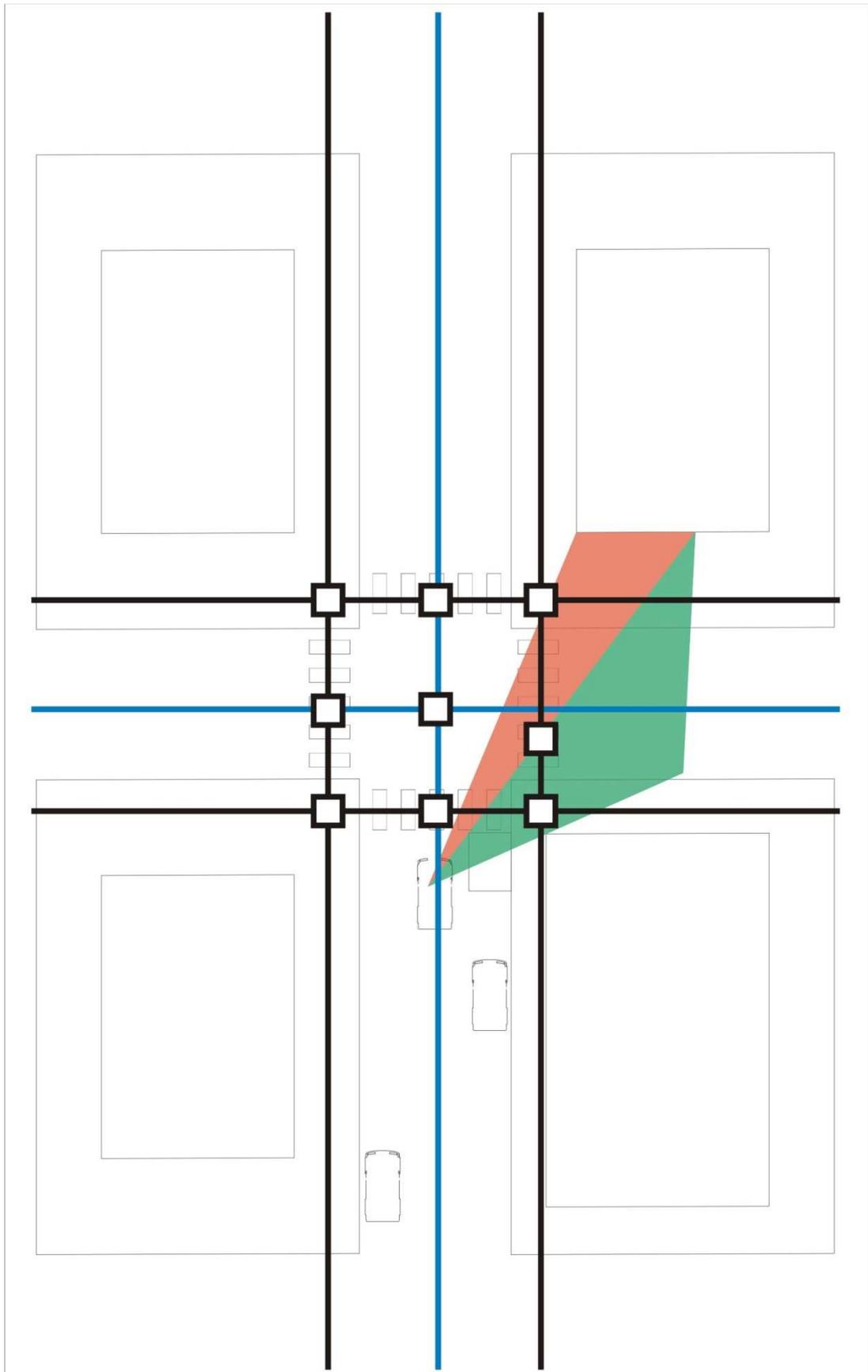


Figura 5.22: Esquematización de un cruce, la localización de contenedor de basuras y ángulo visual.

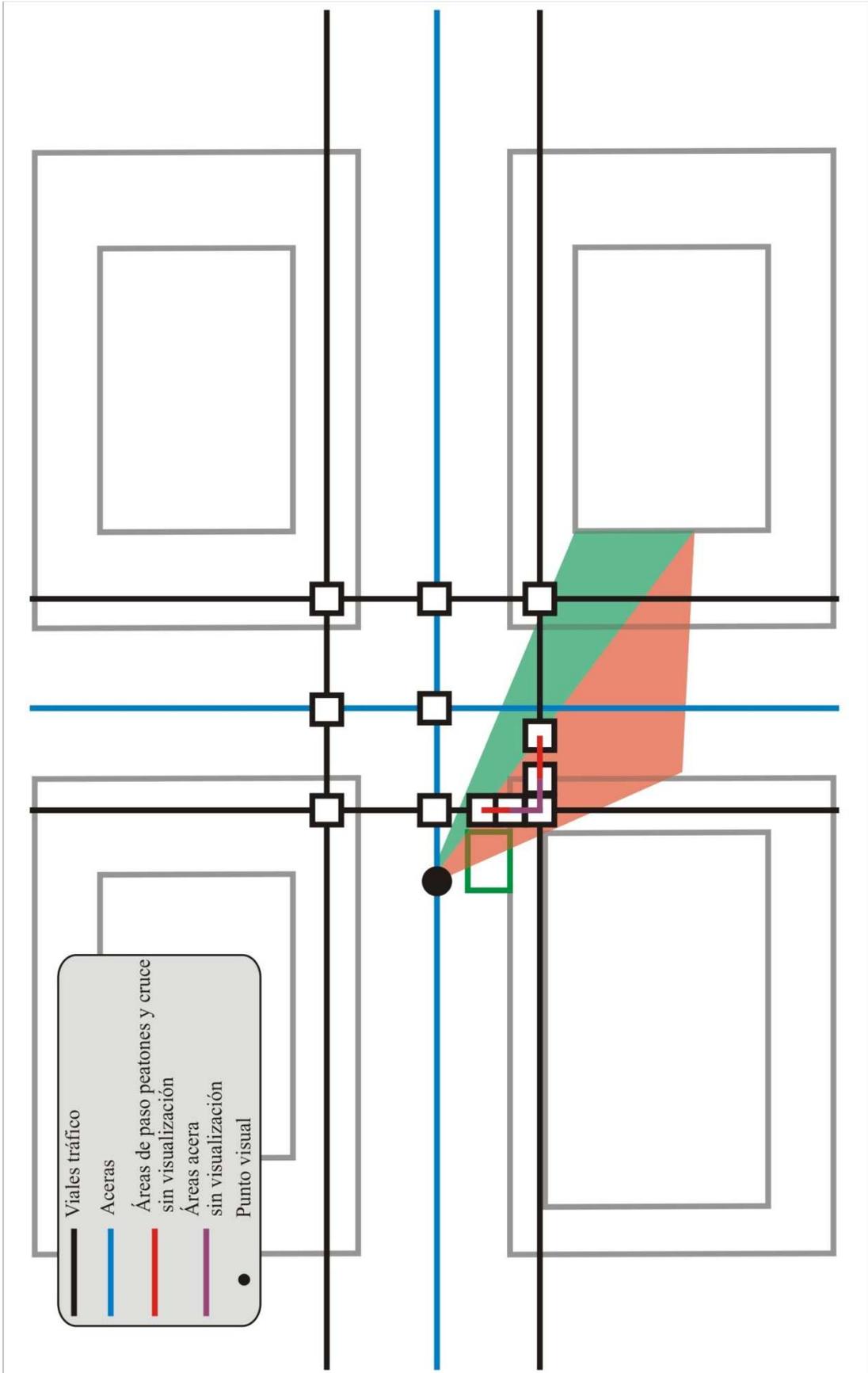


Figura 5.23: Resultado del análisis de un cruce y el ángulo visual.

Hemos comentado que la organización de la trama urbana y su orientación nos permiten predecir el comportamiento del ámbito urbano respecto al sol con el fin de aprovechar o evitar sus efectos. Son numerosos los estudios que existen al respecto. Sin embargo, vamos a presentar un caso de detalle para demostrar cual puede ser el nivel de prolijidad que podemos alcanzar con facilidad mediante la utilización de los SIG.

Volvamos al caso de la ubicación de los contenedores de basura orgánica. Es conocida la problemática que plantean dichos contenedores durante el verano, cuando el calor y la insolación producen desagradables olores. Otra vez con ayuda de las tres dimensiones, podemos ver en la figura 5.24 tres ubicaciones para contenedores junto con las sombras proyectadas a las 12:00 horas de un día de verano (en la figura 5.25 vemos la planta de esta situación). A partir de técnicas de análisis del SIG en tres dimensiones y de iluminación podemos averiguar cual de las posibles ubicaciones de los contenedores va estar dentro del polígono que representa la sombra (rectángulo verde oscuro) y por tanto va a sufrir en menor medida un calentamiento excesivo (figura 5.26). En el caso de contenedores móviles una vez encontrada la situación idónea se puede realizar el cambio, en el caso de contenedores subterráneos dicho estudio podría utilizarse para planificar su localización.

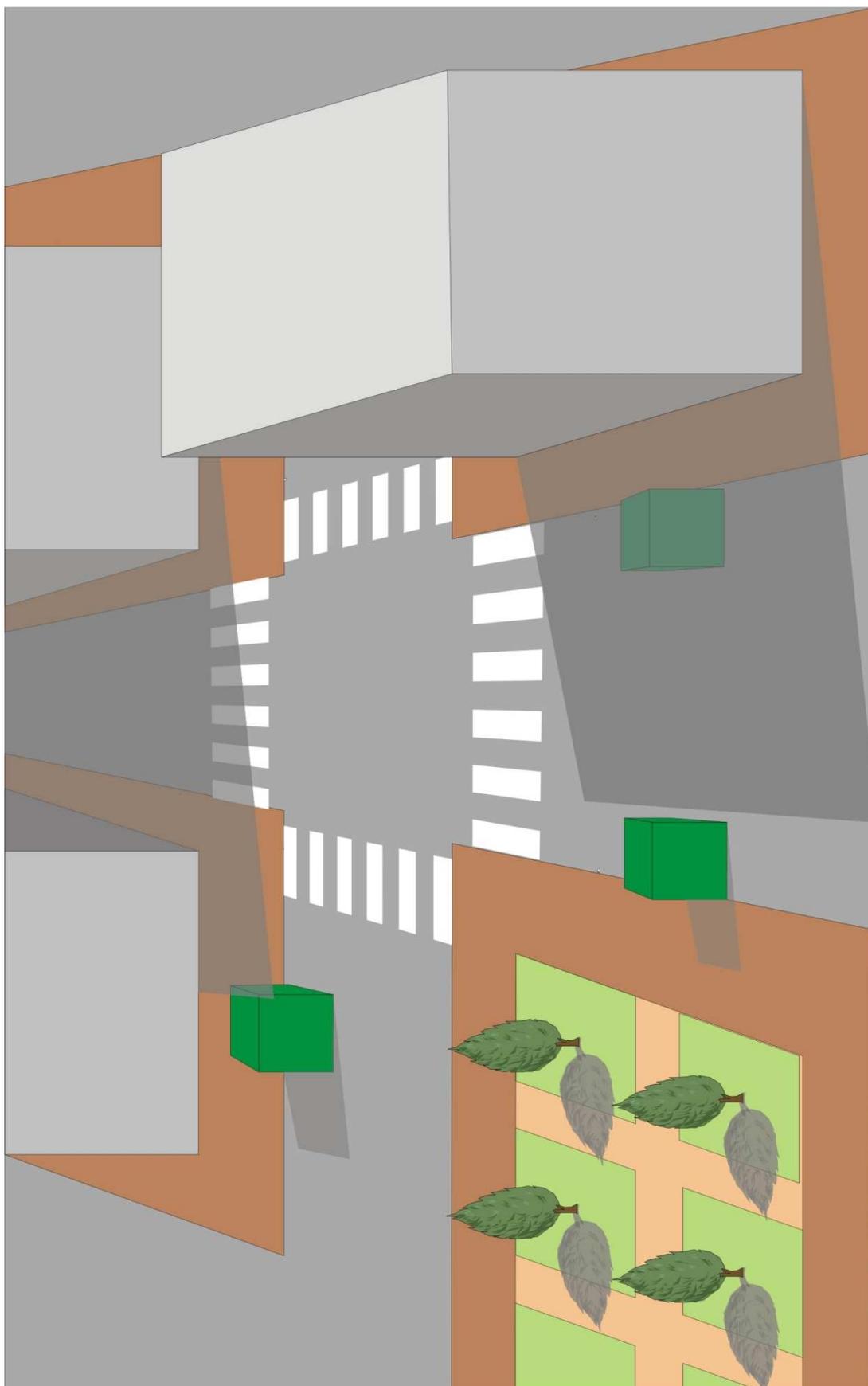


Figura 5.24: Representación en tres dimensiones de las sombras.

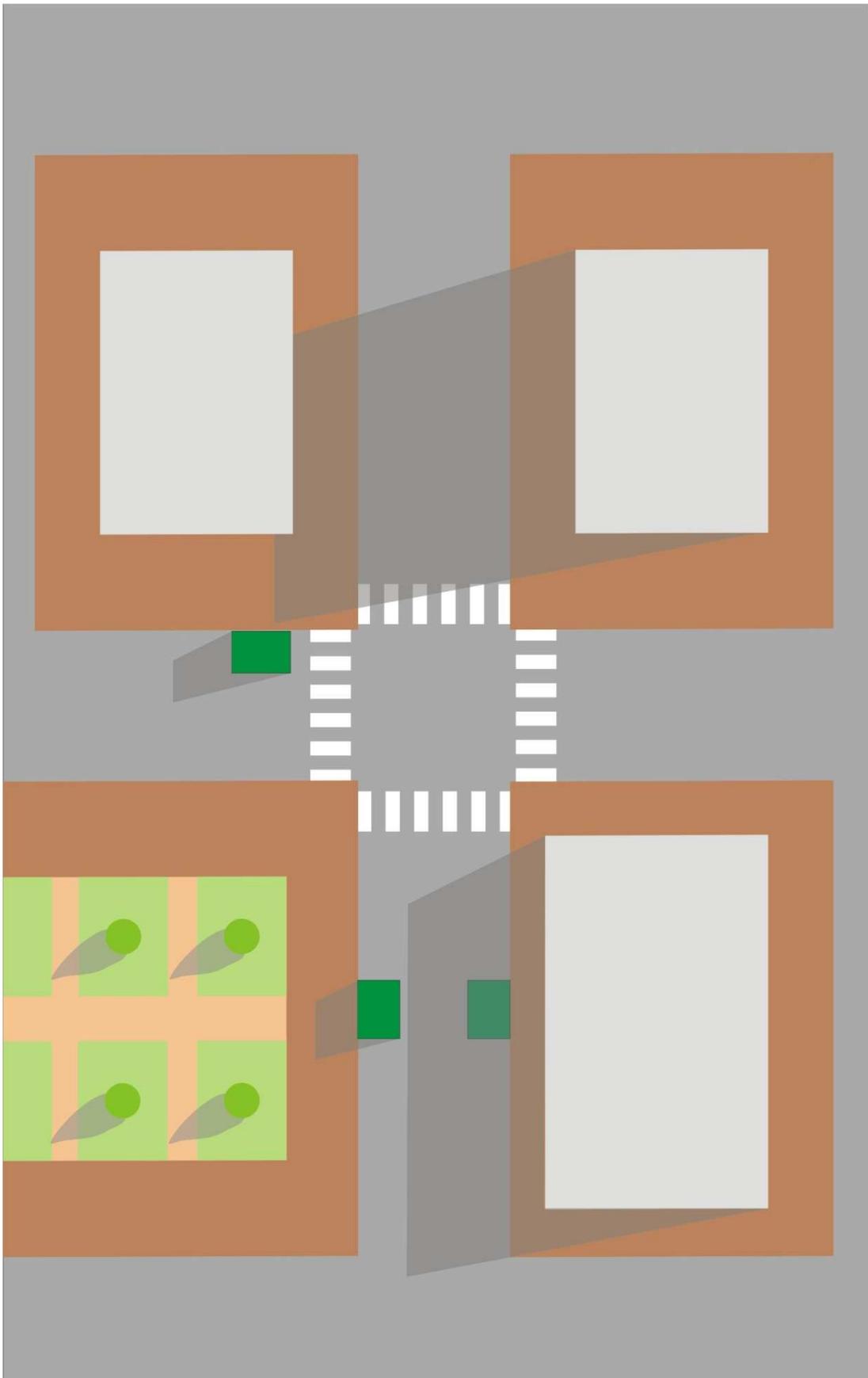


Figura 5.25: Plano de las sombras.

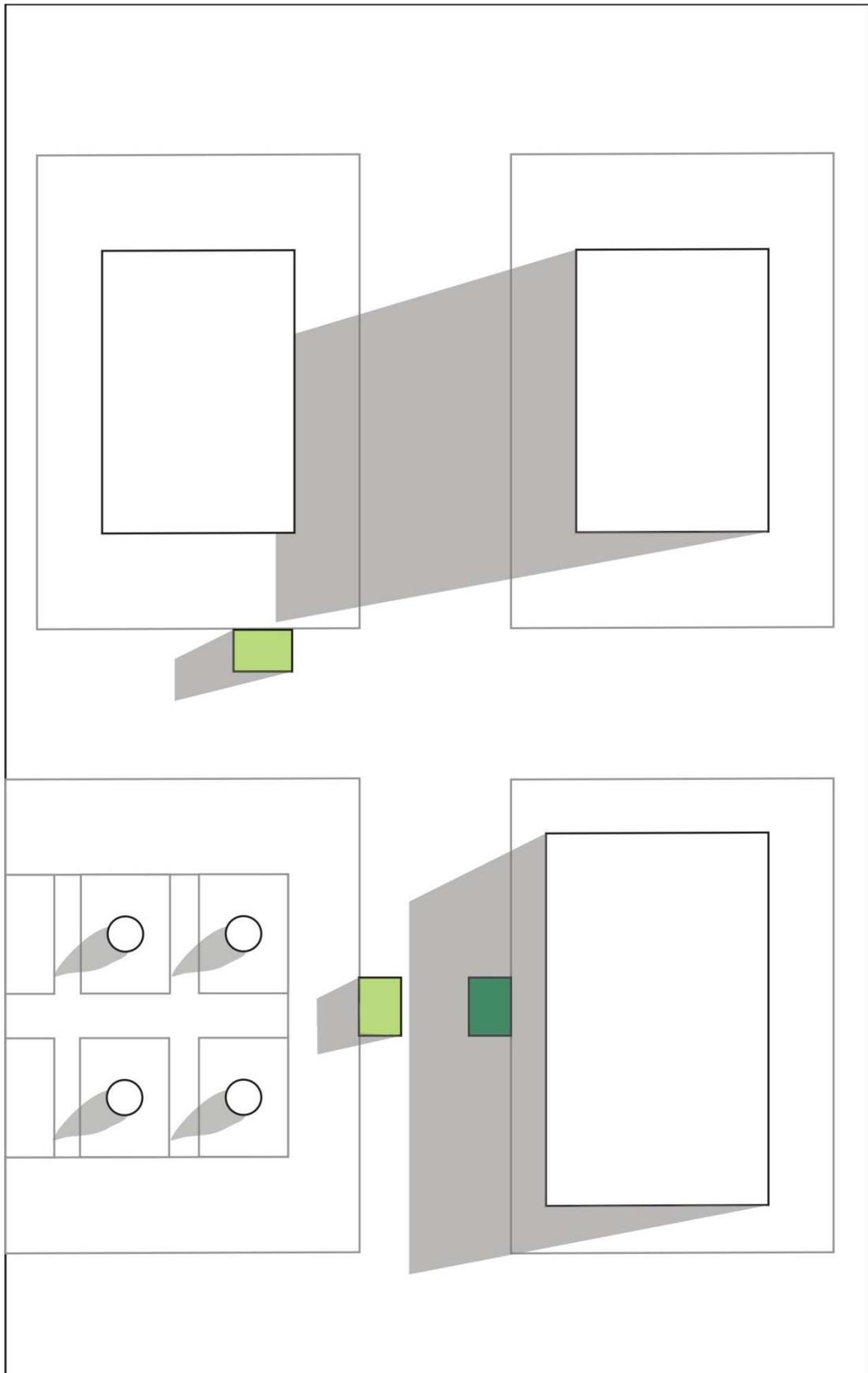


Figura 5.26: Resultado del análisis de las sombras.

6

Conclusiones

La administración local aborda diferentes elementos de la gestión del espacio: desde la gestión de residuos a la de jardines, pasando por la ordenación del tráfico. Aunque se pueden tratar como componentes diferenciados dentro de la administración local, el hecho es que todos estos componentes suceden y convergen dentro del mismo espacio. Por ello podemos ver como interactúan entre ellos, donde la modificación de uno supone cambios en los otros. No tener en cuenta este hecho supone un error dentro de la metodología empleada en la organización. Aunque, de un modo u otro, esta idea ya es conocida por las administraciones de cualquier tipo, la utilización de los SIG en la planificación de los espacios supone una gran ayuda, debido a que, por su capacidad “multidisplinar”, se adecúa perfectamente a este tipo de objetivo. Además, es especialmente relevante dentro de la administración local pues ésta trata varios aspectos de la ordenación del territorio dentro su ámbito; otras organizaciones públicas de mayor entidad territorial, que también hacen usos de los SIG, suelen estar centradas en algún aspecto de la ordenación únicamente.

Por otro lado, la administración local tiene un contacto muy cercano con la realidad que debe gestionar, por lo que surge como una fuente de análisis de gran calidad, de ahí la importancia de que dicha administración tenga la posibilidad de desarrollar dicha capacidad de estudio, con el fin de poder tomar decisiones con la mayor eficacia y calidad. Es evidente la capacidad de los SIG para abordar la planificación, pero además es una eficaz herramienta para el mantenimiento: estos dos hechos ofrecen la posibilidad de un mejor aprovechamiento y un ahorro de los recursos.

Aunque conseguir una gestión lo más eficiente posible ha sido siempre el objetivo de la administración, el aumento de la complejidad y del número de elementos que convergen dentro del espacio local obliga a tener un sistema que permita conocer perfectamente la ubicación y estado de cada uno de ellos. Además, se exige cada vez

más una mayor calidad y eficacia en la gestión; en la actualidad son numerosos los planes que pretenden desarrollar diferentes acciones en busca de una mayor eficacia y sustentabilidad en la gestión de los recursos en cualquier ámbito territorial. Este hecho refuerza la idea de un mayor conocimiento de los recursos, y también supone tener en cuenta conceptos poco o nada considerados hasta ahora.

El objetivo del presente texto ha sido exponer las ventajas de un escenario en el que se integran todos los elementos protagonistas en la gestión de los espacios locales, no sólo teniendo en cuenta los efectos secundarios de las actuaciones en cada uno de ellos, sino también estableciendo relaciones entre ellos con la ayuda de los SIG, en el que se podrían tomar decisiones de gran calidad, tanto en el cómputo general como en cada elemento del ordenamiento, junto a la posibilidad de desarrollar con gran facilidad de diferentes opciones en función de las variables preferencias o capacidades.

El contexto económico actual de crisis está obligando a las administraciones locales a hacer una gestión más eficiente de sus recursos, proyectando al exterior una imagen de austeridad y transparencia. La responsabilidad de gestión municipal vincula a gobernantes y gestores con los ciudadanos y la sociedad, y se deriva de las decisiones y actos relativos a la gestión de los recursos públicos. Utilizar recursos y gestionar los servicios conforme a la legalidad vigente y de forma que se logre ofrecer el máximo valor a cambio del gasto realizado constituye el campo de la responsabilidad de la gestión. El concepto así interpretado comprendería pues, no solamente la exigencia de honradez y cumplimiento de la legalidad en la utilización de los recursos (responsabilidad legal), sino también la exigencia de una gestión eficiente y eficaz de los servicios públicos (responsabilidad gerencial).

El empleo de metodologías y técnicas propias del mundo industrial dentro del sector público obliga a un nuevo rol y cambio de funcionar de las administraciones públicas. Los ayuntamientos cada vez se ven más obligados (entre otras estrategias) a gestionar mejor sus recursos, contener sus gastos, promocionarse más activamente,... lo que los asemeja en sus objetivos a una empresa privada. Siguiendo esta lógica deductiva, las administraciones locales han de asumir metodologías, técnicas y tecnologías propias del sector industrial, las cuales han demostrado ser herramientas de gestión muy eficientes.

La puesta en práctica de una perspectiva propia de la ingeniería industrial (técnicas de mantenimiento) y de la civil en general (SIG, análisis técnico-espacial, etc.) puede suponer un nuevo reto de futuro para las administraciones locales que han pasado a convertirse básicamente en entes gestores de sus recursos.

7

Referencias bibliográficas

7.1. Bibliografía analógica

ALONSO SARRIA (1996): “**Introducción a los Sistemas de Información Geográfica**”. Servicio de publicaciones de la Universidad de Murcia.

ALVAREZ LLORENTE & CORDERO MONTERO (2002): “**El SIG municipal como elemento integrador de información interdepartamental**”. Revista oficial de la Asociación de Ingenieros en Geodesia y Cartografía - Revista DATUM XXI, nº 2. Diciembre 2002. Madrid.

BALSA BARREIRO & BARCALA DOMÍNGUEZ (2007): “**Oportunidad y conveniencia de la elaboración de un Plan Estratégico en el municipio de Lalín (Pontevedra)**” Revista Descubriendo Deza. Concello de Lalín (En prensa).

BALSA BARREIRO & LERMA GARCÍA (2006): “**Aplicación de la tecnología del láser escáner aerotransportado (ALS) a la generación de modelos digitales urbanos**”. Topografía y Cartografía (En prensa).

BALSA BARREIRO (2006): “**Claves para reordenar el turismo**”. Rev. Noticiario Turístico, Nº 89, Marzo 2006.

BALSA BARREIRO (2006): “**Por un enfoque técnico-espacial de la gestión turística**”. Revista Turgalicia (trimestral), Nº 4, Abril-Julio 2006.

BALSA BARREIRO, J. & BARCALA DOMÍNGUEZ, R. (2007): “**Oportunidad y conveniencia de la elaboración de un Plan Estratégico en el municipio de Lalín (Pontevedra)**”. Revista Descubriendo Deza, nº 9. Anuario de Estudios e Investigación (pp. 327-364). Seminario de Estudios do Deza. Concello de Lalín (ISBN: 1139-7527/ D.L.: PO 7-99).

BALSA BARREIRO, J. (2006): “**Claves para reordenar el turismo**”. Rev. Noticiario Turístico, Nº 89, Marzo 2006 (ISBN: 1699-3675 / D.L.: C-609-1997).

BALSA BARREIRO, J. (2006): “**Por un enfoque técnico-espacial de la gestión turística**”. Revista Turgalicia (trimestral), Nº 4, Abril-Julio 2006 (ISBN: 1699-3667 / V.G.: 264-05).

BALSA BARREIRO, J. (2008): “**Análise para a implementación dun SIX co fin da xestión de servizos en calquera nivel da Administración. Particularización e aplicacións de mellora para o caso da Dirección Xeral de Turismo-Turgalicia (Consellería de Innovación e Industria)**”. Monografía nº9 (295 páginas). Ed. Escola Galega de Administración Pública. Santiago de Compostela (ISBN: C 4237-2008, D.L.: 978-84-453-4669-3).

BOSQUE SENDRA (1997): “**Sistemas de Información Geográfica**”. Editorial Rialp, Madrid.

BURROUGH & McDONNELL (2000): “**Principles of Geographical Information Systems**”. Oxford University Press, Oxford.

CHANTADA ACOSTA, ÁLVAREZ MONTERROSO & BALSA BARREIRO -colab.- (2006): “**Atlas interactivo de Santa Comba 2005**”. Ed. Jose Ramon Chantada Acosta. Santiago de Compostela. ISBN: 84-690-1503-6. Depósito Legal: C-3137-05.

CHANTADA ACOSTA, LÓPEZ BREGUA & CASCIANI SICARDI (2006): “**Atlas interactivo dos principios hotéis de Galicia**”. Ed. Jose Ramon Chantada Acosta. Santiago de Compostela.

COLL ALIAGA, IRIGOYEN GAZTELUMENDI, MARTÍNEZ LLARIO & SANZ SALINAS (2005): “**Introducción a la publicación de cartografía en Internet**”. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Ed. Servicio de Publicaciones de la UPV, Valencia.

COLL ALIAGA, PEÑARANDA ROS & GARCÍA CONZÁLEZ (2003): “**Sistemas de información geográfica y urbanismo**”. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Ed. Servicio de Publicaciones de la UPV, Valencia.

COLL et al. (2003): “**Sistemas de Información Geográfica. Apuntes y prácticas de ArcGis**”. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Ed. Servicio de Publicaciones de la UPV, Valencia.

GARRIDO PALACIOS, J. (2000): “**Aplicación geográfica de los SIG al estudio de la contaminación atmosférica en el ámbito local**”. Tecnologías geográficas para el desarrollo sostenible: IX Congreso del grupo de métodos cuantitativos, sistemas de información geográfica y teledetección. Asociación de Geógrafos Españoles. (pp. 608-622).

GÓMEZ LAHOZ (2004): “**Del 2D al 3D: Un salto cualitativo en cartografía**”. Departamento de Ingeniería Cartográfica y del terreno. Universidad de Salamanca. Salamanca, España.

GOULD & WALLACE (1994): “**Spatial structures and scientific paradoxes in the AIDS pandemic**”, Geografiska Annaler 76A. (pp. 105-116).

GOULD (1995): “**Spatiotemporal cartography and global diffusion**” Sistema Terra.

GOULD et al. (1991): “**AIDS: predicting the next map**”. Interfaces 21. (pp. 80-92).

GUTIERREZ PUEBLA & GOULD (1994): “**SIG: Sistemas de Información Geográfica**”. Ed. Síntesis, Madrid.

HAALA & BRENNER (1999): “**Extraction of buildings and trees in urban environments**”. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 54, (pp. 130-137).

HERRERO SILVESTRE, M., SÁEZ ESTEVE, A. & MORENO CLARÍ, P. (2004): “**Los sistemas de información geográfica. Las nuevas tecnologías aplicadas a la gestión del tráfico urbano**”. BIT nº146, Agosto-Septiembre 2004. (pp. 77-79).

LERMA GARCÍA (2002): “**Fotogrametría moderna: Analítica y digital**”. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Ed. Servicio de Publicaciones de la UPV, Valencia.

LERMA, M.J. & TORMOS, B. (2002): “**Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador**”. Departamento de Maquinas y Motores (CMT), Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicaciones de la UPV, Valencia.

LÓPEZ ROMERO, RODRÍGUEZ PASCUAL & ABAD POWER (2004): “**Normas y Estándares en el entorno de la IDEE**”. Congreso Nacional de Topografía y Cartografía - TOPCART, 19-22 Octubre 2004. Madrid, España.

LORENZO MARTÍNEZ, R. & RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, R. (2007): “**Cartografía. Herramienta para el desarrollo sostenible**”. Federación Galega de Municipios y Provincias (FEGAMP), Lalín (Pontevedra).

MACIÁN, TORMOS & OLMEDA (2007): “**Fundamentos de Ingeniería del Mantenimiento**”. Departamento de Maquinas y Motores (CMT), Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicaciones de la UPV, Valencia.

MONTILLA GÓMEZ, J.C., GALLARDO IZQUIERDO, A. & VIDAL NADAL, R. (2000): “**Diseño de un Plan de recogida de residuos sólidos urbanos utilizando tecnologías SIG**”. Mapping Interactivo, Marzo 2000.

OCHOA DE LA TORRA, J.M. (1999): “**La vegetación como instrumento para el control microclimático**”. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

OLGYAY, V (1998): “**Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanitas**”. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.

ROBINSON, SALE & MORRISON (1978): “**Elementos de cartografía**”. Ediciones Omega. Barcelona.

RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, R. & RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ, F. (2004): “**El desarrollo local en su complejidad. Dialogo entre actores locales y protagonismo del territorio**”. IV Jornadas del grupo de

Desarrollo Local de la Asociación de Geógrafos Españoles (AGE). Lalín-Santiago de Compostela, 9-10 de Diciembre de 2004.

SELLERS BERMEJO & ALVAREZ LLORENTE (2002): “**Definición de un modelo de datos para la implementación de un SIG Municipal**”. Departamento de Información Geográfica. Servicio de Urbanismo. Excmo. Ayto de Cáceres.

TABOADA GONZÁLEZ. & COTOS YÁÑEZ (2005): “**Sistemas de información medioambiental**”. Ed. Netbiblo. Madrid.

TOMÁS CARPI, J.A. (2005): “**Estado y tendencias de la Agenda 21 Local**”. Instituto Mediterráneo de Desarrollo Sostenible (IMEDES), Valencia.

VVAA (2003): “**Liderazgo y representación política en los entes locales**”. Ponencias presentadas al I Seminario Pensando lo local en un nuevo siglo. Granada, 20-21 de Febrero 2003.

VVAA (2009): “**Residuos sólidos urbanos (RSU): Comparados los sistemas de recogida y gestión de 18 ciudades**”, Revista Consumer Eroski, nº132, Mayo 2009.

7.2. Bibliografía web [Acceso común a todas las entradas: 25/VII/2009]

<http://www.aem.es>

<http://www.caliper.com/transmodeler>

<http://www.catastro.meh.es>

<http://www.esri.com>

<http://www.gabrielortiz.com>

<http://www.geoinfo.uji.es>

<http://www.gva.es>

<http://www.idee.es>

<http://www.inap.map.es>

<http://www.lighting.philips.com>

<http://www.mappinginteractivo.es>

<http://www.myswitzerland.com>

<http://www.upv.es/cgf>

<http://www.wikipedia.com>

<http://www.xunta.es>