

## LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: concepto, ventajas y posibilidades en el campo de la restauración

Ana Elena Seguí, Cristina Portalés, Miriam Cabrelles y José Luis Lerma\*



Ortoimagen de la Puerta Románica de la Catedral de Valencia

**Palabras clave:** SIG, documentación, base de datos, mapas temáticos, gestión de datos

Los trabajos de restauración y conservación arquitectónica requieren labores de documentación y gestión que se pueden almacenar de forma ordenada en un sistema informático que permite una gestión eficiente e independiente tanto de la naturaleza de los datos como de sus formatos (imágenes, planos, textos, etc.). Este artículo revisa la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como instrumento óptimo de gestión al poder integrar eficazmente datos gráficos y alfanuméricos. Estas herramientas se han utilizado principalmente en los campos de la geografía, la geología, la arqueología y la topografía. Sin embargo, el desarrollo imparable y la capacidad de difusión y de gestión que brindan estos sistemas, han abierto las puertas a nuevas áreas de entre las que destaca el ámbito de la arquitectura.

*Keywords:* GIS, documentation, data base, thematic maps, data management

*Geographic Information Systems: concept, advantages and possibilities in the field of restoration.* Architectonic restoration and conservation works require documentation and management tasks that can be stored in an orderly manner in an information system that permits efficient and independent management both of the nature of the data and its formats (images, plans, texts, etc.). This article reviews the technology of Geographic Information Systems (GIS) as an optimal management tool as it can successfully integrate graphic and alphanumeric data. These tools have mainly been used in the fields of geography, geology, archaeology and topography. Nevertheless, the inexorable development and diffusion and management capacity that these systems possess have opened the doors to new areas, especially in the realm of architecture.

\* Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE). Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Universitat Politècnica de València

Las tareas de restauración y conservación arquitectónica requieren de un estudio previo del estado actual del edificio o monumento considerado. En múltiples ocasiones, los datos de los que se dispone son muy variados, tales como documentos históricos, información arqueológica, análisis químicos de la piedra o pigmentos, dibujos y planos, fotografías en blanco y negro, en color o en infrarrojo, termografías, radargramas, etc. (fig. 1). Una correcta administración de estos datos es esencial para la planificación y seguimiento de los trabajos necesarios, sobre todo cuando se trata de proyectos de gran envergadura, ya sea por las dimensiones, por la complejidad constructiva particular de cada época y/o por el valor histórico-artístico. Las nuevas herramientas informáticas, cada vez más potentes y accesibles, constituyen hoy en día una solución necesaria en cualquier proyecto de estas características. Dentro de éstas destacan los SIG, ya que no solo permiten la óptima gestión de los datos procedentes de distintas fuentes, sino que además lo hacen relacionándolos unos con otros de acuerdo a su localización real, permitiendo generar nuevos datos, análisis e informes (estadísticos, mapas temáticos, etc.).

Aunque los SIG ofrecen grandes beneficios en proyectos arquitectónicos de restauración y conservación, actualmente los trabajos de esta naturaleza que hacen uso de los SIG pertenecen principalmente al ámbito de la arqueología. Los investigadores de este campo son conscientes de la importancia que tiene el uso de tecnologías modernas de documentación y medición en sus trabajos, entre otros, la fotogrametría y la teledetección y, por supuesto, los SIG como programas capaces de gestionar datos procedentes de distintas fuentes, que permiten además su

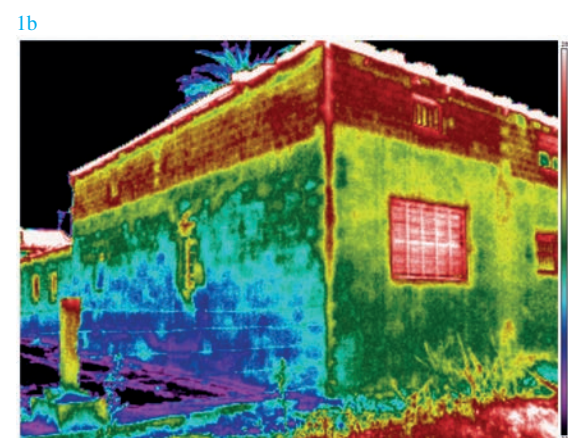
edición y la generación de nueva información. Por ejemplo, los datos arqueológicos e históricos de las transformaciones sufridas por el sistema romano de carreteras en el valle Aosta (Italia) entre los tiempos romanos y la edad medieval se gestionaron en un SIG<sup>1</sup>. Diferentes grupos de trabajo recogieron datos de índole variada dando como resultado un conjunto de información heterogénea, con distintos formatos y propósitos, que eventualmente se gestionaron en un SIG. En el sitio arqueológico de Jerash (Jordania) se propuso un SIG para la excavación de la ciudad con el propósito de integrar datos procedentes de distintas tecnologías, como son el GPS, la teledetección, la fotogrametría e instrumentos clásicos de medición. Se evaluó la expansión de la urbe alrededor del casco antiguo a partir de la superposición de capas creadas a partir de fotografías aéreas e imágenes por satélite, tomadas con una diferencia cronológica de dos décadas<sup>2</sup>. En la antigua ciudad de Elaiussa Sebaste (Turquía) se elaboró igualmente un SIG cuya finalidad es la administración de la información recogida en la excavación en una base de datos con capacidad de discriminar las distintas fases de los edificios y la evolución histórica de la ciudad mediante el estudio y la superposición de diversas capas temáticas y su cronología<sup>3</sup>.

En los apartados siguientes se realiza un estudio más detallado de los SIG, dado que son herramientas que se han venido desarrollando y utilizando desde hace varias décadas, siendo actualmente sistemas muy versátiles, eficaces y robustos. El conocimiento de las capacidades y de los beneficios de los SIG en comparación con otros programas informáticos ayudará a apostar por esta tecnología en el trabajo diario de la conservación y la restauración.

1. Diferentes tipos de imágenes manejadas en las labores de documentación de un edificio: a. Visible (en color); b. Infrarrojo térmico (en falso color)



1a



1b

## PRINCIPIOS DE LOS SIG

### ¿Qué es un SIG?

Los Sistemas de Información Geográfica son paquetes informáticos diseñados para capturar, almacenar, actualizar, manipular, analizar y visualizar datos georreferenciados geográficamente<sup>4</sup>. Los SIG surgieron a finales de la década de los años 60. Parten, por un lado, de los sistemas de simulación y modelado de disciplinas tales como la ecología o la planificación territorial y urbanística, y por otro, de los grandes sistemas de información estadística y geográfica<sup>5</sup>. Sin embargo, su conocimiento no se expandió, ni su uso se generalizó, hasta que tuvo lugar la implantación masiva de ordenadores en los años 90. La evolución progresiva de los SIG está ligada al progreso tecnológico, viéndose marcada fundamentalmente por los avances que se van introduciendo en el ámbito de la informática y de los microprocesadores<sup>6</sup>.

El término SIG se ha utilizado generalmente en aplicaciones de tipo territorial<sup>7</sup>, donde el concepto “geográfica” va ligado a un sistema de referencia de coordenadas reconocido, que por su carácter general conlleva una deformación geométrica. Por ello, en el área del patrimonio cultural a veces se utiliza el término Sistema de Información Espacial (SIE), cuya componente “espacial” se expresa en un sistema de coordenadas local, o Sistema de Información Arquitectónica (SIA), que particulariza los SIG a aplicaciones del ámbito de la arquitectura. En este artículo se hará referencia a los SIG en su concepción más general, teniendo en cuenta que la herramienta puede particularizarse para cada proyecto.

Los SIG permiten identificar relaciones espaciales entre las distintas informaciones alfanuméricas que contienen sus “datos geográficos”. Un SIG no guarda la información de un mapa/plano de forma convencional, sino que almacena los da-

tos para crear la representación adecuada a un propósito específico generando así nuevos mapas/planos mediante las potentes herramientas de análisis que el sistema proporciona<sup>8</sup>. De este modo, quedan excluidas las definiciones de SIG como sistemas CAD o bases de datos. Así pues, un SIG debe contar con las funciones básicas siguientes<sup>9</sup>:

- Sistema de representación gráfica que visualice los datos espaciales, utilizando preferiblemente librerías gráficas estándar.
- Base de datos que gestione de forma sencilla los datos alfanuméricos y gráficos referentes a un espacio físico. En general, la base de datos debe ser relacional, con capacidad de almacenaje de elementos multimedia (imágenes, sonidos, etc.), y preferiblemente orientada a objetos.
- Base de datos que posibilite relaciones espaciales y topológicas<sup>10</sup>. La capacidad de crear relaciones topológicas entre entidades gráficas es posiblemente el elemento característico fundamental de los SIG.
- Sistema de acceso selectivo, por ejemplo, mediante lenguaje SQL.
- Sistema de generación de cartografía automática a partir de consultas y simulaciones.
- Sistema de generación de documentación alfanumérica formado por listados, fichas e informes a partir de consultas y simulaciones.
- Lenguaje de alto nivel que permita la realización de aplicaciones a medida.
- Sistema de intercambio de datos (importación/exportación)

### Estructura de la base de datos de un SIG

Los SIG constan de una base de datos y de un sistema de representación gráfica. Los SIG se pueden construir sobre una base de datos que cuente con algún tipo de sistema de representación gráfico, o viceversa, mediante un sistema CAD al

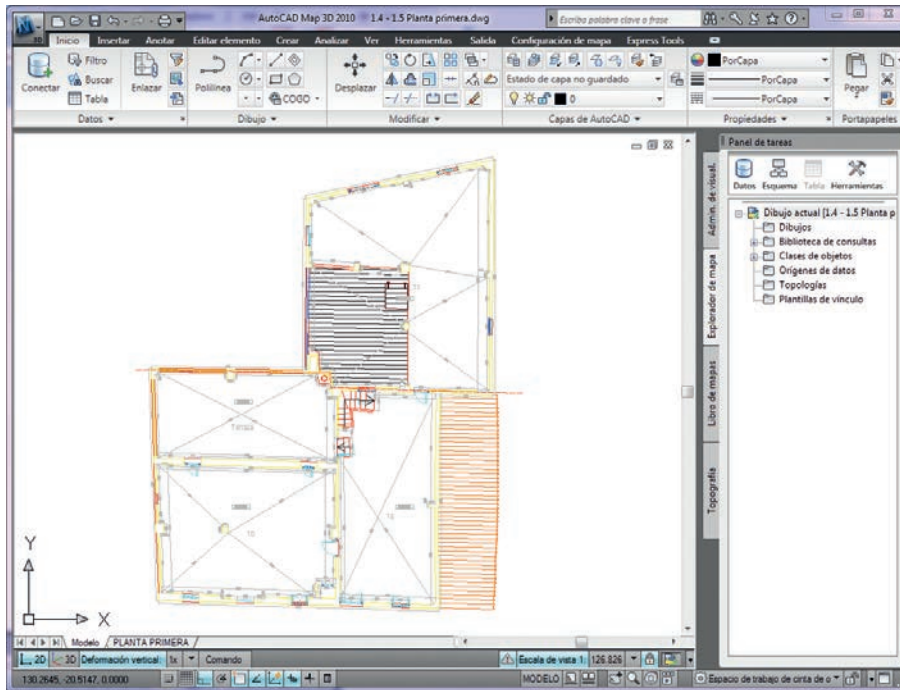
que se le asocian unas tablas de datos o se relaciona con una base de datos<sup>11</sup>, (fig. 2). La información contenida en la base de datos se presenta al usuario mediante representaciones gráficas, y puede crearse en el tiempo de consulta a la base de datos. Estas representaciones gráficas pueden tener forma de mapas, histogramas, diagramas de barras, listados, tablas, fichas, etc. Además, las entidades gráficas pueden tomar diferentes formas y colores en función de la consulta realizada a la base de datos, siendo ésta una de las principales diferencias entre los SIG y los CAD. En los CAD, las entidades gráficas toman su representación de los atributos gráficos propios, por lo que almacenan datos de forma fija, en contraste a los datos dinámicos que generan los SIG.

Existen dos formas de codificar los datos espaciales en los SIG: formato vectorial y formato ráster<sup>12</sup>. Éstos se diferencian en la manera en que se conceptúa, almacena y representa la localización espacial de los objetos. A continuación se describe con más detalle estos dos tipos de datos.

**Los datos de tipo vectorial** se definen a partir de coordenadas. Este modelo de datos, que almacena la información mediante formas discretas, básicamente puntos, líneas y polígonos, suele utilizarse para el almacenamiento de datos con un emplazamiento espacial bien definido. Los atributos<sup>13</sup> pertenecientes a los datos individuales se almacenan en una base de datos alfanumérica externa.

Al tratar con datos vectoriales un concepto importante es la topología, que define las relaciones espaciales entre los distintos elementos gráficos<sup>14</sup>. La topología es muy útil en SIG porque muchas operaciones espaciales sólo requieren de las relaciones topológicas entre los distintos objetos, no de las coordenadas. Por ejemplo, encontrar el camino óptimo entre dos puntos sólo requiere de un listado de ar-





2. Ejemplo de un CAD con una base de datos asociada.

cos interconectados y el costo de recorrer cada arco en cada dirección<sup>15</sup>. Las coordenadas sólo son necesarias para representar el camino una vez calculado. Otro uso habitual de la topología es la detección y corrección de errores de digitalización.

En los datos de tipo ráster, la representación espacial y los atributos no espaciales se mezclan en un solo fichero de datos. En la práctica, el área de estudio se cubre de un mallado o rejilla de celdas (organizadas en filas y columnas), de manera que para el centro de cada celda se registra el valor del atributo de interés. Hay que destacar que algunos modelos ráster soportan la asignación de múltiples atributos por celda, mientras que otros asignan estrictamente un solo atributo<sup>16</sup>.

Con este modelo, los datos de un espacio continuo se dividen en unidades discretas, donde cada celda se referencia por la posición de su fila y de su columna en la rejilla. Para georreferenciar o fijar la posición espacial de toda la rejilla, se asignan coordenadas a sus cuatro esquinas. Para ello es importante conocer la resolución espacial del ráster, que establece el tama-

ño de las celdas de la rejilla en el terreno. A mayor resolución espacial (menor tamaño de rejilla), más nivel de detalle y más se aproxima la representación ráster a la realidad. Sin embargo, conviene tener presente que un tamaño de celda menor lleva asociado un requerimiento de almacenamiento mayor y tiempos de procesamiento más largos.

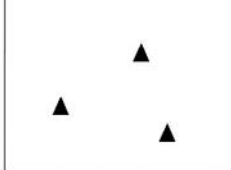
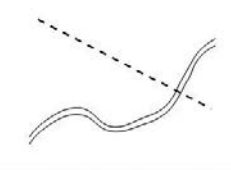
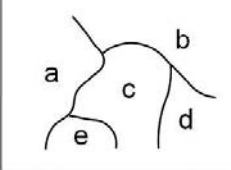
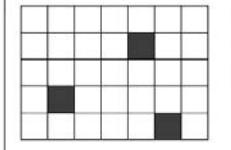
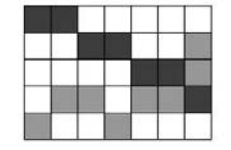
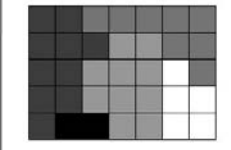
A diferencia del modelo vectorial, en el modelo ráster no hay relaciones topológicas implícitas en los datos, ya que no se registran elementos espaciales de forma individual, sino el comportamiento de los atributos en el espacio (fig. 3).

### Funciones de un SIG

Los SIG han heredado multitud de funciones de los sistemas a partir de los cuales han evolucionado. Los SIG de propósito general son los que cuentan con un mayor número de funciones; en algunos casos de dudosa utilidad, ya que probablemente responden a alguna necesidad concreta de uso poco habitual<sup>17</sup>. Dependiendo de los distintos paquetes informáticos, los SIG pueden contener distintas

funciones. Sin embargo, se puede enumerar una serie de funciones generales que contemplan la mayoría de los SIG existentes hoy en día:

- Funciones de captura y organización de datos: digitalización; filtrado de líneas; transformación de coordenadas; localización de errores; georreferenciación; gestión de tablas; borrado selectivo; creación de topologías; creación de mapas ráster a partir de temas vectoriales; vectorización de mapas temáticos ráster; tratamiento de imágenes; corte y unión de redes de polígonos y arcos; etc.
- Funciones de gestión de tablas alfanuméricas: localización de datos mediante consultas SQL; creación y modificación de la estructura de una tabla; indexado; relación y unión lateral; añadir registros de otra tabla; etc.
- Funciones de documentación.
- Funciones de análisis espacial: análisis de área de influencia; intersección de polígonos; creación de mapas temáticos; localización y selección de entidades (inclusión, proximidad); agrupamiento y clasificación; polígonos de Thiessen; etc.

	Puntos	Líneas	Áreas
Vectorial			
Ráster			

### Factores esenciales en la implementación de un SIG

La implementación de un SIG no siempre es una tarea sencilla, ya que no existen soluciones generales en términos de estructuras lógicas de datos o herramientas de investigación. La recolección de los datos y su gestión depende en gran medida de la cultura del autor, de los objetivos específicos de la intervención, de la fecha del proyecto, etc.<sup>18</sup>. La solución final debe ser accesible al mayor número posible de personas con diversa habilidad, cultura y saber, que en un futuro puedan hacer uso de esta implementación. De igual modo debe reproducir la visión que sobre el trabajo tiene el especialista, satisfacer las necesidades de los posibles usuarios, estar bien documentada y garantizar la seguridad, la conservación y la portabilidad.

Existen una serie de riesgos que deben evitarse en la implementación de un SIG, tales como crear recursos mal documentados o no comparables con proyectos similares, limitar el SIG a una única plataforma de software, o realizar aplicaciones con el único fin de servir como base de datos, sin prever que se puedan realizar posteriormente consultas. Para evitar estos inconvenientes deben considerarse ciertas normas<sup>19</sup>, entre las que cabe destacar:

(1) La participación de todo el equipo de especialistas en la definición y valoración del modelo lógico y conceptual del SIG.

(2) La correcta administración de los datos espaciales.

(3) La programación de estrategias de reutilización e intercambio de los datos.

(4) La correcta organización en las fases de captura y procesamiento de los datos.

Así pues, deben considerarse una serie de factores que posibiliten llevar a buen término estas normas. En el caso (1), los especialistas que intervienen en la captura de datos, en la implementación del SIG y en su uso posterior deberán encontrar un marco de entendimiento común y adoptar, en su caso, una serie de palabras clave que no den lugar a distintas interpretaciones, y una serie de normas o prioridades que deban seguirse en caso de múltiples alternativas. También es conveniente llegar a un criterio común para “etiquetar” la calidad de los datos adquiridos con adjetivos tipo bueno, excelente, dudoso, etc. Con respecto a la norma (2), es conveniente considerar y evaluar los sistemas de coordenadas de referencia que se utilizan, la precisión y la exactitud de los métodos empleados, la escala y la resolución de los datos, etc. Además, deberán elaborarse los correspondientes metadatos<sup>20</sup>. La norma (3) es esencial, puesto que la parte más cara de la implementación de un SIG suele ser el diseño del proyecto y, en particular, la adquisición, la actualización y el mantenimiento de los datos. Debe evitarse la redundancia

3. Diferentes formas de encapsular modelos de datos espaciales vectorial y ráster.

de la información, así como asegurar la conservación y la posible reutilización de los datos, incluyendo la posible integración con otros SIG o con datos obtenidos en diferentes proyectos. El director del proyecto debe garantizar el cumplimiento de la norma (4), mediante la elaboración de cronogramas que abarquen todas las fases de la gestión de los datos: adquisición, integración, procesamiento, análisis, presentación y preservación.

### Aplicaciones y usos

Las disciplinas que tradicionalmente más se han beneficiado de los SIG han sido la geografía, la geología, la arqueología y la topografía. Algunas tareas en las que los SIG son de común aplicación son:

- Gestión del catastro urbano y rústico, registros de la propiedad, registros de productores de explotaciones agrícolas, etc.
- Gestión de recursos naturales renovables: gestión de recursos hidráulicos, contaminación del aire, evaluación del paisaje, etc.
- Gestión de infraestructuras, tanto en las fases de diseño y construcción como en la de explotación y mantenimiento.
- Gestión de los transportes: diseño de planes de tráfico, evaluación de la red viaria, gestión de las redes de autobuses, ferrocarril y metro, etc.
- Gestión de estadísticas y censo y definición de distritos electorales.
- Planificación urbana y regional: diseño y gestión de normas y ordenanzas del uso del suelo, gestión de parques naturales, gestión municipal de licencias de obras, gestión del mobiliario urbano, etc.

Aunque los SIG se vienen desarrollando desde hace varias décadas, su aplicación en el campo de la conservación y restauración arquitectónica es más bien reducida, a pesar del éxito alcanzado en otros entornos. No obstante, se puede afirmar que en los últimos años se observa un número creciente de aplicaciones en archi-

tectura, tanto en tareas relacionadas con el urbanismo como de documentación y restauración del patrimonio arquitectónico, entre otras. Por ejemplo, se ha realizado un estudio del crecimiento urbano de Tarrasa entre la segunda mitad del siglo XX hasta nuestros días, mediante el tratamiento e interpretación de fotografía aérea y SIG<sup>21</sup>. También se ha desarrollado un SIG para aplicaciones arquitectónicas que permite la gestión de cualquier dato arquitectónico, bien sea gráfico o alfanumérico<sup>22</sup>. El sistema gestiona la información arquitectónica de la ciudad en relación con su trama urbana, y la relaciona con la manzana o el edificio, vinculando la información gráfica existente en el sistema gráfico con la alfanumérica existente en la base de datos. Los datos recogidos se pueden añadir y actualizar de forma gradual al programa, de tal modo que se vinculan unos a otros de forma sencilla.

Dentro del campo del patrimonio arquitectónico, se ha utilizado la tecnología de los SIG con la finalidad de georreferenciar una serie de monumentos, de tal modo que se establezca una relación topológica entre éstos y las características del lugar geográfico (tipo de suelo, riesgos, etc.)<sup>23</sup>. En St. Louis (Nueva Orleans) se utilizan los SIG en tareas de gestión y planificación de la restauración de un antiguo cementerio que presenta una fuerte carga histórica<sup>24</sup>. Se priorizaron las áreas que debían ser restauradas, gracias a su descripción efectiva y analítica y a su cartografiado. Entre otros, este SIG incluía imágenes aéreas históricas, registros y mapas, los cuales fueron digitalizados, georreferenciados y clasificados en capas, de tal forma que se creó una secuencia cronológica del lugar.

Los casos en los que se aplican los SIG son muy variados, cobrando cada vez más importancia en tareas arquitectónicas, ya que facilitan mucho los procesos de docu-

mentación y gestión, aparte de establecer vínculos entre la información alfanumérica y gráfica, registrando al mismo tiempo las relaciones topológicas entre las entidades espaciales. Sin lugar a dudas, todas estas tareas son de gran ayuda en trabajos dirigidos a la restauración y conservación de edificios, donde debe establecerse una relación entre superficies a restaurar, materiales, costes, etc. Además, se aprecia la iniciativa de muchas ciudades de proteger el patrimonio de una forma ordenada mostrando un aspecto uniforme y homogéneo de sus edificios (en función del estilo, época o color, entre otros)<sup>25</sup>. En estos casos, sería recomendable que los datos estuvieran integrados en un SIG, tanto para elaborar estudios de impacto visual como de mantenimiento, rehabilitación, conservación y restauración.

### Ejemplo de implementación y funcionamiento

La fase de implementación de un sistema de información se puede reducir considerablemente si se utilizan o integran paquetes informáticos ya desarrollados. En el mercado coexisten muchos programas, tanto propietarios como libres (freeware). Las distintas soluciones SIG libres que existen en la actualidad, constituyen una buena opción<sup>26</sup>. En las siguientes líneas se citan algunos aspectos que deberían considerarse a la hora de implementar y poner en funcionamiento un SIG.

- **Elaboración de los datos:** Un SIG se nutre de información geográfica, distinguiendo entre datos espaciales y datos temáticos. La componente espacial se puede producir importando los archivos de AutoCAD o de MicroStation, haciendo un trabajo de edición para la obtención de un *shape file* a partir de cada capa. El *shape file* es el formato de los datos almacenados en ArcMap<sup>27</sup>, uno de los programas SIG más extendidos. Cada *shape*

*file* se caracteriza para un conjunto de objetos con la misma geometría: puntos, polilíneas y polígonos. Los datos se pueden clasificar en distintos grupos y cada grupo en diferentes subgrupos. Por cada capa importada de AutoCAD, se puede crear una tabla con atributos sobre los datos disponibles. La unidad básica de gestión puede ser un edificio, monumento o sitio completo, pero en ella se pueden diferenciar distintas subunidades, como plantas, fachadas, secciones, suelos, techos, etc., hasta llegar a un nivel de detalle que permita estudiar, por ejemplo, las patologías de un determinado elemento a lo largo del tiempo y en relación con los de su entorno<sup>28</sup>. Una vez generada la base de datos se podrán realizar otras operaciones tales como el establecimiento de las áreas prioritarias que necesitan ser restauradas, el cálculo de las superficies totales y los costes asociados a dichas intervenciones, entre otros. Toda esta nueva información generada también pasará a formar parte de la base de datos.

- **Consultas:** Las tablas y gráficos en un SIG están conectados a través de un identificador común, de modo que cada dato alfanumérico encuentra correspondencia en otro gráfico y viceversa. Si se señala un objeto en el elemento gráfico puede verse la información disponible en la base de datos (consulta espacial), o puede cono-

cerse la localización espacial del elemento a partir de un registro de la base de datos (consulta temática). Esta característica resulta muy interesante a la hora de revisar todos los atributos (o datos alfanuméricos) disponibles sobre cada entidad. Además, se puede acceder a ficheros externos desde el propio SIG si se han asignado enlaces en las tablas de los atributos.

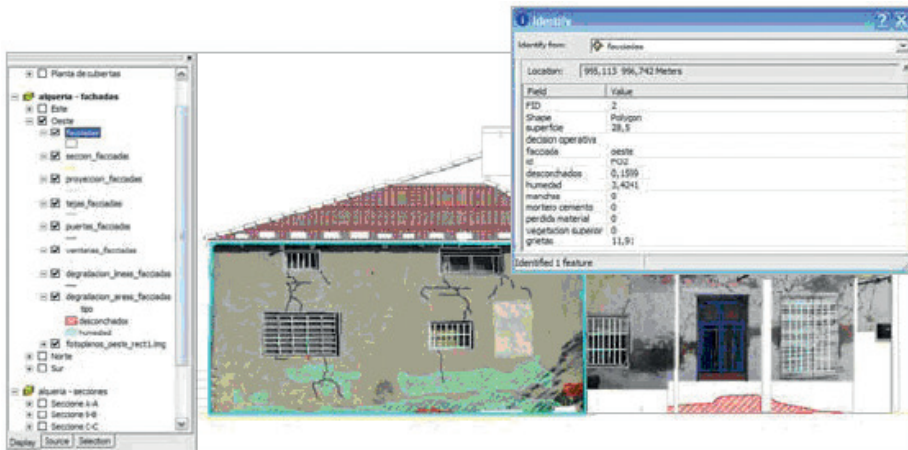
- **Edición/cálculo de datos:** Operar con un SIG comprende la toma de datos, la gestión de los mismos y la presentación de mapas temáticos<sup>29</sup>. Posteriormente se procede al cruce de la información, sometiénola a operaciones algebraicas que generan nuevos resultados, que identifican nuevas unidades y que ayudan a configurar el modelo del edificio, que puede ser sencillo o complejo, en función de las relaciones que se establezcan. Se pueden calcular automáticamente las dimensiones (superficie o longitud) de los objetos contenidos en los *shape file*. Concretamente se pueden calcular las superficies de las habitaciones, los pavimentos, las fachadas, las áreas de degradación, etc. También se pueden extraer datos a partir de las relaciones topológicas entre las entidades. Las relaciones topológicas permiten seleccionar los elementos con patologías particularizados al caso de cada habitación, cada pared y cada fachada (fig. 4).

### Beneficios que aportan los SIG

Los SIG ofrecen multitud de ventajas frente a otras herramientas de trabajo tradicionales. Sin lugar a dudas, esta herramienta informática es un instrumento de gestión y distribución de todo tipo de información referente a un proyecto. A continuación se recogen algunos de los beneficios que pueden aportar los SIG en el campo de la conservación y restauración, sin falta de exclusividad ni de generalidad.

- **Integración de datos:** Es posible visualizar, editar, interpretar y gestionar todos los datos recogidos en una edificación en un único entorno informático. Esta característica cobra mayor importancia con los proyectos de gran envergadura en los que se dispone de gran variedad de tipos de datos sobre el edificio o monumento a restaurar. Pueden ser tanto datos de su estado actual como datos históricos, información acerca de materiales o de pigmentos originales, estructuras internas y externas a partir de planos, fotografías, imágenes térmicas, estudios geofísicos, etc.

- **Preguntas:** Es posible acceder a los datos alfanuméricos (o tablas de datos asociados) a través de operaciones sencillas de interrogación, simplemente señalando los datos espaciales visualizados o presionando sobre la imagen en cuestión. Esta característica puede economizar los tiempos de trabajo, sobre todo en aquellos



4. Muestra de las patologías existentes en el exterior de una edificación

proyectos de restauración y conservación en los que se disponga de información alfanumérica exhaustiva asociada a datos espaciales. Por ejemplo, se puede tener una imagen de una fachada que necesita ser restaurada, pero que cuenta con distintos materiales, niveles de deterioro y prioridades de restauración dependiendo del lugar de la fachada donde se halle, etc.

- **Creación de mapas temáticos:** Es posible editar los mapas de un edificio, eligiendo y combinando los datos de las diferentes plantas, secciones y fachadas, de tal modo que se generan nuevos mapas temáticos a partir de los datos de partida. Por ejemplo, se puede generar mapas que muestren de forma visual y rápida la antigüedad de las edificaciones, clasificaciones acerca de las patologías encontradas, las zonas prioritarias a restaurar, sus dimensiones o ubicaciones.

- **Operaciones espaciales:** Se almacenan los datos gráficos con su correspondiente localización espacial (datos georreferenciados), así como las relaciones topológicas entre los distintos elementos, con lo que es posible resolver operaciones espaciales como cálculo de distancias y áreas, operaciones de conectividad, contigüidad e inclusión, etc. En un trabajo de restauración, esta característica permite, por ejemplo, señalar sillares colindantes, saber qué bloques sufren determinadas pa-

tologías y cuáles no, y visualizarlos en la representación gráfica del edificio, etc.<sup>30</sup>.

- **Evitar duplicidad y/o pérdida de datos:** Una de las características propias de los SIG que no se encuentra en otros paquetes informáticos, es su capacidad para almacenar la información de forma que no se repita ningún dato al mismo tiempo que se establecen relaciones entre todos los elementos gráficos entre sí y con sus atributos<sup>31</sup>. Esta capacidad resulta fundamental para tareas de organización y gestión de los datos de un edificio, evitando la pérdida de datos y el descontrol que puede suponer el tratar con información de distinta naturaleza, procedente de diferentes fuentes y en diferentes formatos.

### SIG ONLINE: SERVIDORES DE MAPAS

Un servidor de mapas es un paquete informático capaz de interactuar directamente con fuentes de datos SIG y presentarlos por Internet gracias a un servidor web<sup>32</sup>. En los servidores de mapas existe una conexión directa a la base de datos, por lo que los usuarios pueden realizar consultas y generar nueva información gráfica. La arquitectura de los servidores de mapas es de tipo cliente/servidor. El cliente – browser o explorador – solicita los recursos del servidor, que gestiona todas las peticiones y responde de manera

ordenada. La red es la estructura física a través de la cual el cliente y el servidor se comunican. El cliente, al recibir los datos del servidor (por ejemplo, código HTML) los interpreta y los presenta al usuario. La fig. 5 muestra un esquema básico de un servidor de mapas online.

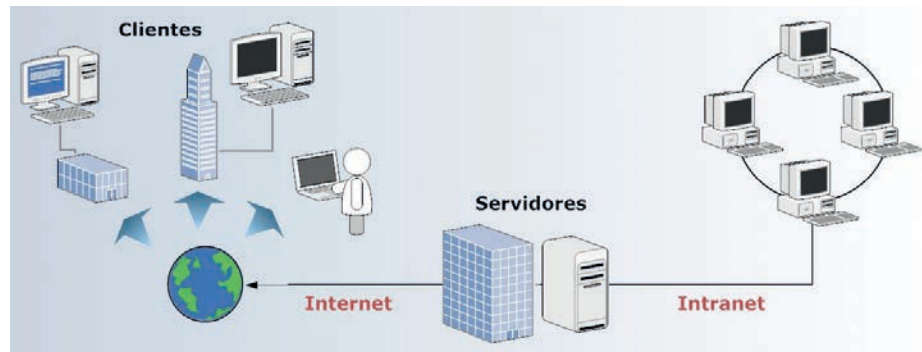
El incremento de la capacidad de transmisión de información a través de Internet está abriendo nuevas vías de comunicación a nivel mundial. Desde hace unos años, la web se está convirtiendo en una plataforma estándar para los SIG, y muchos paquetes comerciales ya cuentan con su versión en línea correspondiente. Se pueden destacar algunas ventajas de los SIG en línea<sup>33</sup>:

- Acceso desde cualquier parte del mundo.
- Interfaz estándar a través de navegadores, sin necesidad de adquirir software adicional.

- Mantenimiento más económico y efectivo, puesto que el usuario accede directamente a la fuente de la información.

En la actualidad, se puede acceder gratuitamente a algunos servidores de mapas que gestionan información de índole arquitectónica. Por ejemplo, la Universidad de Alicante ofrece un SIG en línea de su campus<sup>34</sup>, con lo que cualquier usuario que disponga de conexión a la red puede visitar virtualmente sus instalaciones y conseguir información acerca de ellas a partir de





5. Esquema de un servidor de mapas.

la interacción sobre representaciones 2D y 3D. El SIG de la gerencia de urbanismo del ayuntamiento de Madrid<sup>35</sup>, ofrece la posibilidad de búsqueda de calles y números postales, cartografía del planeamiento urbano e impresión de la cartografía a escala. A través de la URL de la Universidad de Minnesota<sup>36</sup> se puede visitar MARWP, un SIG en línea que contiene un catálogo de información geoespacial sobre la arquitectura vernácula griega. A partir de mapas interactivos se pueden seleccionar elementos visuales (edificaciones ancestrales) mediante el ratón y acceder a algunas de sus características arquitectónicas, como son las dimensiones de las fachadas, orientaciones, tipos de tejados o materiales constructivos.

También se puede encontrar referencias sobre proyectos de desarrollo urbano y socio-económico, por ejemplo en Baalbek<sup>37</sup>. En este proyecto participan especialistas de distintas disciplinas y pertenecientes a distintas instituciones. Se creó un SIG en línea mediante herramientas informáticas de libre distribución (como MySQL y PHP) adaptado a las necesidades arqueológicas y arquitectónicas. De este modo, se pudo garantizar a los grupos de trabajo el acceso inmediato al estado del arte del proyecto. Por otro lado, también existe la posibilidad de combinar la tecnología de realidad virtual y los SIG<sup>38</sup>. La finalidad es elaborar un

SIG multimedia en línea que permita a los usuarios una mayor interactividad, incrementando el grado de percepción y el realismo. El proyecto se aplica a la reconstrucción virtual de dos fortalezas y un cementerio. También existen SIGs en línea para la preservación del patrimonio cultural<sup>39</sup> basado en Map Objects Internet Map Server, que es tanto una aplicación para publicar mapas en Internet como una plataforma de programación.

## CONCLUSIONES

Este artículo revisa el estado de la tecnología SIG en la actualidad, y enfatiza las aplicaciones, las aportaciones y los beneficios en el trabajo diario de equipos multidisciplinares que trabajan a distintas escalas. Se muestran factores a considerar en su implementación, así como ejemplos de uso y referencias bibliográficas internacionales relacionadas con aplicaciones exitosas de los SIG en distintos campos del saber, principalmente relacionados con arquitectura y arqueología.

Los SIG responden de manera idónea a los requerimientos básicos de la restauración arquitectónica, en tanto que dichos trabajos requieren trabajos de recogida de datos, de gestión organizada y de análisis continuos que den respuesta inmediata a las solicitudes planteadas por los técnicos, los gestores y los usuarios del sistema informático durante toda la actividad

llevada a cabo en el sitio, entorno y/o monumento. Cuestiones como la optimización de flujos de trabajo, la existencia de datos limpios sin duplicidad, el establecimiento de relaciones topológicas, la edición de datos gráficos asociados a datos alfanuméricos, o el acceso y análisis rápido a grandes volúmenes de información, hacen de los SIG paquetes informáticos avanzados si se comparan con los paquetes de CAD tradicionales. Además, las posibilidades que brindan los SIG en línea en cuanto a que toda la información esté disponible, accesible y actualizada a través de la web se resuelve a día de hoy de manera segura. Por tanto, el proyecto puede dejar de ser concebido como una cuestión estanca y puede abrirse de modo que la sociedad en su conjunto se beneficie de la capacidad de control, seguimiento y publicidad, sin olvidar que los más beneficiados son precisamente los propios técnicos y gestores del patrimonio. Este artículo invita al uso extensivo de la tecnología SIG en el campo de la conservación y restauración arquitectónica, al igual que otras disciplinas lo hicieron varias decenas atrás y no dudaron de sus beneficios y de sus posibilidades. 🏛️

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo y la financiación del Ministerio de Ciencia y Tecnología al Proyecto HAR2010-18620.

## NOTAS

1. ARDISSONE, P.; F. RINAUDO, A.: "GIS for the Management of Historical and Archaeological Data", en *Proceedings XX International CIPA Symposium*, 26 September - 01 October, Torino (Italy), 2005.
2. BAYARI, O.A.: "New Survey Technologies for Production of GIS Model of the Ancient Roman Jerash City in Jordan", en *Proceedings XX International CIPA Symposium*, 26 September - 01 October, Torino (Italy), 2005.
3. BORGIA, E.: "Archaeological and Methodological Approaches for the Construction of an Intrasite and Intersite GIS of Elaiussa Sebaste (Turkey)" en *Proceedings XXI International CIPA Symposium*, 01-06 October, Athens (Greece), 2007.
4. GREEN, D.; BOSSOMAIER, T.: *Online GIS and Spatial Metadata*, Taylor & Francis, London, 2002.
5. MOLDES, F.J.: *Tecnología de los sistemas de información geográfica*, RA-MA, Madrid, 1995.
6. LERMA GARCÍA, J.L.: *Diseño de una aplicación S.I.G. utilizando la fotogrametría digital para la restauración arquitectónica*, Proyecto final de carrera, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 1996.
7. RINAUDO, F.; BILGIN, G.: *Task Group 9: Generic GIS Template for the Management of Heritage Objects. A practical guide to GIS implementation*, 2007; [http://cipa.icomos.org/text%20files/RECORDIM/RECORDIM\\_TG9\\_DRAFT\\_01.pdf](http://cipa.icomos.org/text%20files/RECORDIM/RECORDIM_TG9_DRAFT_01.pdf)
8. GUTIÉRREZ PUEBLA, J.: *SIG: Sistemas de Información Geográfica*, Editorial Síntesis, Madrid, 1994.
9. MOLDES, F.J.: *op.cit.*
10. Según la R.A.E., la topología es la rama de las matemáticas que trata especialmente de la continuidad y de otros conceptos más generales originados de ella, como las propiedades de las figuras con independencia de su tamaño o forma.
11. MOLDES, F.J.: *op.cit.*
12. GILLINGS, M.; HALLS, P.; LOCK, G.; MILLER, P.; PHILLIPS, G.; RYAN, N.; WHEATLEY, D.; WISE, A.: *GIS Guide to Good Practice, AHDS Guides to Good Practice*, 1998; <http://ads.ahds.ac.uk/project/goodguides/gis/>.
13. Los atributos son datos que describen las propiedades de un punto, línea o polígono registrado en un GIS. Por ejemplo, un polígono que represente una pared de un edificio puede tener asociados distintos atributos, como es su dimensión, materiales que lo conforman, color, estado de conservación, etc.
14. Véase Nota (10).
15. En este principio se basan los buscadores de rutas entre dos localizaciones, como es el caso de Google Maps.
16. GUTIÉRREZ PUEBLA, J.: *op.cit.*
17. MOLDES, F.J.: *op.cit.*
18. RINAUDO, F. & BILGIN, G.: *op.cit.*
19. *Idem.*
20. Metadatos: son un conjunto de datos que muestran información sobre los propios datos, como son la fecha de adquisición, el instrumental de medida, el personal encargado de la adquisición de los datos, el emplazamiento, el promotor, etc.
21. NASARRE VÁZQUEZ, M.E.; BADIA PERPINYÀ, A.: "Una aproximación al crecimiento de áreas urbanas a través de fotografía aérea y de sistemas de información geográfica. La ciudad de Terrassa como caso de estudio", en *Cuadernos Geográficos*, 2006.
22. CALAF VECIANA, F.; NÚÑEZ ANDRÉS, A.; BUILL POZUELO, F.: "Sistema de Información Arquitectónica (S.I.A.)", en *Mapping: Map and Sig consulting*, nº 100, 2005.
23. BRUMANA, R.; ACHILLE, C.: "Advanced GIS Technologies to Support the Georeferencing of Cultural Heritage", en *Proceedings XXI International CIPA Symposium*, 30 Sep. - 04 Oct., Antalya (Turkey), 2003.
24. MATERO, F.; PETERS, J.: "Planning Inventions", en *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places. Illustrated Examples*, R. Eppich and A. Chabbi, Editors. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2008.
25. CALAF VECIANA, F. et al: *op.cit.*
26. GILAVERT MARGALEF, J.; PUIG POLO, C.: "Estudio comparativo de herramientas SIG Libres aplicadas a contextos de cooperación al desarrollo", en *Proceedings II Jornadas de SIG libre*, 03-05 Marzo, Servei de Sistemes d'Informació Geogràfica i Teledetecció, Universitat de Girona, Girona (Spain), 2008.
27. ESRI, ArcGIS: *The Complete Enterprise GIS*, 2008; <http://www.esri.com/software/arcgis/>.
28. CALAF VECIANA, F. et al: *op.cit.*
29. MARTÍN PASTOR, A.; AGUILAR DE LOS SANTOS, R.; DOMÍNGUEZ RUIZ, V.; GONZÁLEZ JIMÉNEZ, J.M.; MORÓN ORTA, M. E.; TORRES LUQUE, E.: "Aplicación de los sistemas de información geográfica (SIG) al estudio de edificios patrimoniales. Caso práctico: Actuación en el humilladero de San Onofre y su entorno. San Jerónimo, Sevilla", en *Proceedings Congreso Internacional Conjunto XVII Ingegraf - XVADM*, 01-03 Junio, Sevilla (Spain), 2005.
30. *Idem.*
31. CALAF VECIANA, F. et al: *op.cit.*
32. COLL ALIAGA, E.; MARTÍNEZ LLARIO, J.C.; SANZ SALINAS, J.G.; IRIGOYEN GAZTELUMENDI, J.: *Introducción a la publicación de cartografía por Internet*, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2005.
33. GREEN, D. & BOSSOMAIER, T.: *op.cit.*
34. LabSIG, SIGUA: *Sistema de Información Geográfica de la Universidad de Alicante*, 2006; <http://www.sigua.ua.es/>.
35. AYUNTAMIENTO DE MADRID, *Mapa del municipio de Madrid*, 2008; <http://www-1.munimadrid.es/guia/visualizador/GUaccesible/index.jsp>.
36. UNIVERSITY OF MINNESOTA, *Minnesota Archaeological Researches in the Western Peloponnese*, 2008; Available from: <http://civl.cla.umn.edu/marwp/>.
37. HENZE, F.; LEHMANN, H.; FISCHER-GENZ, B.: "Development of an Internet-Based Information System for Archaeological Research and Studies on Urban History in Baalbek/Lebanon", en *Proceedings XX International CIPA Symposium*, 26 September - 01 October, Torino (Italy), 2005.
38. GUNAY, C.; DUMAN, M.; UYLU, K.; AVCI, O.; CELIK, R.N.: "Multimedia Supported GIS on the Internet (Case Study: Two Ottoman Fortresses and a Cemetery on the Dardanelles)", en *Proceedings XIX International CIPA Symposium*, 30 September - 04 October, Antalya (Turkey), 2003.
39. DURAN, Z.; DOGRU, A.G.; TOZ, G.: "Cultural Heritage Preservation Using Internet-Enabled GIS", en *Proceedings XIX International CIPA Symposium*, 30 September - 04 October, Antalya (Turkey), 2003.