

Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales

Universidad Politécnica de Valencia

# LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS AL ESTUDIO DE LAS SUPERFICIES PICTÓRICAS.

AUTORA

Alba Fuentes Porto.

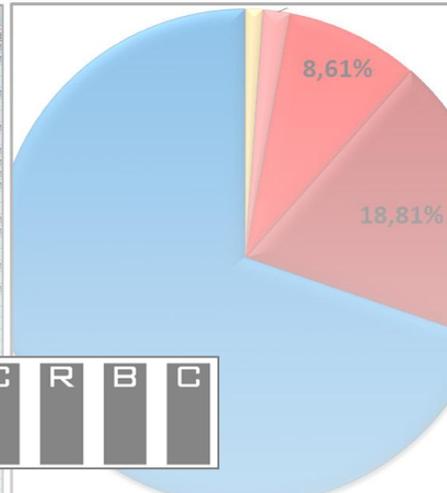
DIRECCIÓN

Dr. José Madrid García.

Dra. Eloína Coll Aliaga.

Dra. Susana Martín Rey.

OBJETID *	SHAPE **	Porcentaje de pérdida	Area Afectada	SHAPE Length	SHAPE Area	Pérdida	Porcentaje pérdida	Area Afectada	SHAPE Length	SHAPE Area	Pérdida	Porcentaje pérdida
5418	Polygon	100	1610,934367	1336,148871	1610,934367	Soporte	100	1610,934367	1336,148871	1610,934367	Soporte	100
5958	Polygon	100	953,72843	322,502177	953,72843	Soporte	100	953,72843	322,502177	953,72843	Soporte	100
6139	Polygon	75	826,197149	451,213249	1101,595199	C.prep y p	75	826,197149	451,213249	1101,595199	C.prep y p	75
6232	Polygon	25	718,442004	1287,540485	2873,788017	C.prep y p	25	718,442004	1287,540485	2873,788017	C.prep y p	25
5380	Polygon	100	700,289122	262,896881	700,289122	Soporte	100	700,289122	262,896881	700,289122	Soporte	100
6204	Polygon	50	566,750798	452,113341	1133,501595	C.prep y p	50	566,750798	452,113341	1133,501595	C.prep y p	50
6202	Polygon	50	323,770958	205,312756	647,541315	C.prep y p	50	323,770958	205,312756	647,541315	C.prep y p	50
5458	Polygon	100	310,241882	135,835848	310,241882	Soporte	100	310,241882	135,835848	310,241882	Soporte	100
6205	Polygon	50	302,937333	122,289772	605,874666	C.prep y p	50	302,937333	122,289772	605,874666	C.prep y p	50
5742	Polygon	100	293,497377	221,402675	293,497377	Soporte	100	293,497377	221,402675	293,497377	Soporte	100
6350	Polygon	100	282,75917	395,445538	282,75917	Soporte	100	282,75917	395,445538	282,75917	Soporte	100
5673	Polygon	100	278,888153	291,187357	278,888153	Soporte	100	278,888153	291,187357	278,888153	Soporte	100
5276	Polygon	100	248,813165	246,228508	248,813165	Soporte	100	248,813165	246,228508	248,813165	Soporte	100
6201	Polygon	25	242,0912	532,140077	969,2448	C.prep y p	25	242,0912	532,140077	969,2448	C.prep y p	25
6210	Polygon	75	164,026319	138,319334	218,701758	C.prep y p	75	164,026319	138,319334	218,701758	C.prep y p	75
5275	Polygon	100	150,637404	104,376998	150,637404	Soporte	100	150,637404	104,376998	150,637404	Soporte	100
5280	Polygon	100	143,356533	70,355287	143,356533	Soporte	100	143,356533	70,355287	143,356533	Soporte	100
6272	Polygon	50	128,698903	110,082065	257,393805	C.prep y p	50	128,698903	110,082065	257,393805	C.prep y p	50
6322	Polygon	25	123,011096	349,514428	492,044382	C.prep y p	25	123,011096	349,514428	492,044382	C.prep y p	25
5687	Polygon	100	119,877553	195,545988	119,877553	Soporte	100	119,877553	195,545988	119,877553	Soporte	100
6319	Polygon	25	117,218176	379,314889	458,876702	C.prep y p	25	117,218176	379,314889	458,876702	C.prep y p	25
5551	Polygon	100	115,398904	73,523627	115,398904	Soporte	100	115,398904	73,523627	115,398904	Soporte	100
6159	Polygon	50	113,207906	166,840675	226,415812	C.prep y p	50	113,207906	166,840675	226,415812	C.prep y p	50
6159	Polygon	75	112,375882	95,051141	149,634242	C.prep y p	75	112,375882	95,051141	149,634242	C.prep y p	75
6270	Polygon	25	111,436116	190,168975	445,744492	C.prep y p	25	111,436116	190,168975	445,744492	C.prep y p	25
6399	Polygon	75	111,068859	144,315587	148,091812	C.prep y p	75	111,068859	144,315587	148,091812	C.prep y p	75
6428	Polygon	50	109,611216	150,0261	219,222431	C.prep y p	50	109,611216	150,0261	219,222431	C.prep y p	50
6270	Polygon	75	109,199245	109,199245	109,199245	C.prep y p	75	109,199245	109,199245	109,199245	C.prep y p	75
5957	Polygon	100	107,466748	107,466748	107,466748	Soporte	100	107,466748	107,466748	107,466748	Soporte	100
6249	Polygon	25	103,361410	103,361410	103,361410	C.prep y p	25	103,361410	103,361410	103,361410	C.prep y p	25
6422	Polygon	50	101,259547	101,259547	101,259547	C.prep y p	50	101,259547	101,259547	101,259547	C.prep y p	50
6364	Polygon	25	100,959722	100,959722	100,959722	C.prep y p	25	100,959722	100,959722	100,959722	C.prep y p	25
6355	Polygon	75	98,665741	98,665741	98,665741	C.prep y p	75	98,665741	98,665741	98,665741	C.prep y p	75
5982	Polygon	100	92,189440	92,189440	92,189440	Soporte	100	92,189440	92,189440	92,189440	Soporte	100
6136	Polygon	50	91,858582	91,858582	91,858582	C.prep y p	50	91,858582	91,858582	91,858582	C.prep y p	50
6362	Polygon	50	91,844459	91,844459	91,844459	C.prep y p	50	91,844459	91,844459	91,844459	C.prep y p	50
6250	Polygon	25	89,586895	89,586895	89,586895	C.prep y p	25	89,586895	89,586895	89,586895	C.prep y p	25
6252	Polygon	25	88,887847	257,411191	355,551387	C.prep y p	25	88,887847	257,411191	355,551387	C.prep y p	25
6261	Polygon	25	87,981152	164,372159	251,929971	C.prep y p	25	87,981152	164,372159	251,929971	C.prep y p	25
6131	Polygon	75	86,710079	73,866756	114,203368	C.prep y p	75	86,710079	73,866756	114,203368	C.prep y p	75



---

**Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales**

**Universidad Politécnica de Valencia**

**LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
APLICADOS AL ESTUDIO DE LAS SUPERFICIES  
PICTÓRICAS.**

**TESIS DE MÁSTER NO BASADA EN PRÁCTICAS DE EMPRESA**

**AUTORA**

Alba Fuentes Porto.

**DIRECCIÓN**

Dr. José Madrid García.

Dra. Eloína Coll Aliaga.

Dra. Susana Martín Rey.

**Valencia, Noviembre de 2010.**



# ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	5
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	7
2.1 OBJETIVOS.....	7
2.2 PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	8
2.3 ANTECEDENTES.....	8
2.3.1 Los mapas de daños como registro gráfico de las alteraciones.....	8
2.3.2 Los mapas en la tecnología SIG.....	10
a) <i>Historia</i> .....	12
b) <i>Campos de aplicación</i> .....	12
c) <i>Su empleo en el cuidado del Patrimonio</i> .....	13
2.4 LOS SIG COMO INNOVACIÓN TECNOLÓGICA.....	14
<b>3. METODOLOGÍA DE INTERVENCIÓN. UN CASO PRÁCTICO: “LA SAGRADA FAMILIA” DEL PALAU DUCAL DE GANDÍA</b> .....	17
3.1 MATERIALES EMPLEADOS.....	18
3.1.1 Software y hardware.....	18
3.1.2 Los datos.....	18
3.2 EL ENTORNO DE TRABAJO.....	19
3.2.1 ArcCatalog™.....	19
3.2.2 ArcMap™.....	20
3.3 BASE DE UN PROYECTO SIG: LA GEODATABASE.....	20
3.4 TRATAMIENTO ESPACIAL: LA GEORREFERENCIACIÓN.....	22
3.4.1 Aspectos técnicos.....	22
3.4.2 Georreferenciación de la superficie pictórica.....	22
3.5 LA EDICIÓN DE LOS MAPAS DE DAÑOS.....	23
3.5.1 Modelos de datos.....	23

3.5.2 Mecanismos de vectorización .....	24
3.5.3 Vectorización de las capas de información.....	26
a) Pérdida de soporte .....	26
b) Pérdida de capa pictórica y de preparación .....	28
c) Medidas originales .....	28
d) Representaciones por subtipo .....	30
e) Representaciones por tipo.....	30
f) Áreas de fijación de clavos.....	30
3.5.4 Obtención de capas por integración de la información .....	30
3.6 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS ALTERACIONES .....	32
3.7 LAYOUT: PRESENTACIÓN DE LOS MAPAS.....	34
3.8 TIEMPOS DE EDICIÓN .....	36
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
<b>5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>43</b>
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>45</b>
6.1 IMPLICACIONES TEÓRICO-PRÁCTICAS.....	45
6.2 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ABIERTAS .....	46
6.2.1 Mejora del método.....	46
a) Incremento de la precisión.....	46
b) Reducción de costes.....	47
c) Incorporación de modelos ráster para contemplar nuevos tipos de análisis .....	47
6.2.2 Proyección del método sobre otro tipo de obras .....	48
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>49</b>
7.1 CONJUNTO DE MAPAS .....	49
7.2 GLOSARIO DE TÉRMINOS SIG .....	59
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>61</b>
<b>9. AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>63</b>

# 1. RESUMEN

El empleo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)<sup>1</sup> en la edición de los mapas de daños plantea la posibilidad de poder profundizar en el conocimiento espacial de la superficie pictórica; aportando valores cuantitativos de las alteraciones registradas y analizando las relaciones espaciales existentes entre ellas.

En la siguiente investigación ofrecemos un estudio efectuado en un óleo sobre lienzo (*La Sagrada Familia*, de Gaspar de la Huerta) con la intención de ejemplificar la funcionalidad de esta tecnología a la hora de documentar el estado de conservación de una obra y de establecer unas bases metodológicas que sirvan de guía para futuras aplicaciones en este campo.

Gracias al innovador tratamiento que hacen del espacio (asociándolo a una base de datos alfanumérica) hemos podido profundizar en la caracterización de los daños, definiendo cuantitativamente los faltantes registrados y calculando su alcance en términos porcentuales. Además, hemos incrementado la precisión y legibilidad de su registro gráfico.

La capacidad que nos ofrecen los SIG de cuantificar y almacenar la información espacial de forma sencilla la convierte en una herramienta informática con gran potencial, tanto en el estudio como en la documentación de las superficies pictóricas. Sin embargo es necesario seguir profundizando en el perfeccionamiento de su metodología de aplicación con el fin de minimizar los errores espaciales y ofrecer cada vez una información más precisa.

---

<sup>1</sup> Conjunto de herramientas informáticas desarrolladas en el campo de la topografía.



## 2. INTRODUCCIÓN

En el momento de abordar el análisis patológico de una superficie pictórica los mapas de daños siempre han resultado una herramienta fundamental. Ellos nos ofrecen una visión esquemática y unitaria de la distribución de las alteraciones, facilitando la comprensión de los patrones de degradación de un modo visual e intuitivo. Al mismo tiempo constituyen un soporte documental esencial en todo trabajo de restauración; siendo un apartado sustancial dentro de los informes de intervención al encargarse de documentar de una forma gráfica el estado de conservación de las obras.

En los últimos años los recursos técnicos con los que los restauradores contamos para la elaboración de los mapas de daños han experimentado importantes mejoras gracias a la adaptación a nuestras necesidades específicas de programas informáticos concebidos desde otras disciplinas ajenas a la profesión. La presente tesis de Máster pretende profundizar en esta línea de trabajo, planteándose una investigación experimental de carácter técnico que estudie la viabilidad de una nueva renovación metodológica basándose en el empleo de uno de los programas informáticos procedentes del mundo de la topografía más interesante y efectivos surgidos en la última década: los SIG (Sistemas de Información Geográfica).

Los SIG o *Geographic Information System (GIS)* son aplicaciones informáticas diseñadas “para la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos espaciales”<sup>2</sup>; tratándose de sistemas digitales de manejo de bases de datos geográficas capaces de fusionar la gestión de la información espacial y alfanumérica por medio de un nuevo concepto de base de datos, las bases de datos geográficas o geodatabases.

A través de estas geodatabases los SIG analizan el espacio terrestre asociando cada elemento representado en un mapa a un conjunto de atributos externos. Gracias a ellas son capaces de identificar las relaciones espaciales existentes entre las diferentes capas contenidas en un mapa, disponiendo de un gran número de funciones de análisis y consulta para interpretar la información registrada.

La adopción de este sistema de análisis espacial en el estudio de la superficie física de una obra ofrece la posibilidad de transformar los mapas de daños en una verdadera herramienta de examen que permite profundizar en el conocimiento espacial de su superficie, aportando por medio de una geodatabase información cuantitativa y cualitativa de las patologías identificadas en sus distintas capas.

### 2.1 OBJETIVOS

El hecho de que este tipo de tecnología nos plantee la posibilidad de poder aumentar la precisión y cantidad de información ofrecida por un mapa de daños la convierte en una herramienta informática con un gran potencial en el campo de la restauración.

Por este motivo hemos decidido centrar esta investigación en indagar sobre las aplicaciones que los Sistemas de Información Geográfica pueden ofrecer en el análisis patológico y en la documentación del estado de conservación de las superficies pictóricas.

Para ello intentaremos establecer una metodología capaz de adaptar la tecnología SIG al estudio de una pintura atendiendo a las necesidades técnicas de un restaurador. A modo de ejemplo nos centraremos en

---

<sup>2</sup> Mancebo et al. (2008:72).

un caso práctico para describir cómo funciona y de qué modo se debe trabajar sobre las superficies pictóricas sustentando teóricamente.

A través del desarrollo de nuestro propio proyecto SIG pretendemos descubrir los beneficios específicos que pueden proporcionar estas herramientas topológicas en el análisis de las pinturas. Finalmente sopesaremos las ventajas y los inconvenientes caracterizados a lo largo del proceso para cuestionarnos la viabilidad de la renovación metodológica planteada; esperando ofrecer una valoración objetiva que anime o no a seguir profundizando en esta vía de investigación.

## 2.2 PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

A la hora de seleccionar la plataforma de trabajo para intentar sentar las bases de la metodología SIG en el campo de la restauración se considera importante declinarse por uno de los programas informáticos de mayor difusión, el ArcGIS® Desktop.

Los Sistemas de Información Geográfica son herramientas concebidas y empleadas principalmente para el estudio del espacio proyectado sobre un mapa. La obtención de una precisión y fiabilidad adecuada a través de sus análisis dependen de que su campo de acción se limite a las obras de arte “bidimensionales”.

Por este motivo seleccionamos como protagonista de nuestro análisis SIG un óleo sobre lienzo de Gaspar de la Huerta fechado en el S.XVIII, *La Sagrada Familia*, que ha sido intervenido por el proyecto "Restauración de las pinturas murales de la Galería Dorada del Palau Ducal de Gandía".

De este modo, partiendo de las necesidades documentales específicas de *La Sagrada Familia* se tratará de desarrollar un proyecto SIG que nos permita tanto analizar y documentar el estado de conservación de la superficie pictórica como describir un procedimiento capaz de ser extrapolado a otros casos prácticos semejantes dentro del campo de la restauración. Contaremos para ello con el importante asesoramiento del Departamento de Ingeniería, Cartografía, Geodesia y Fotogrametría.

Una vez terminada la fase del desarrollo metodológico cuestionaremos los resultados obtenidos enriqueciendo nuestras observaciones con las que puedan aportar especialistas del campo de la restauración de pintura de caballete y de la documentación de obras de arte procedentes del Departamento de Conservación y Restauración de la Universidad Politécnica de Valencia.

## 2.3 ANTECEDENTES

### 2.3.1 Los mapas de daños como registro gráfico de las alteraciones

*“Los trabajos de conservación, de restauración y de excavación estarán siempre acompañados por una documentación precisa, constituida por informes analíticos y críticos ilustrados con dibujos y fotografías.”*

Carta de Venecia, 1964.

Cualquier tipo de actuación en el campo de la conservación y la restauración del patrimonio cultural debe estar documentada de forma exhaustiva dejando constancia de los objetivos y del alcance de los trabajos realizados a través de un informe de intervención. Éste ha de constituir un registro escrito e ilustrado que describa de forma detallada el estado de conservación de la obra antes de su manipulación, los procedimientos seguidos para frenar su deterioro y toda aquella información relevante que ayude a caracterizar la naturaleza y el valor histórico-artístico de la pieza.

Dentro del conjunto de ilustraciones que suele estar presente en un informe de intervención, los mapas constituyen un soporte documental de gran utilidad a la hora de reflejar de forma gráfica el estado de conservación de una obra y la distribución de los diferentes tratamientos aplicados durante los trabajos de restauración.

Los mapas de daños cumplen la función de aportar una visión esquemática y unitaria de la distribución de los diferentes tipos de alteración; lo que facilita la comprensión de los patrones de degradación de un modo visual e intuitivo. En el caso concreto de las pinturas de caballete éstos han de recoger todas aquellas alteraciones que afectan a los diferentes estratos de la obra, desde su soporte hasta la película pictórica:

- El estado de conservación del soporte es conveniente registrarlo partiendo del reverso del paño<sup>3</sup>. Los daños representados en este tipo de registros pueden tratarse de deformaciones y arrugas en la superficie del lienzo, pérdidas matéricas, zonas desgastadas, ataques biológicos, manchas o elementos procedentes de intervenciones anteriores (como injertos o puntos de sutura),etc.
- El trazado de las distintas alteraciones presentes en la capa de preparación se realiza sobre el anverso de la obra. En este estrato pictórico suelen representarse pérdidas, disgregaciones, levantamientos, craqueladuras o incluso ataque biológico.
- El registro de los daños de la película pictórica señala las zonas de pulverulencias y pérdidas en las capas de color, los daños químicos sufridos por la policromía (tales como oscurecimientos, transparencias, amarilleamiento o cambios cromáticos en los pigmentos) así como repintes y barnices (producto de restauraciones anteriores) o la distribución de los diferentes tipos de suciedad.

Hasta hace poco más de una década toda esta información era representada de forma manual; bien trazándola directamente sobre el papel a través de dibujos, bien superponiéndola mediante calcos transparentes al registro fotográfico previamente revelado. El tipo de mapas generados manualmente presentaban la gran desventaja de que no podían ser modificados sin rehacerse de nuevo. En este sentido, la aparición de los mapas digitales en el campo de la restauración ha optimizado la calidad y funcionalidad de este tipo de documentos; mejorando su legibilidad y posibilitando su actualización parcial sin la necesidad de repetir el trazado de cada una de sus partes.

La generación de mapas digitales ha sido posible gracias a la adopción de aplicaciones informáticas concebidas desde otras disciplinas ajenas a la restauración. Entre las empleadas en la actualidad para mejorar el tratamiento de la documentación gráfica debemos destacar los programas de tratamiento de imágenes, los de edición gráfica e incluso los de diseño asistido por ordenador<sup>4</sup>.

- Los programas de tratamientos de imágenes son las herramientas informáticas más empleadas a la hora de procesar y crear las ilustraciones que documentan los trabajos de restauración<sup>5</sup>. Pese a estar ideadas para la edición de fotografía digital a través de mapas de bits también permiten crear imágenes y gráficos de gran calidad a los que se les puede añadir toda una serie de efectos, textos y marcas. Esto las capacita para la elaboración de los mapas de daños, permitiendo registrar las alteraciones dibujándolas sobre la imagen fotografiada a través de capas o niveles de representación de diferente color.

---

<sup>3</sup> Ya sea a través de una fotografía o del dibujo de su alzado.

<sup>4</sup> Existiendo incluso bibliografía específica que explica las aplicaciones que ofrecen los productos comerciales más extendidos en nuestro campo de aplicación (Véase por ejemplo Bortolotti (1999)).

<sup>5</sup> En especial el Adobe® Photoshop®.

- Los programas de edición gráfica<sup>6</sup> procesan información de tipo vectorial<sup>7</sup>. Este modelo de datos permite jugar con el tamaño de las imágenes generadas sin ver disminuida su calidad.
- Siguiendo con las imágenes de tipo vectorial encontramos en los programas de diseño asistido por ordenador<sup>8</sup> un tratamiento más especializado en la generación de mapas. Se tratan de un tipo de aplicaciones orientadas a la producción de planos; por lo que incorporan la posibilidad de elaborar dibujos técnicos con las dimensiones reales del elemento representado, añadir cotas de medición y variar su escala a la hora de materializarlos sobre el papel.

Los mapas digitales, especialmente los vectoriales, han mejorado considerablemente la legibilidad de este tipo de representaciones, y con ella su funcionalidad a la hora de evidenciar los desperfectos que afectan a una obra de arte. Sin embargo, constituyen un soporte documental destinado exclusivamente a la visualización codificada de los elementos que en ellos se recogen; por lo que para obtener un adecuado registro de la información siempre deben ser completados por medio de anexos documentales.

### 2.3.2 Los mapas en la tecnología SIG

Sólo la tecnología SIG es capaz de integrar los beneficios propios de la visualización y el análisis geográfico que ofrecen los mapas cartográficos con las operaciones comunes de base de datos<sup>9</sup>; configurando una base de datos geográfica que permite gestionar y analizar la información espacial.

Puede definirse como “un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para almacenar y manipular información contextualizada geográficamente y analizar sus patrones, relaciones y tendencias de forma sistematizada”<sup>10</sup>. Gracias a esto se tienen como una de las mayores aplicaciones informáticas jamás desarrolladas en el campo de la topografía, haciendo viable la elaboración de cartografías de carácter temático sobre cualquier aspecto ambiental y socioeconómico de la superficie terrestre.

Como aplicación sustentada en el trabajo con mapas aporta una importante mejora en la calidad de la representación cartográfica. Al tratarse al mismo tiempo de una base de datos geográfica ofrece información exacta, actualizada y centralizada; permitiendo realizar consultas de carácter espacial y alfanumérico con gran rapidez. Esto supone que está capacitada para realizar numerosas manipulaciones en corto tiempo, tales como el análisis de la información a través de las superposiciones de mapas, la representación gráfica con diferentes enfoques temáticos o la gestión de bases de datos así como su actualización y administración.

Al mismo tiempo ofrece la posibilidad de integrar todo tipo de información geográfica y facilita el acceso a fuentes de datos muy diversas que tradicionalmente eran gestionadas de forma separada, contribuyendo mediante la consulta cruzada de información a generar modelos más realistas y representativos del espacio estudiado. Los SIG generan con gran precisión y de forma inmediata cartografía de carácter analítico por “combinación de diversas variables mediante álgebra de mapas y modelos estadísticos y

---

<sup>6</sup> Tales como el CorelDRAW® (de *Corel Corporation*), o el Adobe® Illustrator® y el FreeHand® MX (de *Adobe Systems Incorporated*).

<sup>7</sup> Admitiendo también la incorporación mapas de bits.

<sup>8</sup> Conocidos por sus siglas inglesas CAD (*computer-aided design*).

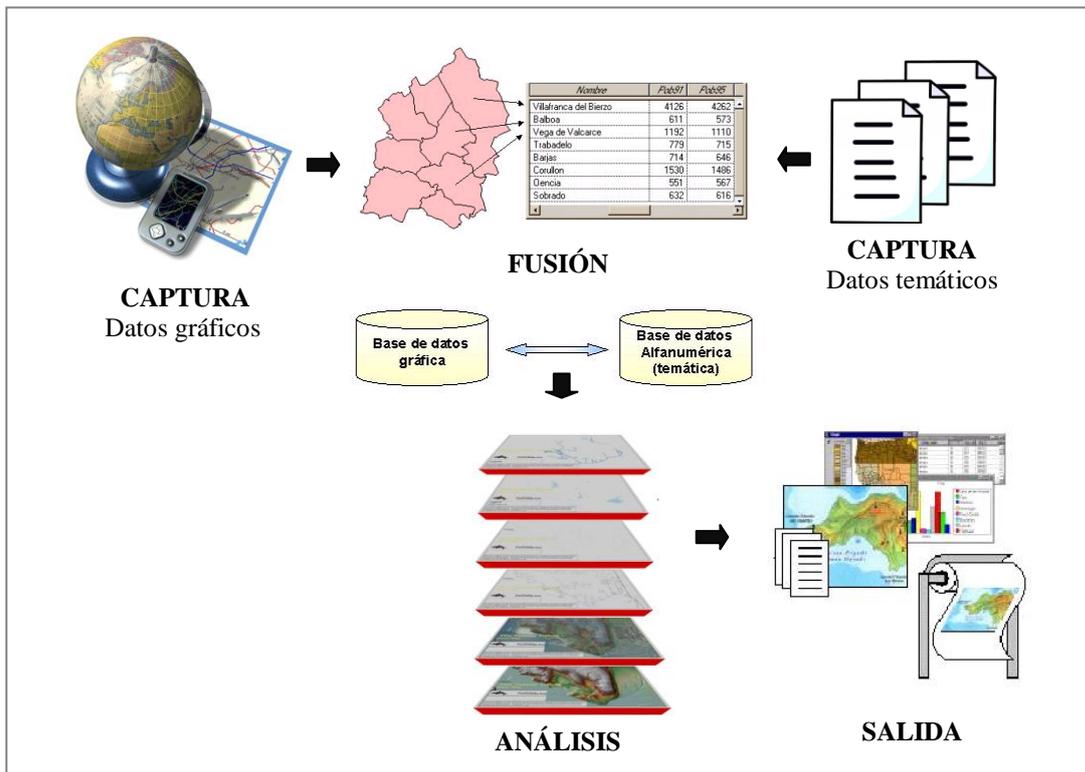
<sup>9</sup> Tales como consultas y cálculos estadísticos.

<sup>10</sup> Ideas tomadas de Mancebo et al. (2008:8) y Ochoa (2003:6).

matemáticos<sup>11</sup>. Esto los capacita para resolver todo tipo de cuestiones relacionadas con la planificación territorial tales como:

- Localización: ¿Qué hay en...?, ¿En dónde está...?, ¿Qué área cubre...?
- Tendencias: ¿Qué ha cambiado en...?, ¿Por qué ocurre en...?
- Condición: ¿Dónde sucede que...?
- Pautas: ¿Cómo se comporta...?
- Modelos: ¿Qué ocurriría si...?
- Rutas: ¿Cuál es el camino óptimo para...?

La respuesta rápida a este tipo de cuestiones es primordial para una adecuada toma de decisiones con el fin de focalizar esfuerzos, minimizar los costos de las operaciones y contribuir al incremento de la productividad en cualquier actividad.



**Ilustración 1:** Esquematación del flujo de trabajo en un sistema SIG. Este parte de la toma y depuración de los datos espaciales, que se fusionan en la geodatabase con atributos alfanuméricos para posibilitar un análisis integral de la información.

<sup>11</sup> Fernández (2003:3).

a) *Historia*

El empleo de un SIG se dio por primera vez en Canadá en 1962 (*Canadian Geographical Information System*, CGIS) con el objetivo de realizar un inventario de la utilización del suelo<sup>12</sup>. Sus creadores, guiados por las nuevas tendencias en la valoración y planificación de recursos a través de mapas, se dieron cuenta de que las diferentes coberturas sobre la superficie de la tierra no eran independientes entre sí; si no que guardaban algún tipo de relación. Esto evidenció la necesidad de evaluarlas de una forma integrada que resolvieron superponiendo mapas transparentes de diferentes datos descriptivos sobre mesas iluminadas para poder encontrar puntos de coincidencia.

En la década de los 70 esta técnica cartográfica comenzó a realizarse con la ayuda de los primeros sistemas informáticos. El avance de una forma pareja en una serie de sectores relacionados (entre ellos la edafología, la topografía, la fotogrametría y la percepción remota) propició el tratamiento interdisciplinar de los recursos, lo que hizo posible la creación de verdaderos sistemas de información geográfica globales capacitados para fines generales.

A principios de los años 80 los SIG ya se habían convertido en un sistema plenamente operativo y gracias al abaratamiento de sus costes su uso pudo extenderse por numerosos ámbitos basados en el estudio de la superficie física de la Tierra<sup>13</sup>.

b) *Campos de aplicación*

Hoy en día la capacidad que de SIG para capturar, almacenar, analizar y presentar la información geográfica ofrece importantes contribuciones en campos muy diversos que abarcan desde la cartografía temática de alta calidad hasta la ordenación territorial, pasando por la gestión de los recursos naturales, o incluso la investigación de parámetros ecológicos o demográficos. Tal es su difusión que “cerca del 80% de la información tratada por instituciones y empresas públicas o privadas tienen en alguna medida relación con datos espaciales”<sup>14</sup>.

Entre las distintas áreas que en la actualidad se apoyan en el uso de los Sistemas de Información Geográfica podemos destacar<sup>15</sup>:

- La planificación urbana y regional, que se sirve del SIG para planificar los usos del suelo y de espacios protegidos, distribuir licencias de obras, almacenar registros de la propiedad y catastros tanto rústicos como urbanos.
- En la gestión de recursos naturales se emplea para analizar aspectos como la evaluación de zonas de yacimientos minerales, la gestión de redes de alcantarillado, gas y electricidad, etc.
- En el campo del medioambiente éste ofrece importantes beneficios a la hora de estudiar impactos ambientales, inventariar recursos medioambientales, ubicar nuevas plantas de procesamiento de residuos y vertederos, etc. A su vez es de gran utilidad a la hora de planificar la prevención de riesgos naturales como la lucha contra incendios, desertización, inundaciones, terremotos, deslizamientos de terreno, etc.

---

<sup>12</sup> Ochoa (2003: 4-6).

<sup>13</sup> Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (2006:107-108).

<sup>14</sup> Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (2006:107).

<sup>15</sup> Coll, E. (29 Enero 2010): Centro de Formación Permanente de la UPV, comunicación personal durante el curso “Sistemas de Información Geográfica. Iniciación a ArcMap”.

- En la ingeniería de transportes optimiza la gestión del tráfico rodado y aéreo, el análisis de rutas óptimas para distribución de mercancías, la gestión de transporte público, etc.
- En el ámbito socioeconómico también ofrece importantes campos de aplicación: En la salud pública permite entre otras cosas planificar la lucha contra epidemias o la gestión de emergencias sanitarias. En el análisis de nuevos mercados ayuda a elaborar estudios demográficos para nuevos productos, mejorar de las redes de distribución o seleccionar la ubicación más adecuada de nuevos comercios. Los SIG han llegado hasta la seguridad pública, empleándose en aplicaciones militares para el control de armamento o incluso en el control de la criminalidad por parte de la policía.
- Su uso se ha extendido tanto que incluso las disciplinas de humanidades gozan en la actualidad de las ventajas de la tecnología SIG. Un ejemplo de esto lo podemos encontrar en la Arqueología, dónde cada vez se recurre más a ella tanto para inventariar los restos arqueológicos como para profundizar en las investigaciones científicas estudiando aspectos como la relación que tenía determinada cultura con el territorio que ocupaban, las posibles relaciones que podía mantener con otras culturas o incluso cómo se podían transportar<sup>16</sup>.

### c) *Su empleo en el cuidado del Patrimonio*

Las actividades relacionadas con el cuidado y tutela del Patrimonio tampoco han permanecido ajenas a las múltiples ventajas que ofrecen los SIG a la hora de gestionar y tratar la información geográfica. Así, en la década de los 90 y a raíz de los importantes avances que la tecnología SIG había logrado en la gestión de inventarios arqueológicos, se adoptó esta herramienta de análisis y gestión territorial introduciéndola como entorno y plataforma de trabajo para la tutela del Patrimonio Arqueológico<sup>17</sup>.

En este campo los SIG han supuesto un considerable avance frente a la gestión de información con bases de datos convencionales, multiplicando las posibilidades en el tratamiento de amplios conjuntos de datos como los derivados de la realización de inventarios arqueológicos. A su vez la acumulación, visualización y análisis dinámico de los datos de la superficie y del subsuelo de los yacimientos están planteando unas posibilidades de protección y planificación que superan cualquier procedimiento desarrollado hasta la fecha. También es importante señalar que, gracias al acceso a una topografía homologada procedente de diversos organismos e instituciones públicas<sup>18</sup>, estos sistemas también están generando mapas de carácter analítico que pueden funcionar como base documental en la gestión y planificación territorial.

En la última década se han desarrollado en torno a los SIG múltiples capacidades relacionadas con la gestión patrimonial. Las aplicaciones más significativas son las relacionadas con el modelado predictivo de la distribución espacial de yacimientos y el análisis de su riesgo patrimonial:

- Los modelos de predicción arqueológica fueron desarrollados para predecir la localización de los sitios arqueológicos. Se obtienen analizando aquellas variables de carácter medioambiental que inciden de forma destacada en la elección de determinados lugares para su uso y aprovechamiento por parte de los seres humanos<sup>19</sup>. Esto posibilita una mejor distribución y

---

<sup>16</sup> Conolly (2009) y Baena (1997).

<sup>17</sup> Fernández (2003:2).

<sup>18</sup> Entre las que destacan aquí en España el Instituto de Cartografía de Andalucía y la Consejería de Medio Ambiente.

<sup>19</sup> Fernández (2009:10-14).

planificación de los recursos, concentrando las prospecciones más intensas en aquellas áreas geográficas con mayores posibilidades de contener yacimientos o restos arqueológicos<sup>20</sup>.

El análisis del riesgo patrimonial tiene como objeto predecir el deterioro potencial del Patrimonio Arqueológico para poder enfocar de una forma más adecuada las políticas preventivas<sup>21</sup>. Recogidos en forma de cartas de riesgo, se construyen a partir del análisis de las variables que pueden funcionar como causas activas del deterioro tales como los usos del suelo y su inundabilidad, los factores erosivos, la edafología, etc.<sup>22</sup>

## 2.4 LOS SIG COMO INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Al igual que en las diversas disciplinas recogidas anteriormente, la capacidad de los SIG para almacenar, analizar y representar la información espacial también ofrece múltiples aplicaciones prácticas en nuestro ámbito de estudio.

En primer lugar, y gracias a su innovador tratamiento del espacio plantea la posibilidad de que los mapas de daños dejen de ser meros documentos descriptivos para convertirse en una verdadera herramienta de análisis que nos permite profundizar en el conocimiento espacial de una superficie pictórica.

Como aplicación informática desarrollada desde el ámbito de la topografía se trata de una herramienta optimizada para la creación y representación de mapas. A mayores están diseñados para poder resolver cuestiones relacionadas con la distribución del espacio representado. En el campo de la restauración esto implica poder responder a preguntas como las recogidas en la siguiente tabla:

**Tabla 1:** Tipo de cuestiones planteables a un sistema SIG.

<b>Localización</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ¿Qué hay en la obra estudiada?</li> <li>○ ¿En dónde están localizadas las alteraciones?</li> <li>○ ¿Qué área cubren éstas?</li> <li>○ Y los motivos iconográficos, ¿Cómo se distribuyen?</li> </ul>
<b>Tendencias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ¿Por qué hay cierto tipo de alteraciones en una zona determinada?</li> </ul>
<b>Pautas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ¿Cómo se distribuyen?</li> </ul>
<b>Modelos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ¿Qué ocurriría si la superficie de una obra no presentara faltantes?</li> </ul>

<sup>20</sup> Grau (2006).

<sup>21</sup> Un ejemplo muy significativo del uso de los SIG en la gestión del patrimonio arqueológico lo podemos encontrar en Andalucía, dónde desde mediados de los 90 se viene desarrollando un ambicioso proyecto de evaluación de riesgos y potencial arqueológico en entornos urbanos. Su objetivo fundamental es el de “identificar y caracterizar el patrimonio arqueológico de ámbito municipal y su estado de conservación actual, diagnosticar los factores que lo ponen en riesgo y, consecuentemente, programar su investigación, difusión y puesta en valor” (Rodríguez y González, 2002; citado por Fernández, 2003:13).

<sup>22</sup> Fernández (2003:12; 2009:19).

Los SIG están capacitados para responder a estas preguntas de forma cuantitativa y cualitativa, siendo la capacidad de calcular las áreas de las patologías representadas uno de los posibles resultados más significativos.

Una caracterización de las alteraciones más detallada contribuye a una mejor comprensión del comportamiento y de las necesidades de la obra; lo que nos plantea la posibilidad de optimizar los recursos a la hora de planificar los tratamientos de intervención. A mayores la información aportada permite estimar de un modo más aproximado materiales y tiempo necesario para la restauración; incrementando la productividad y efectividad de la misma.



### 3. METODOLOGÍA DE INTERVENCIÓN.

#### UN CASO PRÁCTICO: “*LA SAGRADA FAMILIA*” DEL PALAU DUCAL DE GANDÍA.

Para poder estipular una metodología de intervención capaz de adaptar la tecnología SIG al estudio de las superficies pictóricas a través de un mapa de daños ha de tenerse en cuenta como premisa fundamental que los Sistemas de Información Geográfica son herramientas diseñadas fundamentalmente para el estudio del espacio proyectado sobre un mapa, lo que limita el tipo de obras susceptibles de ser documentadas a aquellas que presenten una “superficie plana o bidimensional”. Por este motivo hemos elegido como objeto de estudio SIG *La Sagrada Familia*, un óleo sobre lienzo de Gaspar de la Huerta (S.XVIII) recuperado gracias al proyecto "Restauración de las pinturas murales de la Galería Dorada del Palau Ducal de Gandía".

Es importante señalar que para poder concebir y contemplar el diseño y análisis de la información espacial mediante el soporte SIG el operador ha de estar familiarizado con el programa informático elegido; por lo que fue necesario adquirir una formación previa que nos capacitara para su manejo<sup>23</sup>. Con la intención de proceder con la rigurosidad que exige toda investigación de carácter técnico, ha sido fundamental contar con colaboración interdisciplinar de varios profesionales tanto del campo de la topografía como de la documentación de obras de arte: Dña. Eloína Coll Aliaga, especialista en SIG y miembro del Departamento de Ingeniería, Cartografía, Geodesia y Fotogrametría de la UPV; y D. José Madrid García, miembro del Departamento de Conservación y Restauración de la UPV y responsable del equipo de investigación de documentación y registro del patrimonio pictórico y escultórico dentro del Instituto de Restauración del Patrimonio.

Por otro lado hemos tenido en cuenta que la concepción y el diseño de un SIG no es un proceso totalmente objetivo, siendo esencial que los encargados de procesar, analizar y digitalizar los datos se integren en el desarrollo del proyecto. En nuestro caso el perfil del operador SIG ha de ser un restaurador conocedor de la problemática y de las necesidades que ofrece la obra a documentar. Por ese motivo ha sido fundamental la colaboración de Susana Martín Rey, codirectora del proyecto de restauración de *La Sagrada Familia*, e investigadora de pintura de caballete dentro del Instituto de Restauración del Patrimonio de la UPV.

En los siguientes apartados expondremos la metodología SIG desarrollada a través del mapa de daños de *La Sagrada Familia*. Éste, debido a su naturaleza experimental se ha centrado en el registro de los faltantes pictóricos pretendiendo ejemplificar a través de su tratamiento un proceso capaz de ser extrapolado al análisis de todo tipo de alteraciones. Atenderemos en primer lugar a la enumeración de los materiales empleados y a la descripción del espacio de trabajo, para continuar detallando los pasos en los que radica la creación de un proyecto SIG, qué tipo de análisis podemos realizar a través de él; y finalmente qué opciones nos ofrece a la hora de exportar y publicar las representaciones gráficas diseñadas.

---

<sup>23</sup> Asistiendo a los cursos “*Sistemas de información geográfica. Iniciación a ArcMap (Arcview 9.x)*” y “*ArcMap avanzado*” dirigidos por Eloína Coll Aliaga e impartidos en el Centro de Formación Permanente de la UPV.

### 3.1 MATERIALES EMPLEADOS

Para poder desarrollar la nueva metodología a través del estudio de *La Sagrada Familia* ha sido necesario contar con un software SIG capaz de realizar el análisis espacial de la superficie pictórica, un equipo informático capaz de soportar los requerimientos del sistema y un conjunto amplio y detallado de datos referentes a la obra a analizar.

#### 3.1.1 Software y hardware

Como plataforma para crear, tratar y analizar la información espacial hemos utilizado el ArcGIS® Desktop en su versión 9.2, un conjunto de herramientas de visualización y edición de mapas desarrollado por la empresa norteamericana ESRI® (*Environmental Systems Research Institute*)<sup>24</sup>. También se ha recurrido como apoyo informático para el tratamiento de la documentación fotográfica al empleo del Photoshop® CS4 (programa informático de tratamiento de imágenes), del CorelDRAW® X.5 y del AutoCAD® 2010 (dibujo técnico asistido por ordenador).

Para hacer funcionar el *software* mencionado hemos necesitado un ordenador capaz de satisfacer los requisitos preestablecidos por la casa ESRI® para el correcto funcionamiento de ArcGIS® Desktop 9.2<sup>25</sup>. En nuestro caso hemos contado con un HP Pavilion dv6 Notebook Pc, que cuenta con un procesador Dual Core M3290 de 2,10 Ghz de velocidad, 4 GB de memoria RAM y 267 GB de espacio en disco con Windows 7 Home Premium como sistema operativo.

Además ha sido necesario ampliar nuestro respaldo físico mediante componentes periféricos. Como ayuda para movernos por la plataforma SIG y realizar digitalizaciones sencillas nos hemos bastado con la ayuda de un ratón. Sin embargo, a la hora de procesar y vectorizar cantidades importantes de información para trazar los mapas ha sido necesario contar con el apoyo de una tableta digitalizadora<sup>26</sup>.

#### 3.1.2 Los datos

La información de entrada es el principal activo de cualquier sistema de información, y por ello “la eficacia de un SIG se mide por el tipo, la calidad y vigencia de los datos”<sup>27</sup> que se manipulan. Mientras que un SIG opera a través de fotografías aéreas y documentos cartográficos de temática diversa; para nuestros fines basta con partir del registro fotográfico de la obra. Éste ha de contar con la máxima resolución posible y unos valores adecuados de exposición con la finalidad de ofrecer la suficiente calidad en la representación que la capacite para identificar y delinear las distintas patologías y características que se van a representar en el mapa de daños con la mayor exactitud posible.

---

<sup>24</sup> Aún tratándose de uno de los packs comerciales más completos y difundidos en cuanto a geoprocésamiento se refiere, y pese a que ESRI® ofrece importantes descuentos en el ámbito de la educación a la hora de adquirir sus productos, su coste puede resultar una limitación importante a la hora de plantearse la difusión del uso de esta tecnología. Por ese motivo ha de señalarse que existen en el mercado *freeware* capaz de desarrollar el mismo tipo de trabajos, hecho que debe tenerse en cuenta y estudiarse en un futuro.

<sup>25</sup> Procesador Intel Core Duo, Intel Pentium o Intel Xeon con una velocidad de la CPU igual o mayor de 1.6 GHz, 2GB de RAM en adelante (Mín 1GB), 2.4 GB de espacio en disco y sistema operativo Windows.

<sup>26</sup> MousePen i608 de la casa Genius.

<sup>27</sup> Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (2006:107-109).

En nuestro caso hemos partido con una amplia base documental facilitada por el proyecto "Restauración de las pinturas murales de la Galería Dorada del Palau Ducal de Gandía" que recoge un importante repertorio fotográfico referente tanto al estado de conservación como a los tratamientos de intervención efectuados sobre *La Sagrada Familia* tomadas a lo largo del transcurso de los trabajos.

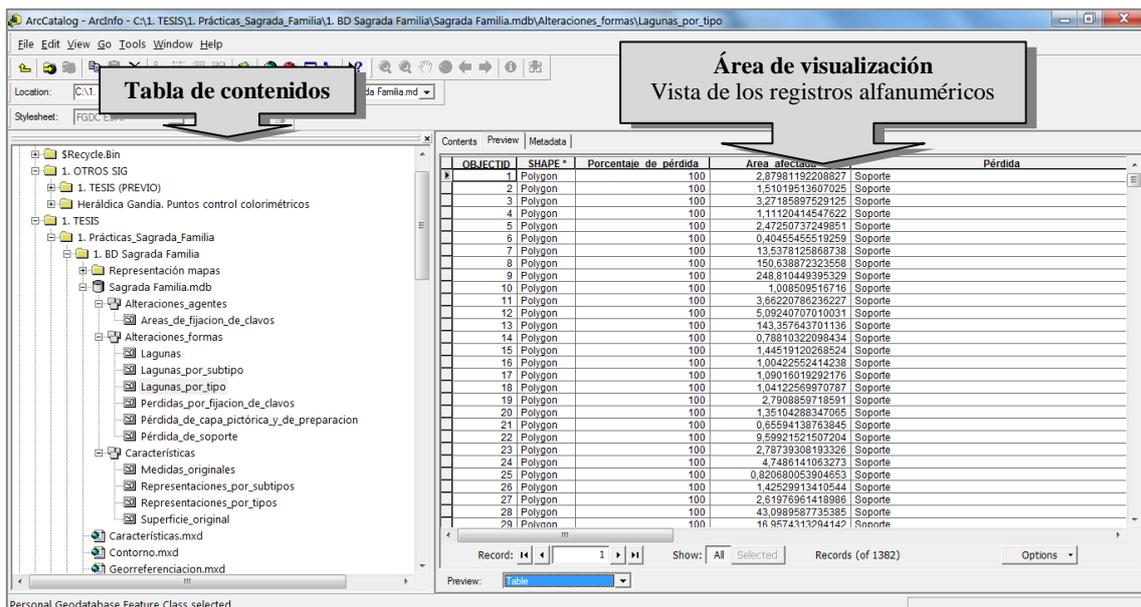
### 3.2 EL ENTORNO DE TRABAJO

Cada versión de ArcGIS®, incluida la Desktop 9.2 empleada para el presente proyecto, incluye dos aplicaciones principales denominadas ArcMap™ y ArcCatalog™<sup>28</sup>.

#### 3.2.1 ArcCatalog™

Se trata de la aplicación encargada de crear, configurar, almacenar y gestionar toda la información por medio de bases de datos geográficas. Su plataforma de trabajo se divide en dos espacios fundamentales:

- Mediante una interfaz semejante al explorador de Windows se proporciona a la izquierda de ArcCatalog el acceso al disco duro para posibilitar la creación y organización de los diferentes archivos constitutivos de un proyecto SIG.
- En el espacio de la derecha podemos acceder a la previsualización de las distintas capas de información que dan forma a los mapas y de los registros alfanuméricos de los elementos que en ellas se representan.



**Ilustración 2:** Aspecto y distribución de ArcCatalog™, aplicación de ArcGIS® destinada al madejo de geodatabases.

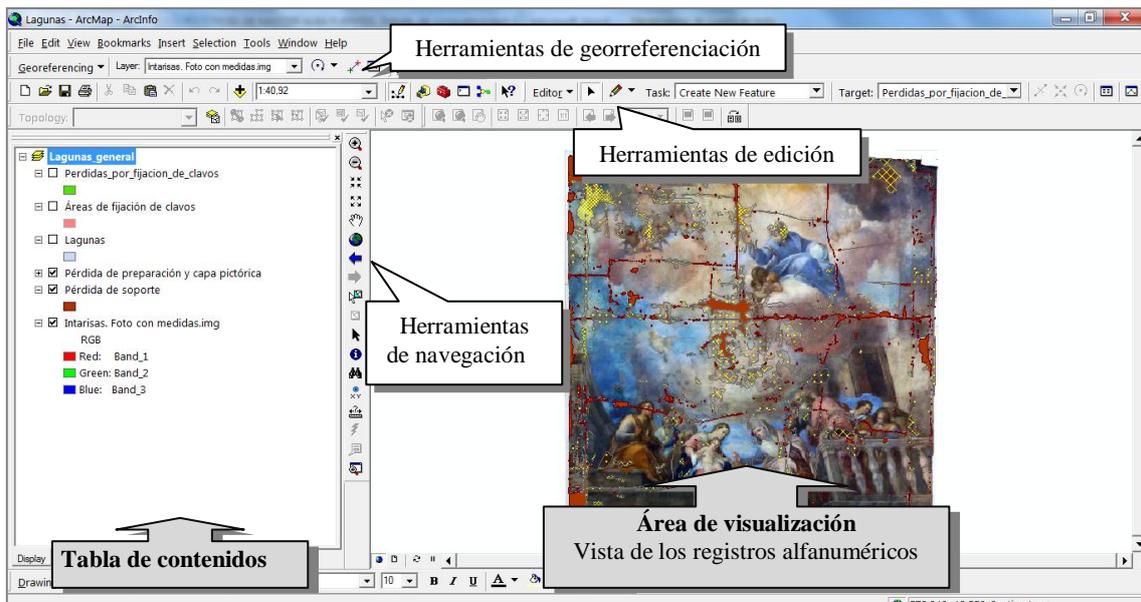
<sup>28</sup> Para familiarizarse con este entorno de trabajo resulta de gran utilidad la guía *What is ArcGIS?* (ESRI, 2002).

### 3.2.2 ArcMap™

Se trata de la aplicación principal de ArcGIS® para trabajar con mapas. Ha de recurrirse a ella para poder visualizar, crear, editar, consultar, analizar y presentar la información espacial. Su interfaz se divide en dos partes:

- Una tabla de contenidos que muestra el orden y el nombre de todas las capas presentes en nuestro mapa junto con el código de leyenda que facilita su identificación.
- Un área central de visualización destinada a representar los datos espaciales recogidos.

Los distintos tipos de herramientas se suelen situar en la barra de menús. Para cubrir las necesidades específicas de un restaurador las más importantes son las de navegación o *Tools*, que nos permiten movernos por los mapas y realizar consultas sobre sus elementos; las de georreferenciación o *Georeferencing* que proyectan las medidas reales de la obra sobre su fotografía y las de edición o *Editor* encargadas de digitalizar la información que se va a registrar en nuestros mapas.



**Ilustración 3:** Interfaz de ArcMap™, aplicación destinada al trabajo general con mapas.

## 3.3 BASE DE UN PROYECTO SIG: LA GEODATABASE

Todos los elementos y atributos de los mapas que van registrar la superficie del cuadro de *la Sagrada Familia* van a estar almacenados y recogidos en una geodatabase<sup>29</sup>. Se trata de la médula espinal de un trabajo SIG; y por lo tanto su creación es el punto de partida.

Al igual que si se tratase una base de datos relacional de carácter convencional, el paso fundamental para la creación de una geodatabase es el diseño de su estructura. Ésta ha de contener los aspectos que de

<sup>29</sup> Una geodatabase es un “conjunto de elementos geográficos con sus respectivos atributos que están incluidos en un sistema de gestión de bases de datos relacional” (Coll et al., 2010:6).

forma tradicional se han venido registrando en los mapas de daños, englobando la información referente al estado de conservación y las características principales de la obra. Dentro del estado de conservación se recogerán en un apartado las formas de alteración más significativas (centrándonos en la documentación de los faltantes); y se incluirá un segundo grupo con el registro de los agentes de alteración que han participado activamente en la degradación del lienzo<sup>30</sup>. A estos dos bloques fundamentales le añadiremos un tercero denominado “características” que va a ser el encargado de representar aspectos como las dimensiones iniciales del lienzo o el tipo de motivos iconográficos que aparecen representados. Este esquema base puede ser completado con otros apartados que recojan estudios complementarios (como el registro espacial de muestras o incluso el análisis colorimétrico de su superficie).

Definido el contenido que ha de presentar la geodatabase de *La Sagrada Familia*, se procede desde la aplicación ArcCatalog<sup>TM</sup><sup>31</sup> a la creación y estructuración de los distintos ficheros que recogen la información espacial. Los tres bloques de información o apartados temáticos se proyectan sobre una *feature dataset*, especie de “carpeta” encargada de agrupar capas de información con una relación temática en común. A su vez, estos tres apartados serán los encargados de ir almacenando las distintas capas de información recogidas en unidades estructurales básicas, las *feature class*. Éstas consisten en una colección de elementos vectoriales con el mismo tipo de geometría y atributos.

**Tabla 2:** Estructura de almacenamiento del mapa de daños de *La Sagrada Familia*. Diseñada siguiendo los patrones descritos en estas líneas.

<b>BD SAGRADA FAMILIA</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Alteraciones agentes (<i>feature dataset</i>).</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Áreas de fijación de clavos (<i>feature class</i>).</li> <li>○ ...</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Alteraciones formas (<i>feature dataset</i>).</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pérdida de soporte (<i>feature class</i>).</li> <li>○ Pérdida de capa pictórica y de preparación (<i>feature class</i>).</li> <li>○ ...</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Características (<i>feature dataset</i>).</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Medidas originales (<i>feature class</i>).</li> <li>○ Representaciones por tipo (<i>feature class</i>).</li> <li>○ Representaciones por subtipo (<i>feature class</i>).</li> <li>○ ...</li> </ul> </li> </ul>	

<sup>30</sup> Limitándonos al registro de las áreas de clavos para ejemplificar las posibilidades que puede ofrecer la inclusión de este tipo de información.

<sup>31</sup> Que como hemos explicado en párrafos anteriores, es la encargada de crear y gestionar las bases de datos espaciales.

### 3.4 TRATAMIENTO ESPACIAL: LA GEORREFERENCIACIÓN

Una de las principales novedades que ofrecen los SIG en el trazado de un mapa de daños es la posibilidad de georreferenciar la imagen que sirve de base. Este procedimiento previo a la edición tiene la importantísima ventaja de que permite aportarle medidas reales al trazado de las alteraciones y calcular fácilmente las áreas de los elementos representados; lo que incrementa sustancialmente la precisión y cantidad de información ofrecida en el documento.

#### 3.4.1 Aspectos técnicos

La georreferenciación es posible gracias a la proyección sobre la fotografía de la obra de un sistema cartesiano bidimensional basado en unidades métricas; de tal modo que el eje de las (x) registra el ancho de la obra y el de las (y) las alturas, referenciando todos los puntos incluidos en su contorno.

Para que las medidas de la fotografía se correspondan con las dimensiones reales del lienzo se recurre a un proceso matemático que transforma las coordenadas de la imagen en las coordenadas reales mediante la aplicación de varios puntos de control<sup>32</sup>. Este proceso puede reproyectar o cambiar la forma de la imagen, es decir, rectificarla o estirla para que se ajuste a las nuevas medidas, lo que introduce un cierto grado de error espacial<sup>33</sup>. Debido a esto la fidelidad de los valores bidimensionales obtenidos a través de la georreferenciación depende de la calidad y precisión representativa de la fotografía de partida.

Para el estudio de un determinado espacio geográfico los SIG emplean como imágenes de base fotografías aéreas. Éstas pueden ser verticales<sup>34</sup> u oblicuas, siendo las verticales las más adecuadas por presentar menos distorsión espacial<sup>35</sup> ya que las fotografías oblicuas tienen que rectificarse. A la hora de aplicar el SIG sobre la superficie de un cuadro es importante tener en cuenta estos aspectos de carácter técnico; y siempre que sea posible realizar para nuestros fines específicos fotografías verticales que minimicen las deformaciones y los errores espaciales.

Sin embargo, un análisis SIG puede plantearse una vez iniciados o incluso finalizados los trabajos de intervención y documentación de una superficie pictórica. En este supuesto lo más normal es que el material fotográfico haya sido elaborado a priori; consistiendo seguramente en fotografías de toma oblicua con cierto grado de distorsión. Esto requerirá la georrectificación del material fotográfico de partida para que se ajuste a las dimensiones reales de la obra, por lo que su nivel de exactitud con fines analíticos será menor.

#### 3.4.2 Georreferenciación de la superficie pictórica

En nuestro caso, para analizar el estado de conservación de *La Sagrada Familia* se ha partido de una fotografía del lienzo extendido efectuada tras la limpieza. Ésta fue tomada con anterioridad al inicio del presente proyecto de investigación, por lo que no ha sido posible intervenir en la obtención de una imagen optimizada en función de las necesidades técnicas del proyecto SIG. Contamos por tanto con una imagen obtenida a priori, oblicua, y con cierta deformación en la representación del lienzo. Esto ha hecho

---

<sup>32</sup> Conolly (2009:118-119).

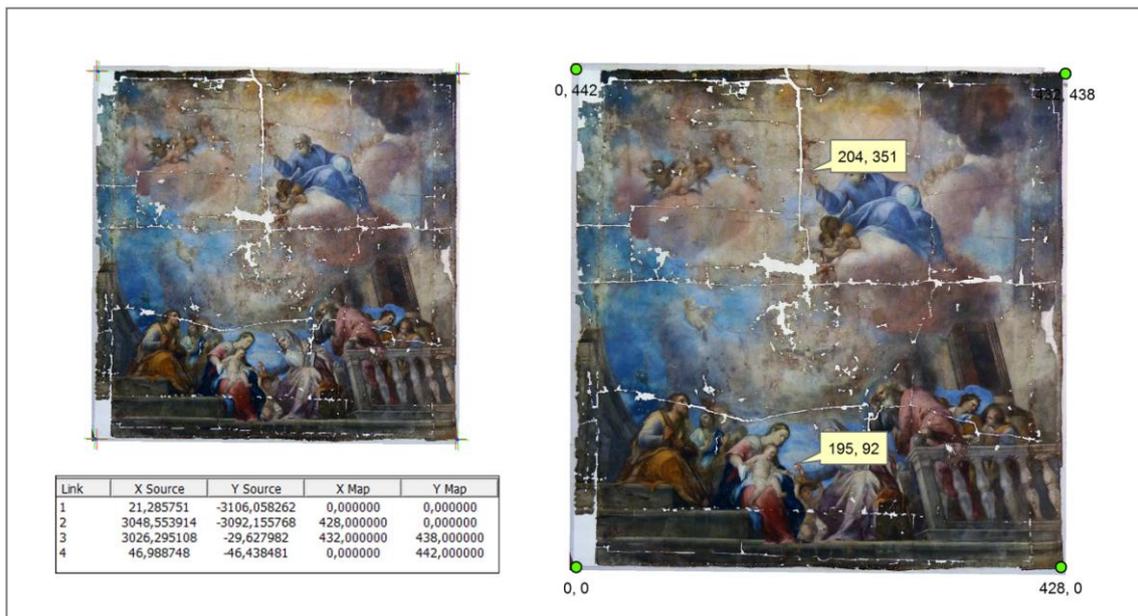
<sup>33</sup> El proceso combinado de corrección de distorsiones e introducción de un sistema de coordenadas se llama georrectificación (Conolly, 2009:127).

<sup>34</sup> Tomadas con el eje de cámara vertical a la superficie

<sup>35</sup> Conolly (2009:103).

necesaria su georrectificación, mediante la que se ha logrado aportar la forma y el valor de las coordenadas reales de lienzo por medio del establecimiento de puntos de control distribuidos de forma equitativa alrededor del perímetro del paño.<sup>36</sup>

En ese momento de la intervención *La Sagrada Familia* contaba con unas medidas lineales de 428 cm en su lado inferior, 432 cm en el superior, 442 cm en su lado izquierdo y 438 cm en el derecho; quedando definido su contorno en la georreferenciación de la fotografía por las coordenadas especificadas en centímetros (0,0), (428,0), (432,438) y (0,442). Tras este proceso también se puede determinar la localización exacta de cualquier punto contenido en el cuadro; tal y cómo se observa en la ilustración 4 (en la que hemos referenciado dos puntos concretos de la representación por medio de las coordenadas (195,92) y (204,351)). Sin embargo es importante señalar que la imagen ha sufrido rectificaciones durante la georreferenciación por poder ajustarse a la forma real de la obra; lo que introduce un cierto grado de error espacial.



**Ilustración 4:** Aplicación de los puntos de control e imagen georreferenciada de *La Sagrada Familia* mediante pares de coordenadas definidas en centímetros.

### 3.5 LA EDICIÓN DE LOS MAPAS DE DAÑOS

Una vez referenciada la fotografía de base con las dimensiones reales de *La Sagrada Familia* se procede a editar los mapas de daños encargados de recoger las patologías que afectan a su superficie.

#### 3.5.1 Modelos de datos

Para digitalizar la información espacial que ha de ser recogida en un mapa, los SIG se valen de dos tipos de modelos de datos: los vectoriales y los ráster<sup>37</sup>.

<sup>36</sup> Para profundizar más en la obtención de datos espaciales y en los procesos de georreferenciación de fotografías se aconseja recurrir a Conolly (2009:119-122).

<sup>37</sup> Baena (1997:11-16) y Conolly (2009:45-55).

- La estructura vectorial es el modelo de datos encargado de representar entidades concretas. A través de los vectores el SIG registra la extensión de cada unidad y le asigna de modo automático un identificador para asociarlo con la información que define sus propiedades.
- La estructura ráster es el modelo de datos que guarda el cometido de representar entidades con límites borrosos; campos continuos con zonas de transición donde los atributos varían de forma leve y constante.

Según los modelos de datos posibles, en nuestro campo de aplicación la estructura ráster sería la más adecuada para registrar aspectos como los diferentes grados de humedad y temperatura superficial que pueda caracterizar al microclima de una obra pictórica. Sin embargo, la representación de patologías como el tipo de faltantes, claramente delimitadas en un espacio concreto, debe sustentarse en el uso de vectores.

Un vector puede definirse como “un término matemático que se refiere a una o más coordenadas para definir un objeto en el espacio cartesiano”<sup>38</sup>. En la estructura vectorial las entidades del mundo real se representan mediante uno de los tres elementos geométricos básicos: los puntos, las líneas y los polígonos; siendo fijada la localización y los límites de cada elemento con uno o más pares de coordenadas (x, y) llamadas vértices.

- Los puntos son objetos de dimensión cero<sup>39</sup> definidos por un solo par de coordenadas. Pese a no estar incluidos en nuestro mapa de daños, podrían emplearse para introducir la localización exacta de una muestra, o los puntos de medición de un análisis colorimétrico.
- Las líneas son vectores unidimensionales<sup>40</sup> definidos por dos o más pares de coordenadas. Éstas pueden servir para representar las fisuras presentes en una obra.
- Los polígonos o áreas son objetos bidimensionales definidos por tres o más pares de coordenadas. Son los vectores encargados de delimitar el área de las alteraciones y resto de características recogidas en nuestro mapa de daños.

Los datos vectoriales, definidos por una morfología y localización espacial determinadas, se mantienen como unidades distintas; por lo que el SIG puede registrarlos individualmente y otorgarle a cada objeto un número de identificación (ID). A su vez, sobre la base de ese identificador único, cada entidad puede vincularse a un conjunto de atributos adicionales que describen las propiedades de ese objeto y que se recogen en una base de datos interna (la geodatabase). Algunas de estas propiedades, que consisten en variables cuantitativas y cualitativas del mundo real, el SIG las introduce de forma automática por medio de distintos cálculos matemáticos (como el área y el contorno de cada vector). A mayores ofrece la posibilidad de incluir los campos complementarios deseados, introduciendo la información alfanumérica como si de una base de datos convencional se tratara.

### 3.5.2 Mecanismos de vectorización

La manera en la que ArcGIS® almacena la información vectorial en una geodatabase es a través de las unidades más básicas de almacenamiento, las *feature class*. Estos contenedores se editan y representan en ArcMap; visualizándolas como capas capaces de ir superponiéndose unas a otras dentro de un mapa con la finalidad de poder realizar distintas combinaciones y diferentes lecturas de la información registrada.

---

<sup>38</sup> Conolly (2009:47).

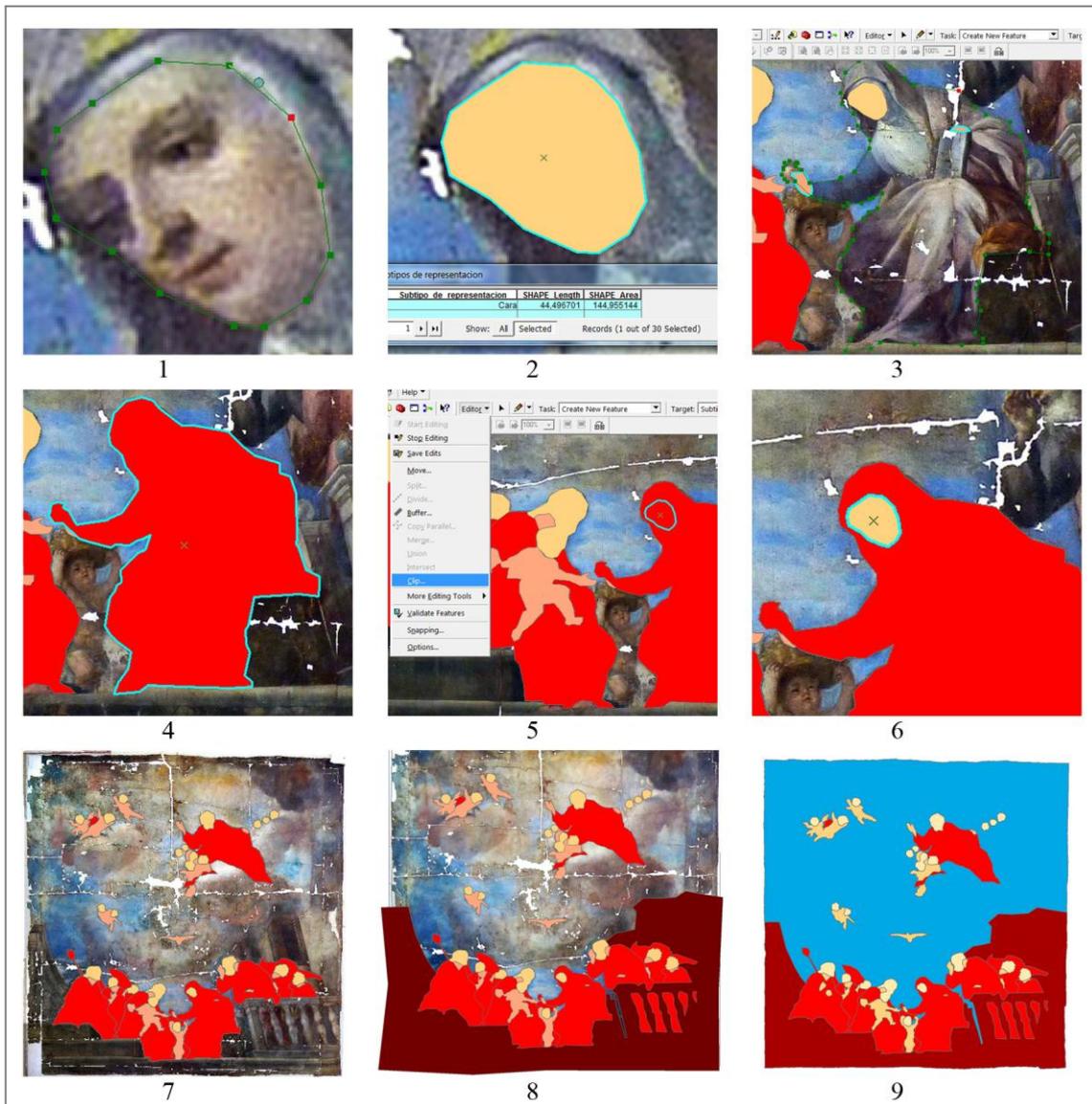
<sup>39</sup> Ya que no tienen ni longitud ni anchura.

<sup>40</sup> Presentan longitud, pero no anchura.

En el presente proyecto la vectorización de cada capa de información se ha llevado a cabo siguiendo dos tipos de procedimientos distintos que describimos a continuación.

a) *Manual*

El proceso convencional que ArcGIS® estipula para registrar cada uno de los vectores que conforman las capas de información se lleva a cabo de forma manual localizando los vértices definitorios a través de una serie de herramientas de edición. Éstas, que presentan una interfaz muy semejante a la de los programas informáticos de diseño técnico, incorporan la opción de realizar operaciones con los vectores que se están editando; sumando, restando o intersectando áreas.



**Ilustración 5:** Ejemplo de vectorización manual. Capa “Representaciones por subtipo”.

Estas mejoras permiten agilizar el proceso de vectorización a la hora de abordar un registro sencillo. Sin embargo, en superficies de gran tamaño con un abundante número de entidades a digitalizar como la que nos ocupa, este proceso demanda gran cantidad de tiempo. Surge así la necesidad de desarrollar un método alternativo que permita la sistematización del proceso, paso fundamental para hacer viable la presente metodología.

b) *Automático*

Valiéndonos de un programa de tratamiento de imágenes<sup>41</sup> podemos autoseleccionar gran número de aspectos de una obra de un modo automático y rápido, siendo conveniente manipular los contrastes de la fotografía de partida con la intención de resaltar los tipos de entidades que pretendemos incluir en la selección. Los contornos de las áreas seleccionadas, independientemente de su número, son transformados en trazados capaces de ser reconocidos por programas tipo CAD<sup>42</sup>. Este tipo de programas informáticos de diseño técnico tiene un uso muy extendido en la manipulación de información espacial; por lo que las versiones de ArcGIS® Desktop 9.x están capacitadas para leer e incorporar directamente archivos DXF o DWG<sup>43</sup>.

En este punto ya se pueden incluir el conjunto de polígonos definitorios como una capa de nuestro mapa de daños. Sin embargo, para manipular la información debe transformarse en un formato SIG propiamente dicho: una *feature class* capaz de formar parte directa de una geodatabase<sup>44</sup>.

Respecto a la sistematización del proceso cabe señalar que uno de los problemas que puede ocasionar la selección automatizada de determinadas tipologías consiste en que ciertas zonas hayan sido total o parcialmente excluidas bien por la semejanza con su entorno, bien por presentar en su registro fotográfico una tonalidad diferente al del conjunto seleccionado. Con un trabajo de selección bien definido estas excepciones son muy puntuales, pudiendo ser corregidas directamente en ArcMap mediante la digitalización de las áreas faltantes (ya sean totales o parciales).

### 3.5.3 Vectorización de las capas de información

Partiendo de las metodologías posibles de vectorización se procede a digitalizar una a una las distintas capas que constituyen el mapa de daños. En nuestro caso se han comenzado editando las encargadas de registrar las formas de alteración (“pérdida de soporte” y “pérdida de capa pictórica y de preparación”), seguida de las de características (“medidas originales”, “representaciones por tipo” y “representaciones por subtipo”) y finalmente las de agentes de alteración (“áreas de fijación de clavos”). Para ello se ha recurrido al mecanismo de vectorización más adecuado en función de la naturaleza y de las características de la información a incorporar:

a) *Pérdida de soporte*

La fotografía de base para nuestro mapeo registra un momento de la obra en el que este tipo de alteraciones ya han sido intervenidas y subsanadas por medio de intarsias, lo que resalta en blanco las zonas de faltas ya tratadas del resto del lienzo. Esta circunstancia posibilita que los contornos de los faltantes estén claramente delimitados dentro del conjunto pictórico; haciendo viable vectorizar el conjunto de forma automática importándose 916 polígonos a través de la selección previa de las lagunas<sup>45</sup>.

---

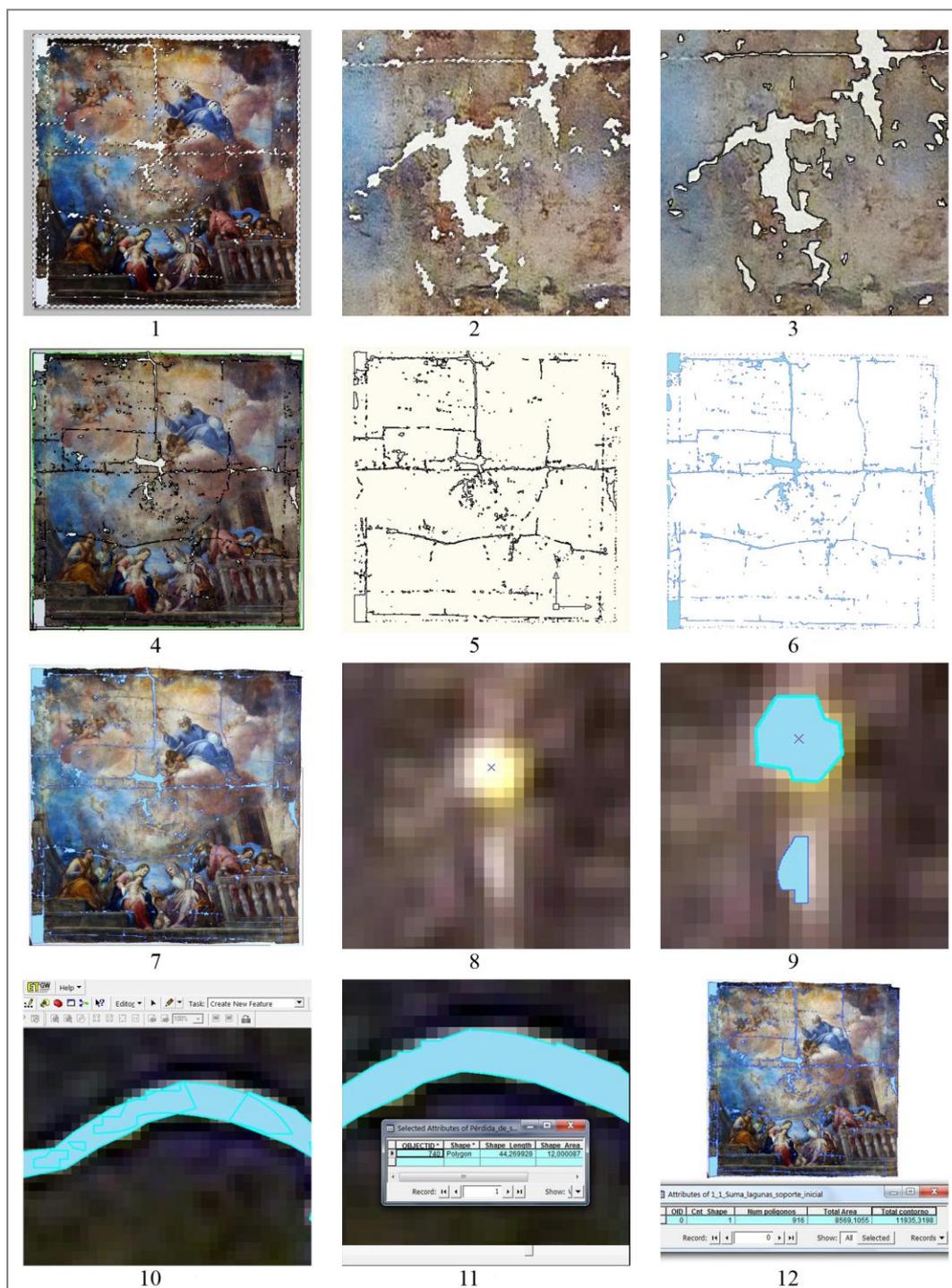
<sup>41</sup> Adobe Photoshop CS4®.

<sup>42</sup> En nuestro caso recurrimos al más difundido, el AutoCAD 2010® de Autodesk.

<sup>43</sup> Archivos CAD.

<sup>44</sup> Las *feature class* importadas carecen de referencias geográficas; por lo que mediante las herramientas de edición y escala, y con la fotografía georeferenciada como base, se les debe aportar las dimensiones y ubicación concretas para dar por finalizado el proceso de importación.

<sup>45</sup> Cabe señalar que en un primer momento la capa de pérdidas de soporte fue editada de modo manual, creando 2480 polígonos en 14 horas que se sumaron para representar 888 lagunas. La cantidad de tiempo requerido para crear esta capa fue la que generó la necesidad de desarrollar una metodología alternativa más eficaz.



**Ilustración 6:** Pasos más significativos del proceso de vectorización automático ejemplificado con la edición de “Pérdida de soporte”. Comienza por la selección de las lagunas y su conversión a trazados (1-4). Posteriormente se importada a ArcGIS® (6) a través de un archivo CAD (5). Finalmente se incorporan manualmente las zonas total o parcialmente excluidas (8-11).

Una vez creada la capa de pérdida de soporte se han tenido que realizar ciertas correcciones e incluir en el registro las lagunas que no habían sido reconocidas. Para ello se han delimitado a mayores 95 polígonos manualmente.

Tras concluir los procesos de edición de la capa de soporte (representados en la ilustración 6), ésta cuenta con 824 vectores poligonales que se corresponden con el número de pérdidas de soporte.

Respecto a estos datos es importante puntualizar que debido a una resolución de imagen insuficiente como base de la vectorización, las lagunas de un tamaño inferior a 0,2 cm<sup>2</sup> no eran claramente discernibles; por lo que no se podía asegurar que estuvieran todas incluidas. Para evitar una discriminación irregular se han eliminado previamente todos aquellos registros que no alcanzaban estas dimensiones mínimas<sup>46</sup>. El hecho de no poder incluir este tamaño de faltas implica que los números de lagunas registrados son aproximados. Sin embargo, y pese a la indiscutible pérdida de precisión que esto conlleva, el tamaño total de las áreas excluidas es muy bajo; pudiendo asegurar que su discriminación afecta de un modo muy limitado al cómputo total de las pérdidas de soporte.

#### b) *Pérdida de capa pictórica y de preparación*

Gran cantidad de faltantes que afectan a la capa pictórica y a la de preparación se entremezclan a lo largo de la superficie del lienzo. La imposibilidad de discernir con claridad su tipología ha marcado la necesidad de agruparlas dentro de la misma cobertura de información.

A su vez estos faltantes generalmente presentan unas dimensiones muy reducidas, agrupándose y conformando núcleos de alteración. Debido a esto no ha sido posible realizar su registro individualizado, siendo recogidos por áreas a las que se les ha designado un grado de pérdida del 25, 50, 75 o 100%. El hecho de tener que realizar esta clasificación unido a la heterogeneidad de las zonas de lagunas nos ha obligado a vectorizar de forma manual; lo que se ha hecho delimitando los límites de cada área con las herramientas de edición y asignándoles al momento su grado de pérdida dentro de la tabla que recoge sus atributos (Ilustración 7).

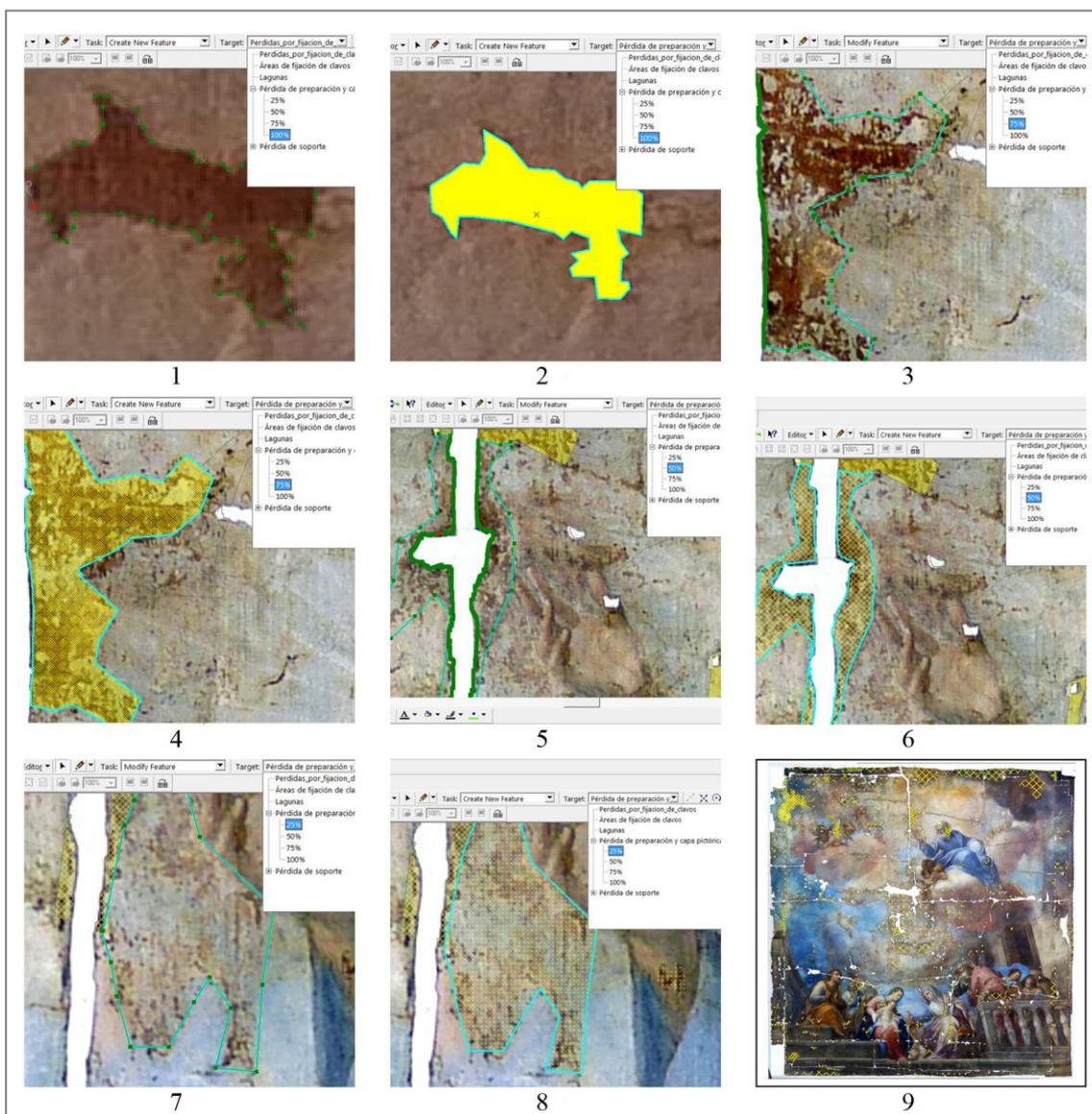
#### c) *Medidas originales*

El polígono correspondiente al contorno que presentaba *La Sagrada Familia* en el momento de la representación fotográfica ha sido importado de forma automática a través de su fotografía. Éste conservaba numerosas irregularidades debido a que los bordes no se encontraban completamente reintegrados y el área original aparecía incompleta.

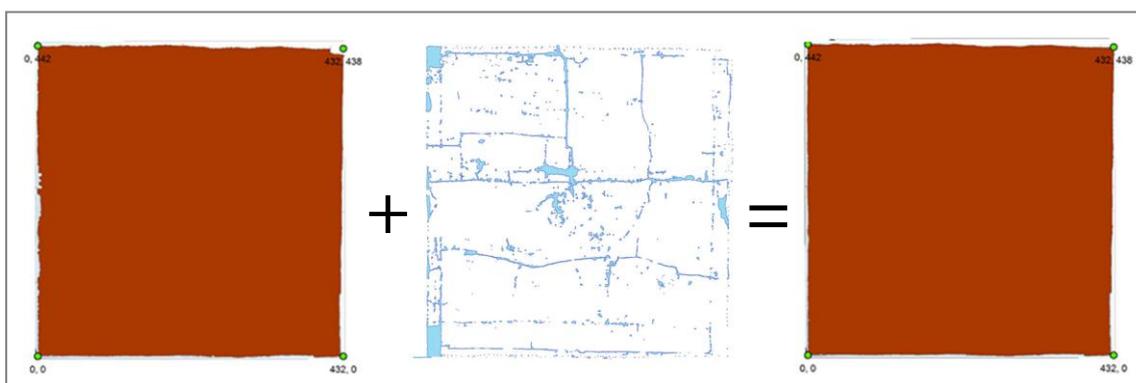
Comparando la imagen resultante con las faltas de soporte previamente editadas se pudo observar que dichas irregularidades se debían a numerosas faltas que rompían la superficie de sus bordes. Así, para poder obtener de un modo aproximado tanto la forma como el área con las que contaba el cuadro inicialmente, se han sumado los vectores que registraban la presencia de estas lagunas en el contorno (Ilustración 8).

---

<sup>46</sup> Un total de 187 lagunas. La mayoría de los polígonos eliminados correspondían a ruido procedente de la autoselección y presentaban un área de entre 0,02 y 0,1 cm<sup>2</sup> (un tamaño no mayor a cuatro píxeles de nuestra imagen).



**Ilustración 7:** Edición de “Pérdida de capa pictórica y de preparación” delimitando núcleos de alteración a los que se les ha designado un porcentaje de daño del 100 (1-2), 75 (3-4), 50 (5-6) o 25% (7-8).



**Ilustración 8:** Obtención de las “Medidas originales” sumándole al contorno del paño las áreas de las faltas que aún conserva.

d) *Representaciones por subtipo*

A la hora de plasmar en el mapa las representaciones figurativas de *La Sagrada Familia* ha sido conveniente comenzar por la delimitación de los subtipos, ya que descomponen las imágenes en niveles más pequeños de información.

En esta capa las representaciones figurativas se recogen por medio de polígonos y se clasifican en un campo de texto en función de cinco tipologías (o subtipos): las partes de la obra correspondientes al cielo, a la arquitectura, al rostro de las figuras, a los cuerpos y finalmente a sus vestimentas y atributos.

Debido a la complejidad figurativa del lienzo la vectorización tuvo que llevarse a cabo de un modo manual<sup>47</sup>. Esto implicaba ir delimitando los perfiles de cada elemento representativo por medio de sus vértices. Sin embargo, gracias a la posibilidad que nos ofrecen los SIG de realizar operaciones con las figuras, al definir las formas se les han ido restando partes de otras ya registradas; evitando procesar dos veces un mismo perfil compartido y agilizando los tiempos de edición (Ilustración 5).

e) *Representaciones por tipo*

En esta capa las representaciones pictóricas se estructuran en fondo y figura. Como se trata de una división de la información más sencilla que la capa de subtipos trazada previamente, para obtenerla ha bastado con partir de una copia de los subtipos e ir uniendo las diferentes partes que configuran una figura (rostro, cuerpo y vestimentas) y las que configuran el fondo del lienzo (arquitectura y cielo).

f) *Áreas de fijación de clavos*

Como ejemplo de la información que puede ofrecer el registro de un determinado agente de alteración, hemos editado una capa encargada de recoger aquellas zonas en las que la antigua presencia de clavos<sup>48</sup> había causado pérdidas matéricas en el soporte del lienzo.

Muchas de estas zonas en la actualidad se encuentran insertas en lagunas de mayor tamaño (a causa de la combinación de diversos factores de deterioro). La imposibilidad de precisar qué porcentaje de pérdida se debe exclusivamente a la acción de estos elementos de sujeción nos ha condicionado a excluirlas de nuestro registro; quedando pendiente encontrar un sistema que nos permita salvar este tipo de limitaciones en un futuro.

Una vez más ha sido necesario proceder a la digitalización de las áreas valiéndonos de una selección subjetiva, lo que ha implicado recurrir a un proceso de vectorización manual.

### 3.5.4 Obtención de capas por integración de la información

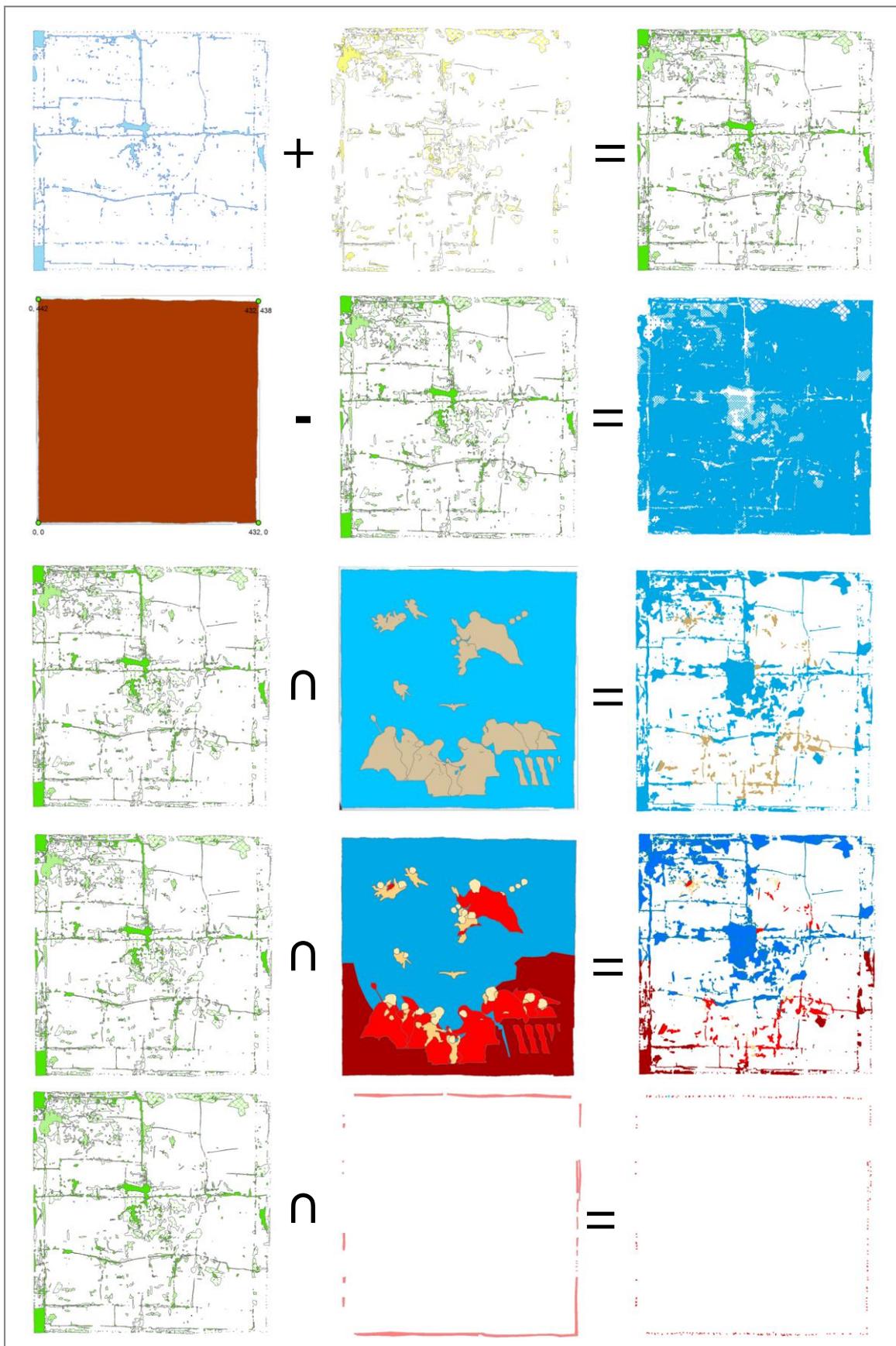
A diferencia de los sistemas informáticos tradicionales, los SIG están habilitados para identificar las relaciones espaciales existentes entre las capas de un mapa de daños. Esto implica la posibilidad de operar con las coberturas vectorizadas para generar nuevas capas de datos de carácter analítico.

Gracias a esto, sumando la capa de “Pérdida de soporte” y la de “Pérdida de capa pictórica y de preparación” se ha podido obtener otra capa que recoge la totalidad de los faltantes que afectan a la obra.

---

<sup>47</sup> Sin embargo, este proceso ofrecería gran sencillez si nos encontráramos frente a cuadros de colores planos, ya que se podrían introducir los contornos de los distintos tipos de figuras mediante su selección previa.

<sup>48</sup> Para fijar el cuadro al bastidor.



**Ilustración 9:** Conjunto de operaciones realizadas con las capas de información espacial.

A su vez, esta unión permite restarle al contorno inicial del lienzo las lagunas que presenta, obteniendo una nueva capa que muestra de un modo gráfico la superficie original conservada en *La Sagrada Familia*.

De la intersección de la capa de faltantes con la de los tipos de representación hemos obtenido otra cobertura que indica qué lagunas están localizadas en el fondo del lienzo y cuales en las figuras. Del mismo modo, uniendo la información de las lagunas con los subtipos de representación hemos podido realizar una descripción más detallada de la iconografía perdida; pudiendo situarla en cielo, arquitectura, rostro, cuerpo o vestimenta y atributos.

Por último, entre muchos tipos posibles de cruzamiento de la información, se ha combinado la capa que registra las áreas de presencia clara de clavos con las faltas de soporte; adjudicando a este agente de alteración las pérdidas causadas<sup>49</sup>.

### 3.6 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS ALTERACIONES

Como producto de un mapa de daños confeccionado por medio de un SIG no sólo obtenemos un conjunto de representaciones gráficas de una calidad excelente, sino que también generamos de modo automático una serie de tablas con información cualitativa y cuantitativa a cerca de los elementos representados.

De los atributos recogidos a través de nuestros mapas el más relevante es la expresión cuantitativa de las áreas<sup>50</sup>. Gracias a esta capacidad de determinar las dimensiones numéricas de cualquier entidad de nuestro mapa que se han podido calcular datos concretos sobre la superficie del lienzo:

- Partiendo de la representación aproximada del contorno inicial de la obra se ha estimado que *La Sagrada Familia* contaba con una superficie de 18,908 m<sup>2</sup>.
- El registro gráfico de las pérdidas de soporte presenta 824 entradas que se corresponden con el número de lagunas y que suman un área total de 0,874 m<sup>2</sup><sup>51</sup>. El análisis alfanumérico de sus áreas también nos ha permitido fijar en 0,2 cm<sup>2</sup> las dimensiones mínimas registradas, y en 0,161 m<sup>2</sup> el área más grande; lo que supone el 18,42% de las pérdidas de soporte.
- Al contemplar en nuestro mapa de daños las zonas de presencia de clavos hemos podido calcular que han causado 137,30 cm<sup>2</sup> de faltas en el soporte, lo que supone el 1,57% de las pérdidas totales en este estrato<sup>52</sup>.

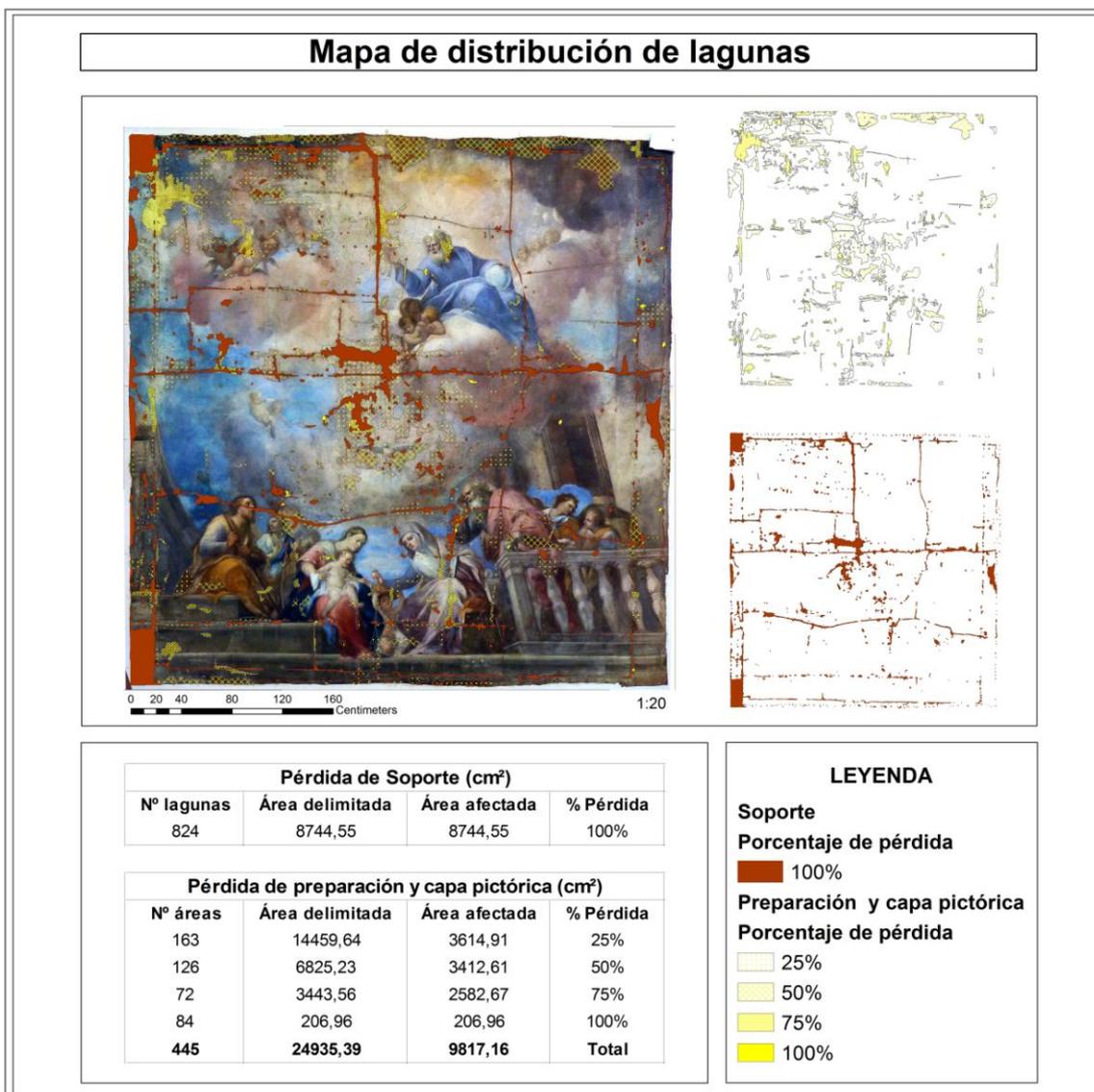
---

<sup>49</sup> Ya que, como hemos indicado con anterioridad, hemos tenido que excluir aquellas zonas en las que la acción de los clavos sobre el soporte se combinaba con otros procesos de deterioro generando lagunas de mayor tamaño.

<sup>50</sup> Éstas se calculan mediante un sistema que divide la forma general de un polígono en trapecios más pequeños para poder sumar sus distintas áreas y obtener el área total (Conolly y Lake, 2009:45).

<sup>51</sup> Debido a las grandes dimensiones del cuadro, la resolución de la fotografía de partida no ofrecía precisión suficiente para poder incluir en el mapeo las faltas inferiores a 0,2 cm<sup>2</sup>; lo que implica que los datos a cerca del número de lagunas y las áreas totales afectadas por este tipo de alteración ofrecen datos aproximados.

<sup>52</sup> Cálculos realizados a la baja.

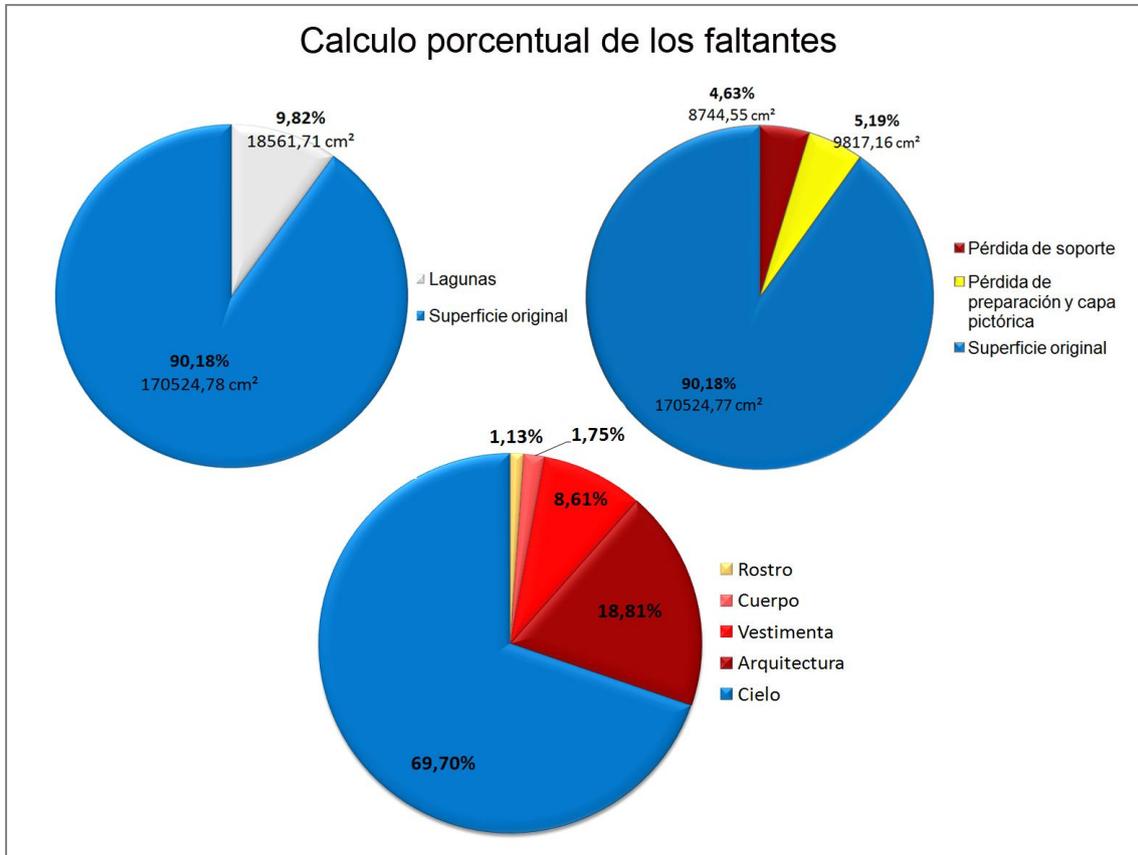


**Ilustración 10:** Distribución de los faltantes de *La Sagrada Familia* en función del estrato afectado, acompañado de los valores cuantitativos de sus áreas.

- La capa correspondiente a las pérdidas de capa pictórica y de preparación alcanza un área de 0,981 m<sup>2</sup>; afectando el conjunto de lagunas a un total de 1,856 m<sup>2</sup>.
- De la integración por superposición de la capa de lagunas y la que clasifica el distinto tipo de imágenes representadas se ha creado un mapa temático que recoge la distribución de las faltas por motivos iconográficos; ofreciendo una información muy significativa a cerca del tratamiento pictórico del sustrato perdido y del distinto grado de complejidad que puede entrañar su reintegración.

Los cálculos ofrecidos por este mapa sitúan las mayores pérdidas en el cielo, con 1,293 m<sup>2</sup> afectados, seguido de la arquitectura con 0,349 m<sup>2</sup>, la vestimenta y atributos con 0,159 m<sup>2</sup>, el cuerpo 0,032 m<sup>2</sup> y el rostro con 0,020 m<sup>2</sup> de pérdidas.

- Finalmente, a partir del cómputo global de las alteraciones se ha podido obtener un cálculo porcentual del alcance de las lagunas. Éstas están presentes en un 9,82% de su superficie (correspondiéndose un 4,63% a faltas de soporte y un 5,19% a pérdidas en la capa pictórica y en la de preparación) lo que implica que según nuestros cálculos estimativos *La Sagrada Familia* conserva un 90,18% de superficie original (17,052 m<sup>2</sup>). Esta descripción porcentual de los faltantes se puede precisar situando el 69,70% en el cielo, el 18,81% en la arquitectura, el 8,61% en las vestimentas y atributos, el 1,75% en los cuerpos y el 1,13% en los rostros.



**Ilustración 11:** Descripción porcentual del alcance de las lagunas en *La Sagrada Familia*.

### 3.7 LAYOUT: PRESENTACIÓN DE LOS MAPAS

El último paso de un proyecto de SIG es el diseño de los mapas que han de mostrar de un modo gráfico y con la mayor legibilidad posible toda la información generada a través de los análisis espaciales. En este sentido, y como programa diseñado para el manejo de la información espacial, ArcGIS® Desktop supone una gran ayuda a la hora de maquetar y exportar un mapa de daños con una calidad excelente en unos tiempos mínimos.

En primer lugar ofrece la posibilidad de crear plantillas para poder conferirle a un conjunto de mapas la misma apariencia de un modo rápido y sencillo. Éstas están hechas a partir de marcos de datos que pueden contener mapas, fotografías, leyendas o incluso documentos de texto. Su tamaño (A4, A3, A2...) y orientación también se pueden establecer en función de la escala en la que convenga mostrar los mapas para su correcta visualización.

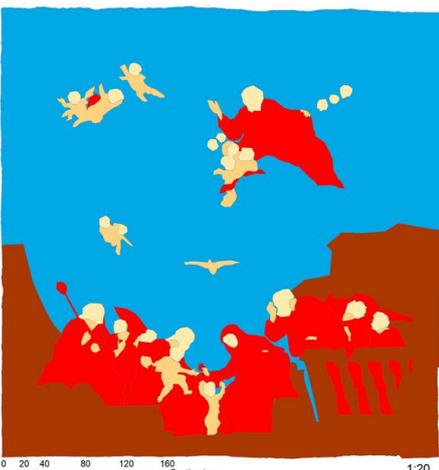
**TÍTULO**



**LEYENDA**

**OBSERAVIONES**

**Distribución de los subtipos de representación de "La Sagrada Familia".**







**LEYENDA**

**Subtipos de representación**

- Rostro
- Cuerpo
- Vestimenta y atributos
- Arquitectura
- Cielo

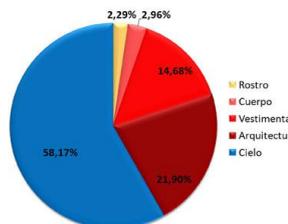
**OBSERAVIONES**

"La Sagrada Familia", S. XVIII.  
Óleo sobre lienzo, 437 x 424,5 cm.  
Gaspar de la Huerta  
Galería Dorada, Palau Ducal de Gandía.

Aspectos representados:  
- Central: Subtipo de representaciones de "La Sagrada Familia".  
- Laterales: Detalle de la clasificación por subtipos.  
Fotografía de "La Sagrada Familia tras su restauración".

**Subtipos de representación (cm<sup>2</sup>)**

Representación	Nº áreas	Área
Rostro	18	4.324,75
Cuerpo	23	5.592,95
Vestimenta	19	27.752,50
Arquitectura	1	41.417,93
Cielo	1	109.998,35
<b>Total</b>	<b>62</b>	<b>189.086,48</b>



**Ilustración 12:** Plantilla diseñada para la maquetación de los mapas de daños de *La Sagrada Familia*. Abajo, ejemplo de mapa resultante.

En el momento de incluir los mapas en la plantilla se van generando distintas representaciones temáticas (como la representación de los faltantes en función del sustrato afectado o del tipo de representación perdida) mediante la selección directa de las capas de datos que nos interesa incluir para ofrecer diferentes lecturas de la información. Éstas se van superponiendo unas a otras de forma automática y se centran en el recuadro asignado.

En función de cada mapa también se le puede ir aportando a las coberturas la apariencia deseada para que cada uno de sus elementos se diferencie bien de los otros. Para esto, además de una amplia gama de colores sólidos o transparentes ArcGIS® Desktop ofrece gran cantidad de tramas preestablecidas (rayas, puntos, símbolos, etc.).

La leyenda con la codificación gráfica de los registros incluidos en nuestros mapas es una información complementaria necesaria para su comprensión. Su diseño y distribución generalmente suele ocupar mucho tiempo, pero ArcGIS® Desktop provee de un asistente para la inserción automática de leyendas mediante el que se pueden configurar multitud de aspectos: número de columnas, capas que queremos que aparezcan representadas, formato de letras, tamaño, etc. Otra ventaja que presentan es que se tratan de elementos interactivos, lo que implica que se actualizan ante cualquier posible cambio en las capas representadas.

Dentro de la maquetación también es posible estipular la localización exacta de un título. Éste por defecto se incorpora centrado en la parte superior de la hoja, aunque al igual que cualquier recuadro de información se puede desplazar y situar en la posición que convenga.

A parte de esta estructura básica la representación gráfica puede enriquecerse con multitud de elementos adicionales. Quizás uno de los más destacados sea la posibilidad de referenciar nuestros mapas con escalas gráficas y numéricas que se actualizan de forma automática en función de las variaciones de tamaño<sup>53</sup>.

Las escalas de tipo gráfico están representadas por barras con divisiones y subdivisiones etiquetadas con la longitud del espacio representado y las unidades que las definen pueden editarse adaptándolas a las dimensiones de la obra. Por otro lado las escalas numéricas muestran una relación tipo 1:10, donde una unidad del mapa representa en este caso 10 unidades en la realidad<sup>54</sup>.

A mayores la opción de insertar cuadros de texto nos permite incluir todo tipo de información a cerca de la obra representada (título, autor, datación, técnica...) o incluso las observaciones que se consideren pertinentes; mientras que el reconocimiento de cualquier tipo de imagen en formato estándar (jpg, bmp, png, tiff...) posibilitará la inclusión de anexos complementarios a nuestro mapa SIG como tablas o gráficos.

### 3.8 TIEMPOS DE EDICIÓN

A continuación se ofrecen los tiempos que han sido necesarios para crear nuestro proyecto SIG, diseñando, editando y analizando toda la información espacial de *La Sagrada Familia*. La contabilización del tiempo invertido es un aspecto fundamental a tener en cuenta a la hora de plantearse la viabilidad de una metodología; sin embargo no deja de ser una indicación orientativa, ya que puede variar en función de la complejidad de los registros y de los análisis que se contemplen.

---

<sup>53</sup> Esto es posible gracias a que las imágenes georreferenciadas permiten registrar transformaciones a nivel de escala.

<sup>54</sup> A la hora de imprimir mapas con escalas de texto éste debe conservar su formato inicial ya que de lo contrario la referencia métrica de la realidad representada no sería correcta.

**Tabla 3:** Secuencias detalladas de trabajo. Proyecto SIG de “La Sagrada Familia”.

<b>“PROYECTO SIG SAGRADA FAMILIA”. TIEMPOS DE TRABAJO</b>			
<b>DISEÑO DE UNA GEODATABASE</b>			
<b>Procedimientos</b>			<b>Tiempo</b>
Diseño de la estructura.			30 min.
Creación y estructuración de los ficheros que la conforman.			15 min.
<b>TOTAL:</b>			<b>45 min.</b>
<b>GEORREFERENCIACIÓN</b>			
<b>Procedimientos</b>			<b>Tiempo</b>
Aplicar puntos de control			10 min.
<b>TOTAL:</b>			<b>10 min.</b>
<b>EDICIÓN DE LOS MAPAS DE DAÑOS</b>			
<b>Capa</b>	<b>Nº de vectores</b>	<b>Método</b>	<b>Tiempo</b>
Pérdida de soporte.	824 polígonos.	Automático <sup>55</sup> .	1 h. 30 min.
Pérdida de capa pictórica y de preparación.	445 polígonos.	Manual.	4 h.
Medidas iniciales.	1 polígono.	Automático.	20 min.
Representaciones por subtipo.	61 polígonos.	Manual.	2 h.
Representaciones por tipo.	16 polígonos.	Manual.	15 min.
Totalidad de faltantes.	1269 polígonos.	Por integración.	10 min.
Superficie original.	4 polígonos.	Por integración.	10 min.
Faltas por tipo.	1382 polígonos.	Por integración.	10 min.
Faltas por subtipo.	1442 polígonos.	Por integración.	10 min.
Áreas de fijación de clavos	22 polígonos.	Manual.	20 min.
Pérdidas por fijación de clavos	212 polígonos.	Por integración.	10 min.
<b>TOTAL:</b>	<b>5678 polígonos.</b>	<b>Vectorización.</b>	<b>8h. 15min.</b>
<b>ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS ALTERACIONES</b>			
<b>Procedimientos</b>			<b>Tiempo</b>
Análisis estadístico de los registros y creación de gráficos			8h.
<b>TOTAL:</b>			<b>8h.</b>
<b>LAYOUT DE LOS MAPAS</b>			
<b>Mapa</b>			<b>Tiempo</b>
Diseño de plantilla.			30 min.
Medidas iniciales.			15 min.
Mapa de distribución de lagunas.			15 min.
Superficie original.			15 min.
Tipos de representación de <i>La Sagrada Familia</i> .			15 min.
Distribución de faltas por tipos de representación.			15 min.
Subtipos de representación de <i>La Sagrada Familia</i> .			10 min.
Distribución de faltas por subtipos de representación.			10 min.
Pérdidas de soporte por fijación de clavos.			10 min.
<b>TOTAL</b>			<b>2h 15 min.</b>

<b>TIEMPO TOTAL INVERTIDO</b>	<b>19 h 25 min.</b>
-------------------------------	---------------------

<sup>55</sup> Previamente esta misma capa se había realizado de forma manual, ocupando un tiempo de 14 horas durante las que se crearon 2480 polígonos que dieron lugar a 888 lagunas.



## 4. RESULTADOS

A través de un proyecto SIG desarrollado para abordar el estudio de los faltantes colorimétricos de *La Sagrada Familia* (Galería Dorada del Palau Ducal de Gandía) hemos comprobado la viabilidad de adoptar esta tecnología topográfica al análisis y documentación de las superficies pictóricas bidimensionales. Al mismo tiempo, hemos podido establecer una base metodológica que sirva de guía para futuros trabajos en este campo partiendo de uno de los *softwares* de mayor difusión; el ArgGIS®.

Los pasos más importantes del proceso, descritos y fundamentados a lo largo del apartado de metodología de intervención, pueden resumirse en los siguientes puntos:

1. Diseño y creación de una geodatabase.

Las geodatabases son bases de datos relacionales capaces de asociar cada uno de los elementos representados en un mapa a un conjunto atributos externos. Constituye el esqueleto de un proyecto SIG, por lo que su diseño y estructuración debe ser el punto de partida.

Para enfocarla hacia el análisis patológico de una superficie pictórica debemos dotarla de todos los aspectos que vienen recogiendo los mapas de daños tradicionales, atendiendo tanto al estado de conservación de la obra (agentes y formas de alteración) como a sus características más relevantes.

Los bloques de información que vayamos a incorporar deben proyectarse sobre una carpeta (*feature dataset*), encargada de ir almacenando las distintas capas que van a conformar nuestro mapa de daños<sup>56</sup>. Éstas, denominadas *feature class*, son las unidades estructurales básicas de una geodatabase. Recogen de manera individualizada cada tipo de alteración o característica que queramos registrar; pudiendo tratarse de la delimitación de un determinado tipo de falta, del trazado del contorno inicial de una obra, de la esquematización de los diferentes tipos de representación iconográfica contenidos en el cuadro, etc...

2. Referenciación espacial de la superficie pictórica (georreferenciación).

El sistema SIG nos permite aportarle medidas reales al trazado de las alteraciones georreferenciando la imagen que sirve de base al trazado de un mapa de daños. Para que las medidas de la fotografía se correspondan con las dimensiones reales del lienzo proyectadas en un sistema cartesiano bidimensional se definen numéricamente varios puntos de control. De este modo la posición de cualquier punto de la obra queda registrado en su referencia de coordenadas (x,y).

3. Edición de los mapas de daños.

Una vez dimensionada la base de nuestro mapa de daños se va nutriendo mediante la digitalización de sucesivas capas encargadas de recoger los distintos aspectos que queramos documentar. Éstas se almacenan dentro de nuestra geodatabase a través de una *feature class*.

El ArgGIS® Desktop se vale de un modelo de datos vectorial para representar entidades concretas y claramente definidas. Las vectorizaciones de un número limitado de elementos se

---

<sup>56</sup> En nuestro caso hemos agrupado la información por formas de alteración, agentes de alteración y características.

pueden llevar a cabo de forma manual<sup>57</sup>, localizando los vértices necesarios para definir cada uno de los vectores por medio de una serie de herramientas de edición muy semejantes a las utilizadas en los programas informáticos de diseño técnico. Sin embargo cuando nos enfrentamos a la digitalización de un elevado número de entidades, u objetos, es necesario poder automatizar este proceso de vectorización. Para ello hemos desarrollado un procedimiento de importación que parte de la autoselección de los elementos a incluir a través de un programa de imagen. Empleando como formato puente extensiones de archivos *.dxf* o *.dwg* (tipo CAD) se puede vectorizar esta selección e incorporarla a una *feature class* de nuestra geodatabase.

Finalizada la vectorización directa de los diferentes elementos que queremos recoger en nuestro mapa de daños, los SIG nos ofrecen la posibilidad de generar nuevas capas de datos de carácter analítico combinando las coberturas preexistentes e identificando sus relaciones espaciales. Esto nos permite operar con la información recogida en los mapas para analizar aspectos como las pérdidas totales de un lienzo (sumando los distintos tipos de faltantes presentes en sus estratos), la superficie original conservada (restando las lagunas totales al contorno inicial del lienzo), el tipo de iconografía que se ha perdido (intersectando las faltas de policromía con la clasificación de sus tipos de representación), o la cantidad de pérdidas que ha supuesto la acción de un determinado agente de alteración (intersectando las áreas de actuación de un agente con el tipo de alteraciones que se le asocian).

#### 4. Análisis cuantitativo de las alteraciones.

Cada vector incluido en nuestro documento gráfico queda registrado en una base de datos interna a través de un número de identificación único (ID). Esto hace posible vincularlos a un conjunto de atributos adicionales que describen sus propiedades; pudiendo incluir y editar campos de datos complementarios como en las bases de datos convencionales.

Los SIG aportan de forma automática el área y el contorno de cada vector. Gracias a esta capacidad de determinar las dimensiones numéricas de cualquier entidad de nuestro mapa se puede definir cuantitativamente el total del espacio inscrito en cada capa de información; lo que a su vez posibilita el tratamiento porcentual de las cantidades compiladas.

#### 5. Presentación de los mapas (*layout*).

El último paso a seguir en un proyecto SIG consiste la maquetación de los diferentes mapas de daños para publicar y exportar de forma gráfica toda la documentación generada mediante el análisis espacial de la superficie pictórica.

ArcGIS® puede estandarizar el maquetado de un conjunto de mapas trabajando con plantillas de una forma rápida y cómoda. Éste tipo de documentos base se estructuran por medio de una serie de marcos de datos destinados a insertar y centrar de un modo automático las distintas capas de información junto con títulos, leyendas, fotografías, gráficos, tablas, documentos de texto e incluso elementos de referenciación espacial (como escalas gráficas y numéricas).

La documentación de los faltantes en el caso de *La Sagrada Familia* siguiendo la metodología resumida en estos párrafos nos ha permitido caracterizar cuantitativamente la presencia de este tipo de deterioro, logrando a su vez definir porcentualmente su alcance respecto a las dimensiones totales de la obra. A su vez hemos logrado profundizar en esta descripción numérica cruzando la información espacial contenida en el registro de alteraciones con otras capas que recogían aspectos complementarios. De este modo hemos podido calcular qué cantidad de pérdidas se debían a la acción concreta de un determinado agente de deterioro o en qué tipo de representación se situaban y por tanto qué motivos iconográficos se habían perdido en mayor proporción.

---

<sup>57</sup> Tratándose del método que ArcGIS® estipula para digitalizar los vectores.

Con esta caracterización de los faltantes colorimétricos pretendemos ejemplificar las múltiples utilidades de los Sistemas de Información Geográfica a la hora de profundizar en el estudio del estado de conservación de una obra de arte. Al igual que hemos hecho con las pérdidas de *La Sagrada Familia*, un mapa de daños SIG está capacitado para incorporar en su estructura cualquier tipo de daño (zonas de disgregación, pulverulencias, levantamientos, craqueladuras, ataque biológico, cambios cromáticos en la policromía o en las capas de barniz, repintes, restauraciones anteriores, etc.); ofreciendo una caracterización semejante a la conseguida hasta ahora con cada una de las alteraciones incorporadas al estudio.



## 5. DISCUSIÓN

Con unos tiempos de edición bastante parejos, las ventajas que nos ofrece la tecnología SIG respecto a los programas informáticos de tratamiento de imágenes, de edición gráfica y de diseño asistido por ordenador son muchas:

1. Incrementa la precisión del registro gráfico dimensionando el trazado de las patologías. Esto es posible gracias a la proyección sobre el mapa de daños de las medidas reales de la obra a través de la georreferenciación.
2. Permite profundizar en la descripción de las alteraciones definiendo numéricamente las dimensiones de cada vector representado en el mapa. A su vez, la capacidad de operar y calcular el total de las áreas registradas hace posible determinar cuantitativa y porcentualmente el alcance de una alteración.
3. Nos capacita para realizar análisis espaciales. Al igual que veníamos haciendo hasta ahora, los mapas de daños se estructuran mediante la superposición de capas que recogen elementos con una relación temática en común. Sin embargo los SIG nos facultan para estudiar las relaciones espaciales existentes entre ellas y generar nuevos mapas de carácter analítico por combinación de capas; obteniendo mayor información de la que se disponía en un principio.
4. Ofrece la posibilidad de gestionar la información espacial y alfanumérica a través de una única herramienta. Hasta el momento los mapas eran documentos encargados de la visualización gráfica de la información; pero gracias a los SIG y a su estructura de almacenamiento podemos nutrir todos los elementos representados con una tabla que recoja la documentación complementaria que se crea conveniente. De este modo podría pasarse del registro de la información en múltiples formatos al manejo de una única aplicación capaz de aglutinarla.
5. Mejora la calidad de la representación gráfica. Como programa sustentado en la cartografía aporta una importante mejora en la composición y el diseño de los mapas de daños con un uso más competente de la semiología. A mayores, este registro puede ser complementado por medio de gráficos y tablas de datos numéricos obtenidos tras los distintos procesos de análisis.

Sin embargo, en esta primera fase de desarrollo, la tecnología SIG presenta una serie de limitaciones que pensamos deben ser superadas en futuras investigaciones antes de poder plantearnos la conveniencia de difundir su uso en el campo de la documentación y el análisis de las superficies pictóricas:

1. Conlleva un coste más elevado que los sistemas informáticos tradicionales. Esto se debe a que el proyecto de documentación debe contar con un técnico SIG formado y capacitado para esta tarea específica. A esto ha de sumársele el hecho de que las licencias de paquetes comerciales como el ArcGIS® Desktop, pese a contar con descuentos importantes en el ámbito de la educación, tienen hoy por hoy unos precios muy elevados.
2. Al margen de la importancia de incorporar la definición cuantitativa de las alteraciones, debe tenerse en cuenta que los valores ofrecidos no dejan de ser aproximados. Esto se debe a la introducción de un cierto grado de error espacial en la rectificación de la fotografía de entrada durante su georreferenciación; aspecto que pensamos minimizar en futuros trabajos.
3. A falta de seguir profundizando en la edición de los mapas de daños, la vectorización de cierto tipo de deterioros de dimensiones reducidas (como las lagunas localizadas en la preparación y en la capa pictórica) no ha podido realizarse de forma individualizada. Su registro ha tenido que llevarse a cabo delimitando núcleos de alteración a los que se les ha designado un cierto grado de daño. Esto introduce un grado de subjetividad en el proceso que es importante limitar y evitar en prácticas futuras.

Pese a las limitaciones señaladas, la capacidad que nos ofrecen los SIG de cuantificar la información espacial de una superficie pictórica y de registrarla de una forma tan completa los convierte en una herramienta informática por desarrollar y aplicar, con un gran potencial en el campo de la restauración. Por ese motivo se cree conveniente seguir profundizando en el perfeccionamiento de su empleo en nuestra área con la finalidad de optimizar sus recursos y aumentar la precisión de la información generada.

## 6. CONCLUSIONES

1. Aplicando los Sistemas de Información Geográfica (SIG) al estudio de los faltantes de *La Sagrada Familia*, óleo sobre lienzo del Palau Ducal de Gandía, hemos podido establecer la metodología a seguir en el análisis espacial de una superficie pictórica bidimensional. Podemos estipular que un proyecto SIG desarrollado en nuestro campo ha de atender a:
  - El diseño de una geodatabase encargada de almacenar la información espacial y alfanumérica.
  - La georreferenciación de la superficie pictórica analizada a través de su imagen fotográfica.
  - La vectorización de los diferentes elementos que se deseen incluir en el mapa de daños.
  - El estudio de las relaciones espaciales existentes entre las diferentes capas de información mediante la combinación de mapas.
  - El análisis cuantitativo de su alcance.
  - La exportación y publicación de la información generada a lo largo de todo el proyecto.
2. Este nuevo recurso técnico es capaz de mejorar y potenciar la funcionalidad de los mapas de daños convencionales dotando a este tipo de documento gráfico de nuevas capacidades de gran utilidad en el campo de la documentación de las obras de arte:
  - Incrementa la precisión del registro gráfico proyectando sobre el mapa de daños las dimensiones reales de la obra y de cada uno de los elementos contenidos en ella.
  - Aporta el número y la expresión cuantitativa de las áreas registradas, permitiendo obtener un análisis porcentual del alcance de cualquier tipo de alteración registrada en el mapa de daños.
  - La capacidad de almacenar información espacial y alfanumérica nos permite gestionar todos los datos referentes al estado de conservación y a las características físicas de una obra a través de una única herramienta.
  - Mejora la calidad de la representación de los mapas de daños, que a su vez pueden ser complementados por medio de gráficos y tablas de datos numéricos obtenidos tras los distintos procesos de análisis.

### 6.1 IMPLICACIONES TEÓRICO-PRÁCTICAS

La adopción de la tecnología SIG en el registro, análisis y representación del estado de conservación de una superficie pictórica puede repercutir positivamente en numerosas áreas de trabajo relacionados con la restauración y conservación de las superficies pictóricas:

- El considerable aumento de la precisión de un mapa de daños gracias a la localización exacta de cada uno de sus elementos permitirá llevar a cabo un control más estricto de la obra, constituyendo una referencia física importante de cara a futuros seguimientos.

- En el momento en el que logremos alcanzar una definición espacial más precisa de las alteraciones el estudio estadístico del deterioro será un aspecto más a incluir en la documentación del estado de conservación de una obra de arte; cuantificando y describiendo en porcentajes las principales características de los daños registrados.
- Este análisis estadístico de las alteraciones unido al estudio de las relaciones espaciales existentes entre ellas nos permitirá profundizar en la comprensión y caracterización de los patrones de alteración. El poder definir de una forma precisa el área de acción de un determinado agente y determinar su agresividad cuantificando las alteraciones que ha provocado resulta un importante apoyo para establecer y controlar los parámetros de conservación preventiva.
- Al mismo tiempo, el contemplar un análisis cuantitativo y porcentual de los daños antes de iniciar la intervención directa sobre la obra supone un importante apoyo en el momento de plantear y planificar su restauración.

Los porcentajes de pérdida colorimétrica dentro de una superficie pictórica sirven de orientación a la hora de declinarse por uno u otro método de reintegración. Si a mayores somos capaces de relacionar estos datos con la complejidad plástica de las representaciones perdidas podremos hacernos una idea aproximada del tiempo que se debe invertir en devolverle a la obra su legibilidad e integridad estética.

Las mismas ventajas ofrecen en la planificación de la intervención sobre otro tipo de alteraciones como pueden ser los repintes o la extensión de un determinado barniz que se desee eliminar. Conocer de antemano su extensión sirve de indicativo a cerca de la conveniencia de recurrir a una u otra técnica de limpieza (sopesando aspectos como efectividad y toxicidad), de los tiempos de trabajo e incluso de la cantidad de material que se va a necesitar.

- Sacándole el máximo partido a su capacidad de vincular la información espacial y alfanumérica se puede proyectar toda la documentación técnica de una obra en su propia base de datos geográfica. La inclusión en este registro de nuevos datos técnicos como el registro radiográfico, ultravioleta, de infrarrojos, el estudio colorimétrico o la caracterización química de ciertos puntos a través del análisis de muestras plantea posibilidades infinitas de análisis aún por explorar.

Si a mayores incorporamos tanto de los tratamientos como de los materiales introducidos en la obra durante una intervención nos capacita para documentar e interpretar su propio envejecimiento y las posibles interacciones con la superficie original y con el medio. A su vez la capacidad de fusionar bajo un mismo formato y escala la información de sucesivas intervenciones permitirá registrar y comparar el comportamiento de la obra a través del tiempo.

## 6.2 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ABIERTAS

### 6.2.1 Mejora del método

Puesto que el presente trabajo ha implicado una primera toma de contacto con las múltiples aplicaciones que los SIG ofrecen en el estudio y documentación de una obra de arte quedan muchos aspectos técnicos por depurar.

#### *a) Incremento de la precisión.*

Un aspecto prioritario es la necesidad de incrementar la fidelidad del análisis cuantitativo de las superficies pictóricas disminuyendo el error espacial aportado en la georreferenciación y acentuando la precisión de la vectorización a la hora de editar los mapas de daños. Teniendo en cuenta que un SIG

analiza toda la información a partir de la imagen fotografiada de una obra, estas mejoras dependen del perfeccionamiento del registro fotográfico.

La digitalización rigurosa las diferentes patologías sólo será posible si nuestra imagen de entrada nos permite distinguirlas con exactitud y de forma individualizada. Para asegurarnos de que esto suceda es necesario estipular la resolución fotográfica mínima que deben tener nuestras representaciones digitales en función del tamaño del cuadro a retratar.

El error espacial también ha de ser minimizado a través de la mejora de la calidad de los datos de entrada. Como ya se indicaba en el apartado metodológico, los SIG se apoyan en el uso de fotografías aéreas de toma vertical u oblicua; siendo las verticales las que ofrecen una menor distorsión espacial. En nuestro campo de aplicación queda pendiente profundizar en los distintos mecanismos que nos permiten obtener este tipo de fotografías, sin duda también condicionados por las dimensiones de la obra.

#### *b) Reducción de costes*

La mejora de cualquier metodología de análisis técnico debe pasar por la disminución de sus costes para convertirla en un recurso al alcance de todos los profesionales de la restauración. Cuando esta metodología se sustenta en el uso de tecnología informática, el abaratamiento del proceso implica plantearse la utilización de *software* libre.

Don José Antonio Jiménez Berni, investigador de la Unidad de Técnicas Geoespaciales de la Universidad de Córdoba, nos ofrece en su artículo “*Alternativas de software libre a los Sistemas de Información Geográfica Comerciales*”<sup>58</sup> un buen acercamiento a programas no propietarios haciendo una selección de los sistemas más difundidos y con mayor número de funcionalidades.

De los *softwares* que menciona, el gvSIG nos despierta un especial interés por ser un proyecto autóctono amparado por la Generalitat Valenciana. A éste han de sumársele el GRASS<sup>59</sup> (*Geographic Resources Analysis Support System*), el *Jump*<sup>60</sup>, el *uDIG* y el *Quantum GIS*; todos ellos orientados a la información vectorial.

Cualquiera de estos Sistemas de Información Geográfica han sido capacitados para realizar análisis espaciales complejos, por lo que resultaría poco probable que pudiéramos echar en falta alguna función específica proporcionada por los productos comerciales. Aún así, queda pendiente comprobar su funcionalidad y establecer nuevas metodologías que se adapten a cada entorno de trabajo.

#### *c) Incorporación de modelos ráster para contemplar nuevos tipos de análisis*

Como señalábamos en el cuerpo metodológico, esta investigación se ha limitado a la representación de entidades concretas explorando los modelos de datos vectoriales.

Sin embargo, a la hora de describir los factores implicados en el estado de conservación de una superficie pictórica, muchos aspectos de gran relevancia no pueden ser vectorizados al tratarse de campos continuos sin límites claros. Éste sería el caso del los estudios tergohigrométricos o incluso de la extensión que las distintas áreas de color de un cuadro figurativo con transiciones cromáticas.

---

<sup>58</sup> (Jiménez, 2006)

<sup>59</sup> Concebido y desarrollado por el laboratorio de investigación del cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos (Jiménez: 2006).

<sup>60</sup> Uno de los primeros SIG gratuitos, con origen en Canadá (Jiménez: 2006).

Para analizar este tipo de información espacial muchos SIG incluyen dentro de sus aplicaciones la posibilidad de editar y operar con formatos ráster. Este modelo de datos representa una superficie espacial mediante una matriz de celdas o píxeles de igual tamaño<sup>61</sup>. A cada una de estas celdas se le puede asociar un valor que defina la variable considerada en ese punto; y por medio de su interpolación predecir los campos intermedios<sup>62</sup>.

El manejo de este tipo de formato, que también tiene la capacidad de interpretarse combinándolo con datos vectoriales; supondría eliminar las limitaciones de los datos vectoriales permitiéndonos representar y registrar cualquier tipo de parámetro de la naturaleza que sea.

### **6.2.2 Proyección del método sobre otro tipo de obras**

Con anterioridad hemos señalado que la precisión y fidelidad de la tecnología SIG en el registro, análisis y representación de una superficie pictórica dependía de su “bidimensionalidad”. La pintura de caballete comparte esta característica con la pintura sobre tabla y gran cantidad de pinturas murales de diversa naturaleza. Dentro del perfil de obras susceptibles de ser estudiadas por medio de esta tecnología también podríamos incluir al material gráfico (papel y fotografía) e incluso a todos aquellos revestimientos parietales y pavimentales (ya sean de cerámica, piedra, etc.) que no contemplen juegos de volúmenes.

Queda pendiente investigar si la tecnología SIG contempla el mismo tipo de funcionalidades con las superficies tridimensionales. En ese caso su campo de aplicación se abriría a cualquier obra susceptible de ser abarcada por un escáner 3D. Estos aparatos de medición topográfica son capaces de escáner mediante la tecnología láser los volúmenes de un objeto y representarlas con gran precisión generando una nube de puntos definidos espacialmente.

Hoy en día este tipo de sistemas de medición no son amortizables en el campo de la restauración debido a su precio tan elevado; pero no en mucho tiempo, gracias al avance tecnológico, su coste se verá reducido y su uso podrá extenderse por numerosos ámbitos de estudio. Seguramente en ese momento volvamos a ser testigos de una nueva revolución metodológica en la edición de los mapas de daños, que traerá consigo el abandono definitivo el papel como soporte gráfico de atributos registrados bidimensionalmente para ser editados como una “máscara” temática que se adapta perfectamente a la réplica digital de la obra de arte.

---

<sup>61</sup> Siendo el formato de las imágenes digitales.

<sup>62</sup> Mancebo et al. (2008: 88-90).

## **7. ANEXOS**

### **7.1 CONJUNTO DE MAPAS**

Medidas iniciales de *La Sagrada Familia*.

Mapa de distribución de lagunas.

Representación gráfica de la superficie original.

Distribución de los tipos de representación en *La Sagrada Familia*.

Distribución de faltas por tipos de representación.

Distribución de los subtipos de representación en *La Sagrada Familia*.

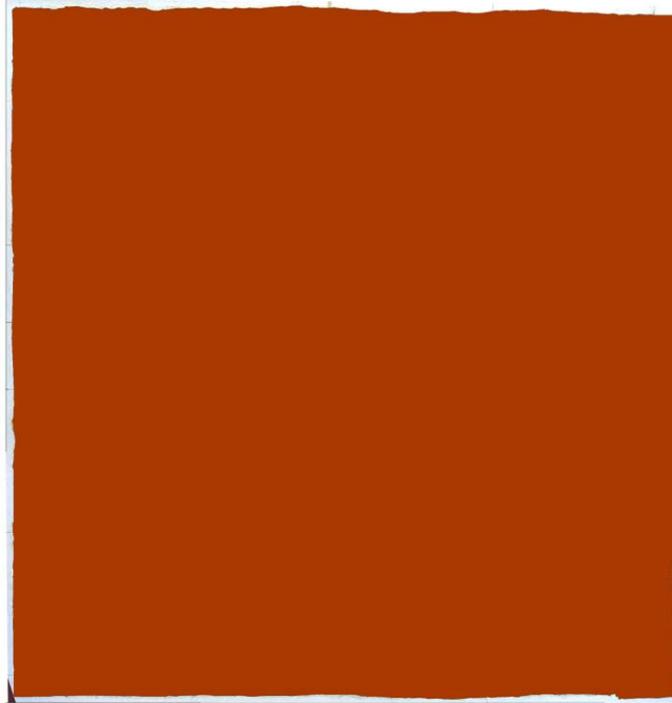
Distribución de faltas por subtipos de representación.

Pérdidas de soporte por fijación de clavos.

### **7.2 GLOSARIO DE TÉRMINOS SIG**

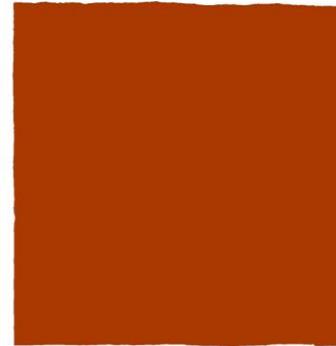


## Medidas iniciales de la Sagrada Familia



0 25 50 100 150 200  
Centimeters

1:0



### Medidas iniciales (cm)

Nº polígonos	Área	Contorno
1	189.086,48	1.849,42

### Medidas iniciales (m)

Nº polígonos	Área	Contorno
1	18,90	18,49

## LEYENDA

Medidas iniciales

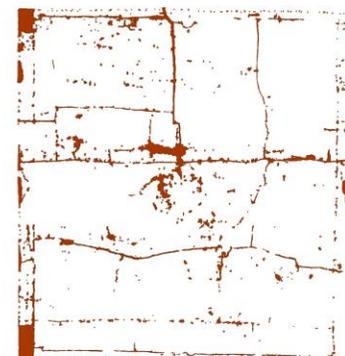


## Mapa de distribución de lagunas



0 20 40 80 120 160 Centimeters

1:20



### LEYENDA

#### Soporte

#### Porcentaje de pérdida

■ 100%

#### Preparación y capa pictórica

#### Porcentaje de pérdida

■ 25%

■ 50%

■ 75%

■ 100%

### OBSERAVIONES

"La Sagrada Familia", S.XVIII.  
Óleo sobre lienzo, 437 x 424,5 cm.  
Gaspar de la Huerta  
Galería Dorada, Palau Ducal de Gandía.

#### Aspectos representados:

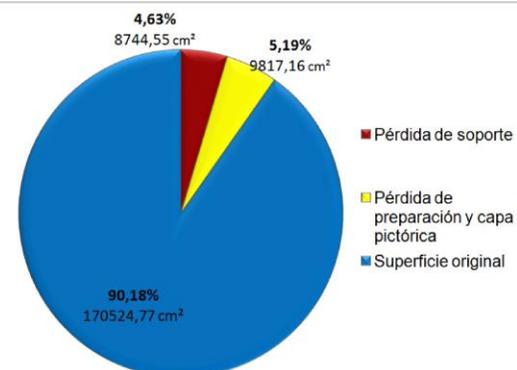
- Central: Lagunas totales de la obra.
- Laterales: Pérdidas de soporte.
- Pérdidas de preparación y capa pictórica.

### Pérdida de Soporte (cm<sup>2</sup>)

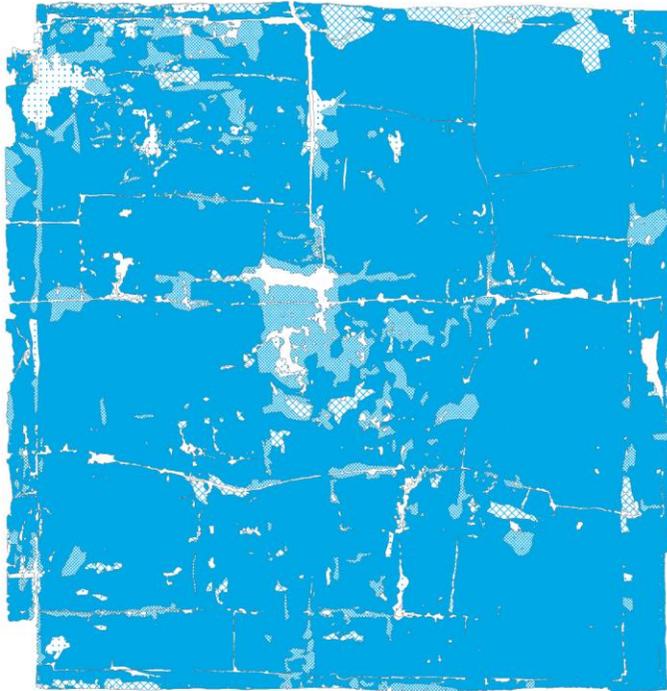
Nº lagunas	Área delimitada	Área afectada	% Pérdida
824	8744,55	8744,55	100%

### Pérdida de preparación y capa pictórica (cm<sup>2</sup>)

Nº áreas	Área delimitada	Área afectada	% Pérdida
163	14459,64	3614,91	25%
126	6825,23	3412,61	50%
72	3443,56	2582,67	75%
84	206,96	206,96	100%
<b>445</b>	<b>24935,39</b>	<b>9817,16</b>	<b>Total</b>

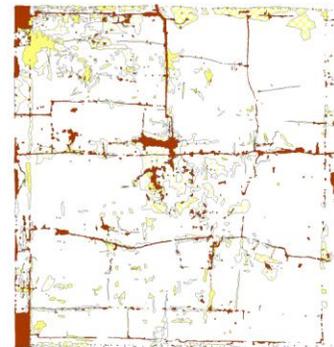
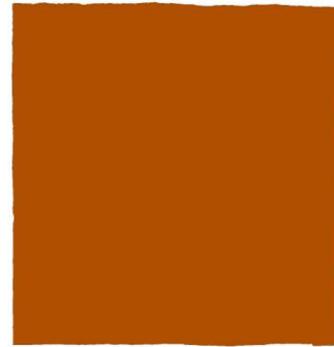


## Representación gráfica de la superficie original



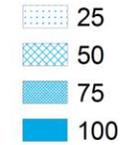
0 20 40 80 120 160 Centimeters

1:20



### LEYENDA

Superficie\_original  
Porcentaje conservado



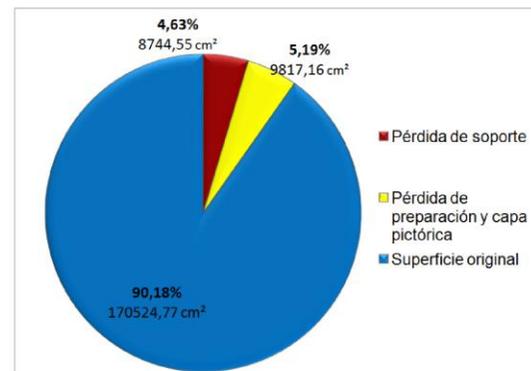
### OBSERAVIONES

"La Sagrada Familia", S.XVIII.  
Óleo sobre lienzo, 437 x 424,5 cm.  
Gaspar de la Huerta  
Galería Dorada, Palau Ducal de Gandía.

Aspectos representados:  
- Central: Superficie original de la obra.  
- Laterales: Medidas originales  
Mapa de distribución de lagunas

### Superficie original (cm<sup>2</sup>)

Medidas originales	189086,48
Cómputo global de lagunas	18561,71
<b>Total superficie original</b>	<b>170524,78</b>



## Distribución de los tipos de representación en "La Sagrada Familia".



### LEYENDA

#### Subtipos de representación

- Figura
- Fondo

### OBSERAVIONES

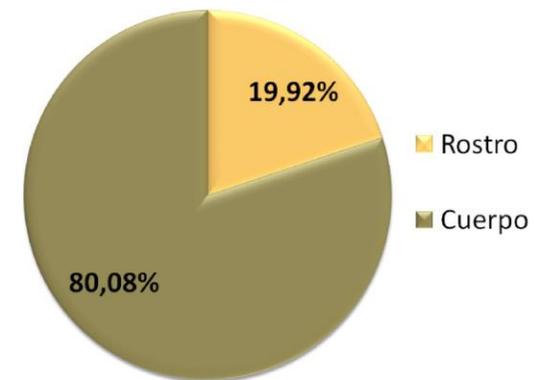
"La Sagrada Familia", S.XVIII.  
Óleo sobre lienzo, 437 x 424,5 cm.  
Gaspar de la Huerta  
Galería Dorada, Palau Ducal de Gandía.

Aspectos representados:  
- Central: Tipos de representaciones de "La Sagrada Familia".  
- Laterales: Detalle de la clasificación por tipos.  
Fotografía de "La Sagrada Familia tras su restauración".

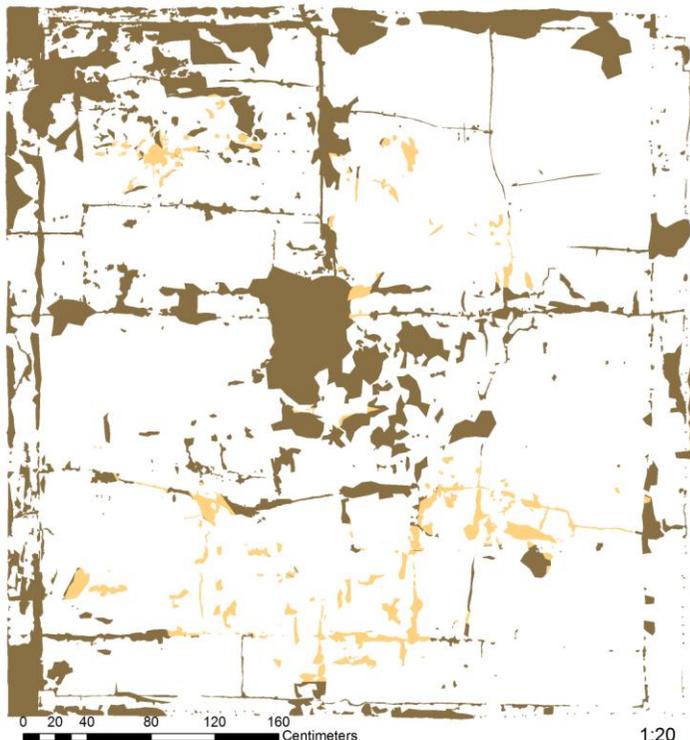
Tipos de representación (cm²)		
Representación	Nº áreas	Área
Figura	15	37.670,20
Fondo	1	151.416,34
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>189.086,54</b>

#### Detalle de los tipos de representación más importantes (cm²)

Padre Eterno	1	5.601,95
Espíritu Santo	1	281,12
Virgen con el niño	1	5.198,95
San José	1	4.643,30
Santa Ana	1	5.758,15
San Joaquín	1	4.287,59



## Distribución de faltas por tipos de representación



### LEYENDA

#### Lagunas por tipo

- Figura
- Fondo

### OBSERAVIONES

"La Sagrada Familia", S.XVIII.  
Óleo sobre lienzo, 437 x 424,5 cm.  
Gaspar de la Huerta  
Galería Dorada, Palau Ducal de Gandía.

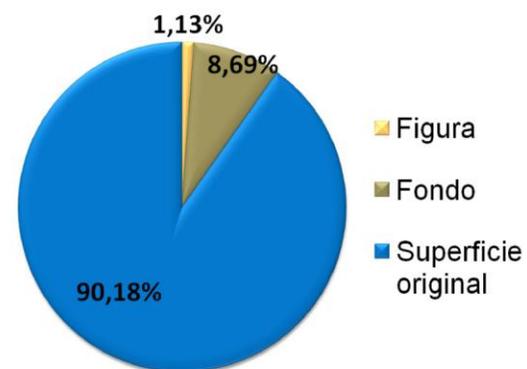
Aspectos representados:  
- Central: Lagunas clasificadas en función del tipo de representación perdida.  
- Laterales: Mapa de distribución de lagunas. Tipo de representaciones de "La Sagrada Familia".

#### Faltas por tipos de representación (cm<sup>2</sup>)

Representación	Nº áreas	Área
Figura	286	2.131,28
Fondo	1096	16.430,43
<b>Total</b>	<b>1382</b>	<b>18.561,71</b>

#### Detalle de faltas en los tipos de representación más importantes (cm<sup>2</sup>)

Padre Eterno	1	238,22
Espíritu Santo	1	26,94
Virgen con el niño	1	205,77
San José	1	162,62
Santa Ana	1	392,23
San Joaquín	1	419,53



## Distribución de los subtipos de representación de "La Sagrada Familia".



0 20 40 80 120 160 Centimeters

1:20



### LEYENDA

#### Subtipos de representación

- Rostro
- Cuerpo
- Vestimenta y atributos
- Arquitectura
- Cielo

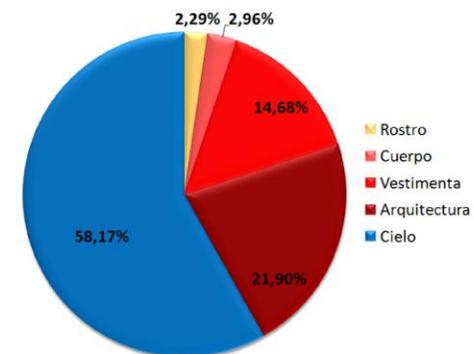
### OBSERAVIONES

"La Sagrada Familia", S.XVIII.  
Óleo sobre lienzo, 437 x 424,5 cm.  
Gaspar de la Huerta  
Galería Dorada, Palau Ducal de Gandía.

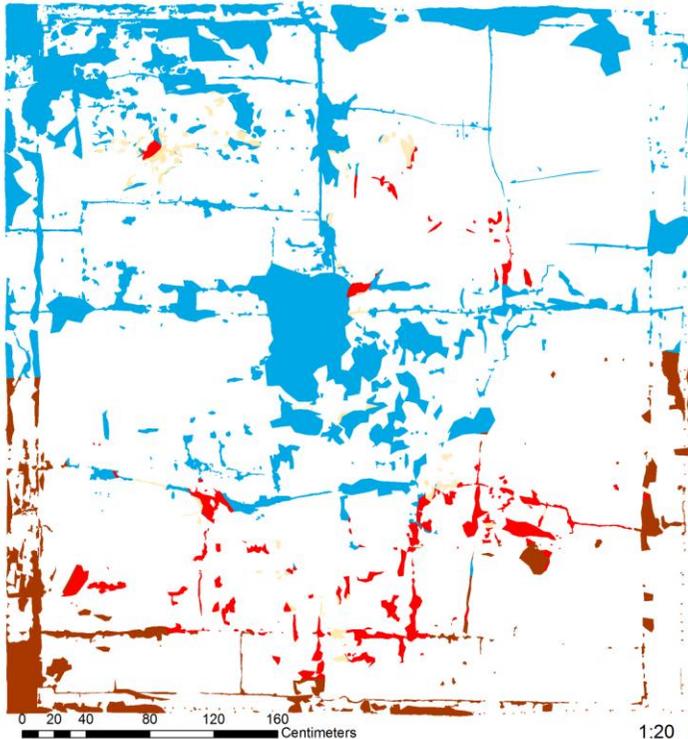
Aspectos representados:  
- Central: Subtipo de representaciones de "La Sagrada Familia".  
- Laterales: Detalle de la clasificación por subtipos.  
Fotografía de "La Sagrada Familia tras su restauración".

### Subtipos de representación (cm<sup>2</sup>)

Representación	Nº áreas	Área
Rostro	18	4.324,75
Cuerpo	23	5.592,95
Vestimenta	19	27.752,50
Arquitectura	1	41.417,93
Cielo	1	109.998,35
<b>Total</b>	<b>62</b>	<b>189.086,48</b>



## Distribución de faltas por subtipos de representación



### LEYENDA

#### Lagunas por subtipo

- Rostro
- Cuerpo
- Vestimenta y atributos
- Arquitectura
- Cielo

### OBSERAVIONES

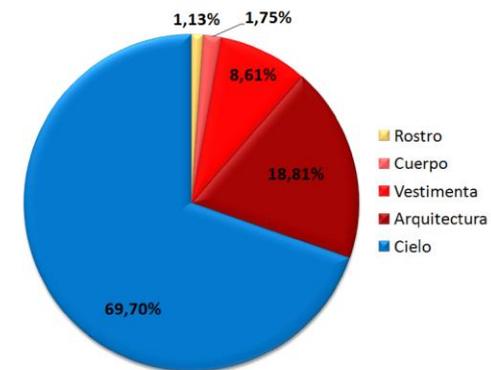
"La Sagrada Familia", S.XVIII.  
Óleo sobre lienzo, 437 x 424,5 cm.  
Gaspar de la Huerta  
Galería Dorada, Palau Ducal de Gandía.

#### Aspectos representados:

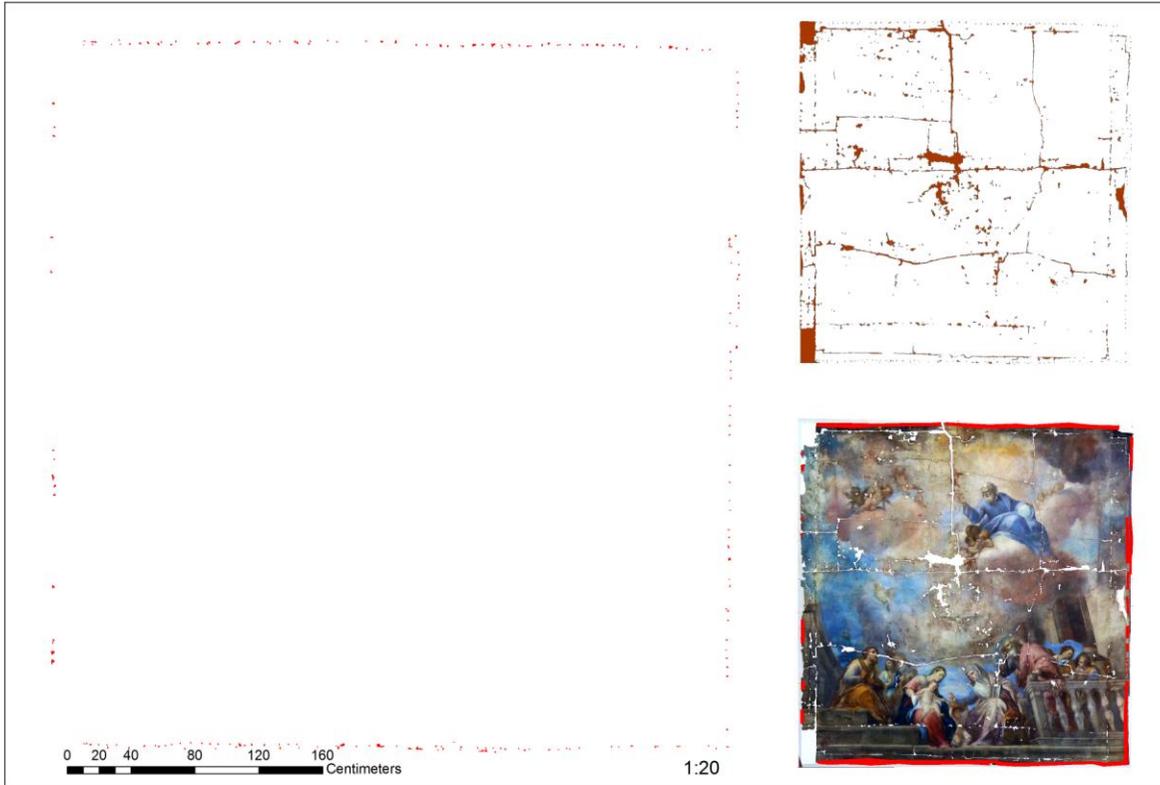
- Central: Lagunas clasificadas en función del tipo de representación perdida.
- Laterales: Mapa de distribución de lagunas. Subtipo de representaciones de "La Sagrada Familia".

### Cómputo de faltas por tipo de representación (cm<sup>2</sup>)

Representación	Nº áreas	Área delimitada	Área afectada
Rostro	41	404,34	209,21
Cuerpo	83	606,25	324,10
Vestimenta	213	3.032,08	1.597,96
Arquitectura	331	5.394,79	3.492,03
Cielo	774	24.242,49	12.938,40
<b>Total</b>	<b>1442</b>	<b>33.679,95</b>	<b>18.561,71</b>



## Pérdidas de soporte por fijación de clavos



### LEYENDA

 Pérdidas por clavos

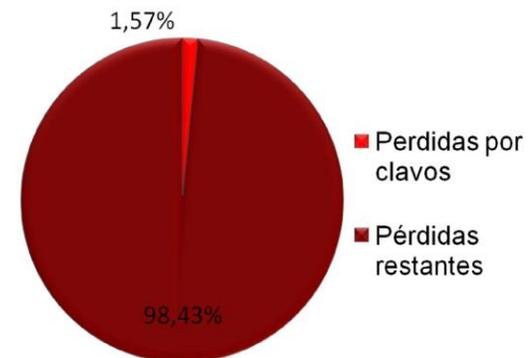
### OBSERAVIONES

"La Sagrada Familia", S.XVIII.  
Óleo sobre lienzo, 437 x 424,5 cm.  
Gaspar de la Huerta  
Galería Dorada, Palau Ducal de Gandía.

Aspectos representados:  
- Central: Pérdidas de soporte causadas por antiguas presencias de clavos.  
- Laterales: Pérdidas de soporte.  
Áreas de distribución de clavos.

### Pérdidas por clavos (cm<sup>2</sup>)

Nº áreas	Área
212	137,30



## 7.2 GLOSARIO DE TÉRMINOS SIG

### ATRIBUTO

1. Característica de una entidad geográfica descrita en números, caracteres, imágenes y dibujos CAD, generalmente almacenados en formato tabular y enlazados con la entidad por un identificador (Halty: 2004).
2. Columna en una tabla de base de datos (Halty: 2004).

### CAPA

Recolección de entidades geográficas similares de un área o lugar en particular para desplegar en un mapa (Halty: 2004).

### COBERTURA

Formato de almacenamiento de datos de vector basado en archivo para almacenar la ubicación, forma y atributos de entidades geográficas. Una cobertura generalmente representa un solo tema, tal como suelos, corrientes de agua, vías o uso de tierra (Halty: 2004).

### CARTOGRAFIA

Ciencia y arte de hacer mapas y cartas (SIGA).

### COORDENADA

Conjunto de números que definen una ubicación en un sistema de referencia dado, tal como, X y Y en un sistema de coordenadas planas o X, Y y Z en un sistema de coordenadas tridimensional. Las coordenadas representan ubicaciones en la superficie de la tierra relativas a otra ubicación (Halty: 2004).

### DIGITALIZACIÓN

Codificar entidades geográficas en forma digital como coordenadas X y Y (Halty: 2004).

### DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR (CAD)

Sistema automatizado para el diseño, dibujo y despliegue de información orientada gráficamente (Halty: 2004).

### ENTIDAD O FEATURE

1. Clase de objeto en una geodatabase que tienen un campo de geometría de tipo. Las entidades se almacenan en una clase entidad (Halty: 2004).
2. Representación de un objeto del mundo real (Halty: 2004).
3. Punto, línea, o polígono en una *feature class*.

### ESCALA

Razón entre la distancia medida en un mapa, fotografía o imagen y la distancia correspondiente en el terreno (SIGA).

### FORMA

La apariencia característica o forma visible de un objeto geográfico. Los objetos geográficos pueden ser representados sobre un mapa usando uno de las tres formas básicas: puntos, líneas o polígonos (Halty: 2004).

### GEORREFERENCIAR

Indicar de forma explícita la ubicación de un objeto sobre la superficie terrestre definiendo sus coordenadas de acuerdo a una proyección dada.

### GEORREFERENCIA

Las coordenadas de un punto que permiten su ubicación sobre la tierra (SIGA).

### HARDWARE

Es todo componente físico involucrado en el funcionamiento de un equipo informático (SIGA).

### GEODATABASE

Base de datos orientada a objetos geográficos que proporciona servicios para administrar datos geográficos. Estos servicios incluyen reglas de validación, relaciones, y asociaciones topológicas. Una geodatabase contiene conjuntos de datos de entidades y se aloja dentro de un sistema de administración de bases de datos relacionales (Halty: 2004).

### IMAGEN DIGITAL

Un registro codificado digitalmente de la intensidad de la reflectancia o la radiación de un objeto o área. Cada elemento de la imagen digital tiene un valor de intensidad único para cada una de las bandas del espectro electromagnético empleadas (SIGA).

### LEYENDA

Explicación de los símbolos, códigos y otros datos en los márgenes de un mapa, incluyendo fecha, *datum*, fuente, precisión y escala (SIGA).

### MAPA

Una representación de los rasgos y características naturales o artificiales de una superficie (SIGA).

**PIXEL**

(*Picture Element*) El elemento más pequeño, indivisible, de un gráfico (SIGA).

**PRECISIÓN**

Medida de la habilidad para distinguir entre dos valores casi iguales (SIGA).

**PROYECCIÓN**

Transformación matemática que nos permite representar una superficie no plana en un plano (SIGA).

**PUNTO DE CONTROL**

Un punto cuya localización es conocida (SIGA). Punto de ubicación conocido en la obra que puede identificarse en la imagen o mapa y por tanto emplearse para su georreferenciación.

**RÁSTER**

Imagen formada por los colores o tonos de gris de una cuadrícula (SIGA).

**RECTIFICACIÓN**

Conjunto de técnicas empleadas para eliminar deformaciones o errores en aerofotografías, imágenes de satélite o mapas (SIGA).

**SISTEMA CARTESIANO**

Usualmente, un sistema coordinado donde la posición de un punto se mide a lo largo de los ejes ortogonales X y Y (y Z) (SIGA).

**SOFTWARE**

Programas, procedimientos y reglas para la ejecución de tareas específicas en un sistema de cómputo (SIGA).

**TABLA**

Objeto constituido por registros en una base de datos relacional (SIGA).

**TOPOGRAFIA**

Arte y ciencia de representar las formas del terreno y los principales detalles naturales o artificiales del mismo (SIGA).

**VECTOR**

Dos o más valores coordinados (X, Y, Z) (SIGA).

**VECTORIZACIÓN**

Conversión de datos ráster o analógicos a formato vector (SIGA).

**VÉRTICE**

Una pareja ordenada X,Y (coordinada) del conjunto de datos que define una entidad línea o polígono (Halty: 2004).

## 8. BIBLIOGRAFÍA

ARCILA, Manuel. "Historia de los SIG. Cartografía y SIG en España". En: *Sistemas de información geográfica y medio ambiente. Principios básicos*. Cádiz: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 2003. ISBN: 84-7786-827-1.

BAENA, Javier. et al. *Los S.I.G. y el análisis espacial en arqueología*. Madrid: Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid, 1997. ISBN: 84-7477-630-9.

BOOTH, Robert; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. *Editing in ArcMap*. California: ESRI, 2002:a. ISBN: 15-8948-062-7.

BOOTH, Robert; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. *Building a geodatabase*. California: ESRI, 2002:b. ISBN: 15-8948-065-1.

BOOTH, Robert; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. *Geodatabase workbook*. California: ESRI, 2002:c. ISBN: 15-8948-064-3.

BOSQUE, Joaquín. *Sistemas de información geográfica*. Madrid: Ediciones Rialp, 1997. ISBN: 84-3213-154-7.

BORTOLOTTI, Irene. *Grafica al computer per il restauratore*. Padua: Il Prato, 1999. ISBN: 88-8724-306-9.

COLL, Eloína; IRIGOYEN, Jesús; MARTÍNEZ, José Carlos. *Sistemas de Información Geográfica. Iniciación a ArcMap*. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2005.

COLL, Eloína; IRIGOYEN, Jesús; MARTÍNEZ, José Carlos. *ArcMap avanzado*. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2010.

CROSIER, Scott; ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. *ArcGIS 9: Getting started with ArcGIS*. California: ESRI, 2004. ISBN: 15-8948-091-0.

CONOLLY, James; LAKE, Mark. *Sistemas de información geográfica aplicados a la arqueología*. Barcelona: Ediciones Bellaterra, 2006. ISBN: 978-84-7290-440-8.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. *What is ArcGIS?* California: ESRI, 2002. ISBN: 15-8948-060-0.

FERNÁNDEZ, Silvia. "Los SIG en la tutela del patrimonio Arqueológico de Andalucía". En: *Patrimonio y Territorio. Desarrollo de estrategias en entornos SIG. Jornadas Técnicas 8-9 mayo de 2003. Aracena*. Disponible en web: [http://grupo.us.es/atlas/documentos/articulos/desarrollo\\_local/desarrollo\\_local.pdf](http://grupo.us.es/atlas/documentos/articulos/desarrollo_local/desarrollo_local.pdf) [Consulta: 4 de Mayo de 2010].

FERNÁNDEZ, Silvia. "Bases conceptuales y metodológicas de los modelos predictivos en Arqueología". En: *MAPA. Modelo Andaluz de Predicción Arqueológica*. Sevilla: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Junta de Andalucía, 2009. p. 8-32. ISBN: 978-84-6925-935-1.

GARCÍA, Rafael. "La Galería Dorada del Palacio Ducal de Gandía como retórica visual". En: Congreso Internacional de Restauración de pinturas sobre lienzo de gran formato. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2010. p. 41-64. ISBN: 978-84-8363-610-7.

GRAU, Ignacio. *La aplicación de los SIG en la arqueología del paisaje*. Alicante: Universidad de Alicante, Servicio de Publicaciones, 2006. ISBN: 84-7908-863-X.

HALTY, Raquel. *Editing in ArcMap*. California: ESRI, 2004. ISBN: 15-8948-100-3.

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. “Los Sistemas de Información Geográfica”. En: *Geoenseñanza*, 2006, Vól.11, pp.107- 116. ISSN: 1316-6077.

JIMÉNEZ, José Antonio. “Alternativas de software libre a los Sistemas de Información Geográfica Comerciales”. En: *Congreso Internacional Conjunto XVII Ingegraf . XV. ADM. Sevilla, 1, 2 y 3 de Junio de 2005*. Disponible en <http://www.ingegraf.es/pdf/titulos/COMUNICACIONES%20ACEPTADAS/GIS10.pdf> [Consulta: 20 de Octubre de 2010].

MANCEBO, Santiago. *Libro SIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental*. Madrid: Los autores, 2009. ISBN: 978-84-6917-370-1.

MUÑOZ, Ana M<sup>a</sup>; RODRIGO, José M<sup>a</sup>; FERNÁNDEZ, Silvia. “Los datos a examen: estadística e índice de perdurabilidad de los sitios arqueológicos andaluces”. En: *PH. Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 2004, n<sup>o</sup>49, p.71-77. ISSN: 1136-1867.

OCHOA, Lorna del Rosario. 2003. *Sistemas de información geográfica, ventajas y desventajas de su utilización en Guatemala*. [Proyecto fin de carrera]. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2003. Disponible en: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_5530.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_5530.pdf) [Consulta: 7 de Agosto de 2010].

PAREDES, Lorena. 1997. “SIG, GPS, su relación y beneficios en la sociedad actual”. *Mapping, Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*, 1997, n<sup>o</sup>41, p.10-12. ISSN: 1131-9100.

SUBGERENCIA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL AGUA.SIGA. Diccionario de Sistemas de Información Geográfica [en línea]. Disponible en: <http://siga.cna.gob.mx/SIGA/Diccionarios/glosario.htm> [Consulta: 7 de Septiembre de 2010].

## 9. AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Antonio Madrid García, miembro del Dpto. de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la UPV, y responsable del equipo de investigación de documentación y registro del patrimonio pictórico y escultórico dentro del Instituto de Restauración del Patrimonio de la UPV; por el tiempo y la dedicación brindadas.

Al Departamento de Ingeniería, Cartografía, Geodesia y Fotogrametría de la UPV; y en especial a la profesora Dña. Eloína Coll Aliaga por su seguimiento e importante colaboración a lo largo de esta investigación y al profesor D. Joaquín Mora Navarro, sin cuya ayuda no hubiera sido posible automatizar el proceso de vectorización.

A la Dra. Susana Martín Rey, codirectora del proyecto "Restauración de las pinturas murales de la Galería Dorada del Palau Ducal de Gandía" del Instituto de Restauración del Patrimonio, por la confianza y motivación ofrecidas a lo largo de este trabajo. A Cristina Robles de la Cruz, técnica del proyecto, por estar ahí en todo momento proporcionarme un apoyo crucial en la obtención de toda la documentación necesaria para la caracterización de *La Sagrada Familia*.

A la Dra. Begoña Carrascosa Moliner, miembro del Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, y responsable del equipo de investigación de materiales arqueológicos dentro del Instituto de Restauración del Patrimonio de la UPV; por su implicación en los orígenes de este proyecto.

A mis compañeros de Máster, y en especial a Ovidia Soto, Irene Gayá y Ruahaidy Lombert; por suponer un importante soporte tanto académico como emocional a lo largo de todo este año de estudios.