

Seguridad

# Cuaderno Red de Cátedras Telefónica



Universidad de Salamanca

Aplicación de Técnicas Geomáticas a la infografía Forense.

Cátedra Telefónica de la Universidad de Salamanca

A. Muñoz Nieto, P. Rodríguez González, D. González Aguilera, J. Sabas Herrero Pascual.  
No. 8. Diciembre 2012

**Cátedra de Seguridad Universidad de Salamanca**

**Dirección y Coordinación:**

Prof. Dr. D. Fernando Pérez Álvarez, Profesor titular Derecho Penal. Director Ciencias de la Seguridad (CISE).

Profa. Dra. Dña. Angélica González Arrieta, Profesora titular Ciencias de la Computación e Inteligencia artificial.

Profa. Dra. Dña. Lina Mariola Díaz Cortés. Profesora Ciencias de la Seguridad (CISE).

**Despacho:**

291 Facultad de Derecho, Campus Miguel de Unamuno.

**Teléfono:**

923294400 Ext. 1622

**Correo electrónico:**

catedratelefonica@usal.es



CISE



VNIVERSIDAD  
D SALAMANCA



### Ángel Luis Muñoz Nieto

Doctor por la Universidad de Salamanca es profesor titular adscrito al Área de Ingeniería Cartográfica Geodésica y Fotogrametría. Imparte docencia en el Grado de Ingeniería en Geomática y Topografía así como en el Máster de Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura. Participa también en el Diploma de Ciencias de la Seguridad de la Universidad de Salamanca en la asignatura Nuevas Tecnologías aplicadas a la Policía Científica. Sus líneas de investigación se centran principalmente en el uso de las Geotecnologías cartográficas para la documentación y difusión del Patrimonio así como en la integración de sensores para la modelización 3D de escenarios complejos. Es miembro del grupo de investigación TIDOP (Tecnologías de la Información aplicadas a la documentación del Patrimonio)



### Pedro Rodríguez González

Doctor por la Universidad de Salamanca en 2011, tras sendos primeros premios Extraordinarios de fin de carrera en Ingeniería Técnica Topográfica e Ingeniería en Geodesia y Cartografía. Sus líneas de investigación: fusión de sensores (láser y cámara digital), calibración de cámaras, y aplicaciones de las plataformas aéreas no tripuladas y el láser escáner terrestre a la ingeniería y arquitectura.



### Diego González - Aguilera

Es profesor en la Universidad de Salamanca desde el año 2002. Ingeniero en Técnico en Topografía e Ingeniero en Geodesia y Cartografía. Doctor por la Universidad de Salamanca en el año 2005. Fruto de su Tesis Doctoral obtuvo dos Premios Internacionales de la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensor Remoto (ISPRS). Es autor de más de treinta artículos de investigación en revistas indexadas internacionales, varios capítulos de libros internacionales, así como numerosas publicaciones presentadas en congresos. Inventor de una patente y una propiedad intelectual que ha derivado una intensa transferencia de tecnología. Actualmente, es investigador principal de dos proyectos nacionales, un proyecto autonómico y numerosos contratos de Investigación con empresas privadas. Sus líneas de docencia e investigación se centran en la fotogrametría de rango cercano y escaneo láser aplicado a la ingeniería y la arquitectura.



### Jesús Sabas Herrero Pascual

Profesor titular de la Universidad de Salamanca en el Área de Ingeniería Cartográfica Geodésica y Fotogrametría. Ingeniero Técnico en Topografía e Ingeniero en Geografía, realiza su Tesis Doctoral en la detección de patologías en edificios históricos a partir de técnicas fotogramétricas. Es miembro del Grupo TIDOP con el que ha colaborado en los convenios firmados con diversas instituciones en la ejecución de proyectos de investigación que han utilizado como herramientas la fotogrametría digital y el escáner láser.

# Índice.

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>2. LA INFORMACIÓN ESPACIAL EN LA INGENIERÍA FORENSE. CUALIDADES Y EXIGENCIAS .....</b>	<b>7</b>
<b>3. TECNOLOGÍAS GEOMÁTICAS APLICADAS A LA INGENIERÍA FORENSE. ....</b>	<b>8</b>
3.1. DE LA FOTOGRAFÍA A LA FOTOGRAMETRÍA .....	8
3.2 LA FOTOGRAFÍA PANORÁMICA Y LAS VISITAS VIRTUALES. ....	10
3.3 EL ESCÁNER LÁSER .....	12
3.4 LA FOTOGRAMETRÍA AÉREA A TRAVÉS DE UAV .....	15
<b>4. INTEGRACIÓN DE TÉCNICAS Y MODELADO 3D .....</b>	<b>17</b>
4.1. LA EDICIÓN DE NUBES DE PUNTOS .....	18
4.2 LA CONSTRUCCIÓN DE MALLADOS .....	19
4.3 LA APLICACIÓN DEL COLOR AL MODELO .....	20
<b>5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO.....</b>	<b>21</b>
<b>6. GLOSARIO .....</b>	<b>24</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>26</b>

ISSN: 2174-7628

### Resumen

El análisis forense involucra tareas de extracción de información de un escenario así como la reconstrucción del mismo con el objeto de extraer elementos explicativos o probatorios en las actuaciones periciales. En la actualidad la combinación de sensores y tecnologías como el escáner láser terrestre, los vehículos aéreos no tripulados (UAV), las cámaras digitales, los sensores inerciales o los propios GNSS, posibilita la integración de datos y la obtención de resultados de gran potencial visual que, conservando el carácter métrico, están revolucionando las aplicaciones de reconstrucción tridimensional de objetos y escenarios criminalísticos. De este modo puede afirmarse que la reconstrucción y visualización 3D de escenarios complejos constituye uno de los mayores retos para la comunidad científica internacional, en el que confluyen las disciplinas de la visión computacional, la informática gráfica y la Geomática. Este documento hace una revisión de las Técnicas Geomáticas aplicadas a la Infografía forense y de su evolución. Se describen los procesos de integración de datos procedentes de diferentes sensores que tienen como propósito el modelado 3D. Dado que nos movemos en un ámbito de investigación en el que todavía quedan muchas incertidumbres que resolver, en el último apartado se abordan esos retos y se describen las perspectivas de futuro.

### Palabras clave

Infografía forense, geomática, fotogrametría, visión computacional, modelado 3d, láser escáner terrestre, cámara digital, integración de sensores.

### Abstract

Forensic analysis involves tasks of scene information extraction as well as its reconstruction in order to extract elements for explanatory police test or to show forensic evidence in legal proceedings. At present, the combination of sensors and technologies like terrestrial laser scanner (TLS), unmanned aerial vehicles (UAV), digital cameras, inertial sensors, or Global Navigation Satellite Systems (GNSS), allows the integration of spatial data and the generation of virtual infographic products which are extremely attractive. These products, which successfully retain an accurate 3D metric information, are revolutionizing dimensional reconstruction of objects and criminalistic scenes. Thus, it can be said that the reconstruction and 3D visualization of complex scenes is one of the main challenges for the international scientific community. To overcome this challenge, techniques related with computer vision, computer graphics and Geomatics work closely. This document reviews the geomatics techniques applied to improve infographic forensic products and its evolution. We describe the integration of data from different sensors whose final purpose is 3D accurate modeling. As we move into a research area where there is still many uncertainties to be resolved, the final section addresses these challenges and outlines future perspectives.

### Key-words

Forensic infographic, geomatic, photogrammetry, computer vision, 3d modelling, terrestrial laser scanner, digital camera, sensor integration.

## 1. Introducción

Es un hecho incuestionable que las labores de documentación forense adquieren una extremada importancia a la luz de las posibles inferencias, directas o indirectas, que de la información de un escenario pueden extraerse, tanto en el ámbito de la propia investigación criminalística, como en el ámbito judicial o probatorio.

La obtención de una documentación exhaustiva y precisa en un escenario es posible gracias a la integración de información procedente de nuevos sensores y a la combinación de tecnologías que aúnan sus potencialidades para la mejora de la investigación forense. Este es el objetivo al que debe tender la documentación forense, en la cual están convergiendo técnicas en constante evolución, algunas de las cuales vienen de la mano de la geomática.

---

Las tareas de documentación de escenarios (tanto en interiores como en exteriores) pasan por la realización, en primera instancia, de una inspección ocular. En esta tarea, de carácter fundamental, se llevan a cabo labores de observación y documentación minuciosas, cuyo propósito es recabar todo tipo de datos que permitan descubrir, documentar y demostrar los hechos y sus circunstancias.

La documentación fotográfica o videográfica, así como la infografía (entendida como la técnica que se ocupa del desarrollo de herramientas de recreación virtual), pueden considerarse como una fase que integra y complementa la inspección ocular. A través de estas técnicas se recaba información de forma exhaustiva y no invasiva, tanto de carácter general, con el objetivo de relacionar los indicios individuales entre sí, como de detalle, que facilita el análisis pormenorizado de diferentes elementos aislados.

Aunque las técnicas de documentación fotográfica de escenarios del crimen vienen siendo una constante en la investigación policial, es el auge de la fotografía digital, la electrónica, la informática y las telecomunicaciones lo que ha propiciado la extensión de los métodos geomáticos a las técnicas de documentación criminalística.

Los avances tecnológicos actuales brindan extraordinarias oportunidades para que las metodologías de trabajo basadas en la geomática (y en sus disciplinas afines: fotogrametría, topografía,...) sean explotadas en otros contextos científicos como la documentación criminalística, la investigación de siniestros policiales o la obtención de pruebas periciales.

---

## 2. La información espacial en la Ingeniería Forense. Cualidades y exigencias

Como ya se ha apuntado, los escenarios en los que se desenvuelven las investigaciones forenses pueden ser tanto interiores como exteriores. En cualquier caso, las evidencias que dejan los sucesos a investigar adquieren una disposición geométrica particular sobre un espacio tridimensional. A partir de esta disposición pueden inferirse importantes informaciones de interés forense. Las relaciones espaciales entre los elementos de una escena se explican mediante los siguientes conceptos geométricos básicos: distancias (medidas sobre diferentes planos), ángulos (medidos sobre la vertical o la horizontal), superficies, volúmenes o diferencias de nivel (distancias medidas sobre un plano vertical).

Siendo la capacidad de reconocimiento de imágenes en el ser humano una cualidad extraordinariamente perfeccionada, las imágenes han sido tradicionalmente el canal de comunicación a través del cual aprehender y transmitir esas relaciones espaciales. Reconociendo el carácter fundamental de la inspección ocular, las imágenes son el testimonio permanente de un instante, a través de las cuales pueden reconstruirse los hechos. Por ello la imagen ha cobrado en la investigación criminal un papel fundamental y en ella se apoyan distintas técnicas de investigación como por ejemplo la balística o el peritaje caligráfico.

La documentación gráfica de un escenario, concebido como un elemento frágil en el tiempo, tiene como finalidad fundamental la adquisición de datos antes de que las evidencias puedan desaparecer, degradarse o alterarse. El devenir de la investigación puede acabar demandando el procesamiento de esta información de cara a obtener reconstrucciones reales y precisas sobre las que centrar determinadas pesquisas. A partir de esta necesidad y gracias a las posibilidades que brindan nuevas herramientas para la adquisición de información tridimensional y a las aplicaciones informáticas surge la infografía forense.

Precisión y realismo son, las características esenciales que la infografía forense exige en lo relativo a la documentación de escenarios. La precisión en el posicionamiento espacial (planimétrico y altimétrico) de los elementos que conforman el escenario es un elemento clave. Por ello los métodos de captura de información empleados (fotografía, fotogrametría, escáner láser terrestre, etc.) deben garantizar unos valores de incertidumbre razonables que aporten fiabilidad en la medida de ángulos, distancias y superficies. Gracias a un soporte geoméricamente fiable será posible determinar trayectorias en balística, superficializar manchas, calcular distancias o incrementos de nivel entre elementos

Por otra parte el realismo demandado se concreta en la realización de levantamientos sobre los cuales se construyen modelos 3D virtuales que facilitan diversas labores como la reconstrucción judicial o de accidentes, o la verificación del testimonio de testigos. La infografía forense permite la recreación de escenarios tridimensionales y la interacción en ellos de forma dinámica posibilitando además al investigador la adición de elementos nuevos, el cambio del punto de vista o la variación de la iluminación.

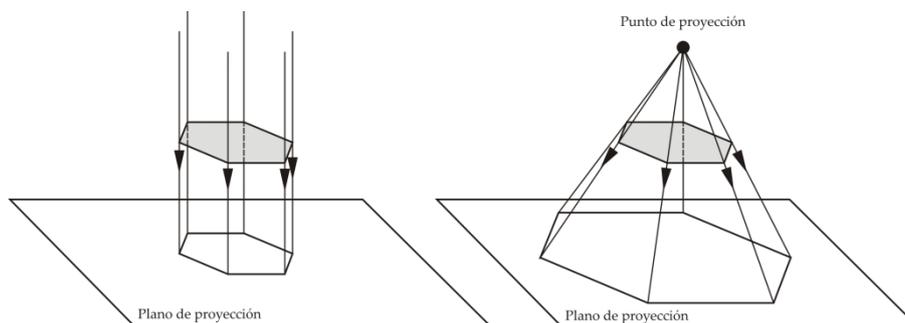
## 3. Tecnologías Geomáticas aplicadas a la ingeniería forense.

### 3.1. De la Fotografía a la Fotogrametría

Las imágenes son la materia prima de la Infografía Forense: sirven para capturar, analizar y transmitir el aspecto visual de los objetos situados en un lugar. Es decir, sirven para documentar, interpretar relaciones, conjeturar o descartar hipótesis de trabajo o establecer una posible secuencia de acontecimientos.

Pero la imagen digital, como la imagen analógica, no es métrica. Es decir, no podemos derivar medidas directas de los objetos que aparecen en ella ni de las distancias a las que se sitúan entre sí. Podemos visualizarlas, interpretarlas, analizarlas, pero no explotarlas métricamente.

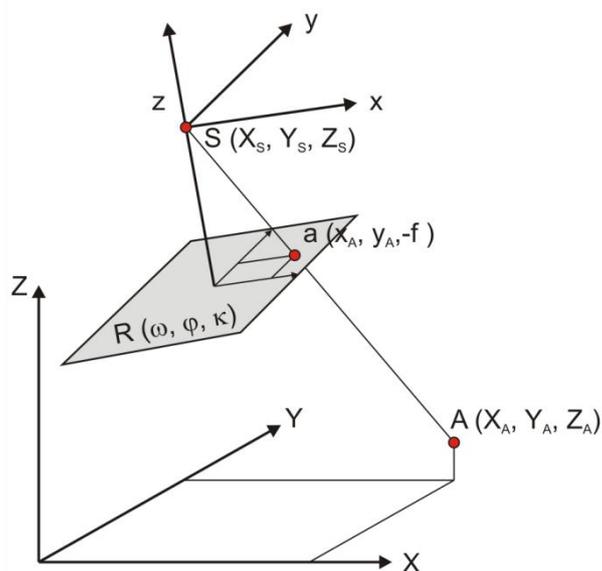
Estos problemas se derivan del hecho de que el fotograma se construye sobre la base de la perspectiva cónica y no de una proyección ortogonal. Ello tiene como consecuencia que la escala en la imagen sea variable y por tanto, que para la inferencia de medidas sobre ella deban extremarse las precauciones.



*Figura 1. Proyección ortogonal y cónica.*

La Fotogrametría se ocupa de la obtención de información métrica (bidimensional o tridimensional) a partir de imágenes fotográficas. La Fotogrametría es la tecnología que permite que, además de emplear las imágenes para reconstruir un determinado escenario, podamos dotarlo de rigor dimensional.

La Fotogrametría se basa en la relación geométrica que se verifica entre los puntos del objeto (elemento 3D en el espacio), los puntos imagen correspondientes (2D) y el punto de vista (objetivo de la cámara). En esencia, diremos que cada punto del objeto, su imagen fotográfica y el punto de vista verifican una condición de colinealidad, es decir, forman una recta.



*Figura 2. Geometría de la condición de colinealidad*

En el proceso fotogramétrico pueden distinguirse dos fases: la fase de toma fotográfica y la fase de restitución. En la primera, a partir de un objeto real tridimensional se forma la imagen (fase de toma fotográfica). El proceso de restitución consiste justamente en lo contrario: a partir de la imagen se tratará de reconstruir el objeto, es decir, su representación cartográfica o virtual.

Para poder realizar la restitución cartográfica de una fotografía se deben resolver tres problemas de índole geométrico.

1. En primer lugar es necesario conocer la posición del punto de vista respecto del fotograma (o imagen digital), es decir, debemos conocer la geometría de la cámara (fundamentalmente su distancia focal y sus distorsiones y deformaciones). Este proceso se conoce como orientación interna y tiene como propósito fundamental fijar el punto de vista con el plano imagen y modelar su comportamiento físico real.

2. En segundo lugar debemos conocer la localización del fotograma y la cámara con respecto al objeto. Este proceso se denomina orientación externa, cuando la ubicación del objeto está referida a un sistema de coordenadas terreno, u orientación relativa cuando no se trabaja con un sistema de referencia real. En el caso de la documentación de escenas en interiores, este sistema de referencia cartesiano se caracteriza por el hecho de que el eje Z suele coincidir con la dirección vertical y el plano XZ (o YZ) suele coincidir con alguna de las fachadas o paredes del objeto. El posicionamiento de cada imagen en el espacio está determinado por las coordenadas del punto de vista y de los giros con respecto a los tres ejes del espacio.

3. Por último se debe resolver la intersección entre el objeto y las rectas disponibles (las cuales son las proyecciones de los puntos del objeto sobre el fotograma). En términos geométricos esto supone el planteamiento de un problema sin solución por definición, ya que necesitaríamos el objeto para determinar la posición de sus puntos. Para solventar este problema la fotogrametría procede de forma similar al comportamiento de la visión humana, la cuál con dos imágenes convergentes obtiene las intersecciones buscadas sin conocimiento previo del objeto.

Gracias a los procesos fotogramétricos la documentación gráfica de escenarios puede incorporar importantes mejoras en la capacidad de análisis del investigador. Estas se derivan esencialmente del salto de las 2D, características de la fotografía convencional, a las 3D de los nuevos productos gráficos. La tercera dimensión mejora la eficacia de la representación, potenciándose de modo asombroso la riqueza visual de las imágenes. Si a todo ello unimos las posibilidades de recreación virtual y de visualización interactiva nos encontramos con una variada gama de productos gráficos derivados que contribuyen de forma notoria a aumentar la calidad de la documentación.

---

### 3.2 La fotografía panorámica y las visitas virtuales.

A diferencia de la fotografía convencional, en la que un detalle o un determinado aspecto del escenario ocupan el centro de atención de la imagen, en la fotografía panorámica se trata de recoger la totalidad de la información gráfica de un lugar. De este modo se pretende conseguir la sensación de estar dentro de la escena, haciendo sentir al que contempla una fotografía panorámica que ha sido trasladado al lugar representado. La inmersividad se puede lograr mediante imágenes que abarcan un campo de visión angular grande, mayor del que la vista humana puede alcanzar en un instante.

Con la llegada de las imágenes digitales la fotografía panorámica ha tenido un gran auge y se han multiplicado sus posibles aplicaciones. La tecnología digital aumenta la flexibilidad de estos documentos para ser alterados, realzados, reescalados, procesados, remuestreados o fusionados de forma “sencilla”.

Generar imágenes panorámicas o panoramas se ha convertido en una tarea asequible, y al alcance de todos, lo que ha contribuido a relanzar esta tecnología en los últimos años. En la medida en que la geometría de la cámara es conocida (es un caso de proyección central sobre el plano de la imagen), y en la medida en que la geometría de la imagen panorámica puede definirse de forma también elemental, la tarea de obtener una imagen panorámica inmersiva es sencilla: se trata de calcular la nueva posición que deben ocupar los píxeles de las imágenes obtenidas a partir de la posición que ocupaban en los documentos originales.

La potencia de cálculo de los ordenadores permite determinar la porción del panorama que corresponde a una dirección cualquiera del eje de visualización en tiempo real. De esta manera se crea la sensación de un barrido natural del panorama que simula de forma verosímil los giros de exploración de la cabeza del espectador que se encuentra en el interior del lugar original.

Las imágenes panorámicas son la base para la creación de visitas virtuales articuladas. Se trata de un producto gráfico interactivo de carácter no métrico que permite al usuario la inmersión en escenarios complejos y su inspección virtual. Posibilitan también la inclusión de información adicional de forma estructurada (texto, fotografías, recursos multimedia) a los cuales se accede interactivamente. Las visitas virtuales se integran en una interfaz compacta a la que se suele añadir un mapa o plano interactivo y otra información posicional que actúe como guía para la exploración de las imágenes elementales.

Las imágenes panorámicas pueden ser proyectadas o parametrizadas sobre superficies planas, esféricas, cilíndricas o cúbicas. Mediante la parametrización se resuelve un problema análogo al de la representación cartográfica: se busca una solución para representar sobre un soporte plano (ya sea papel o digital) la superficie de la Tierra.

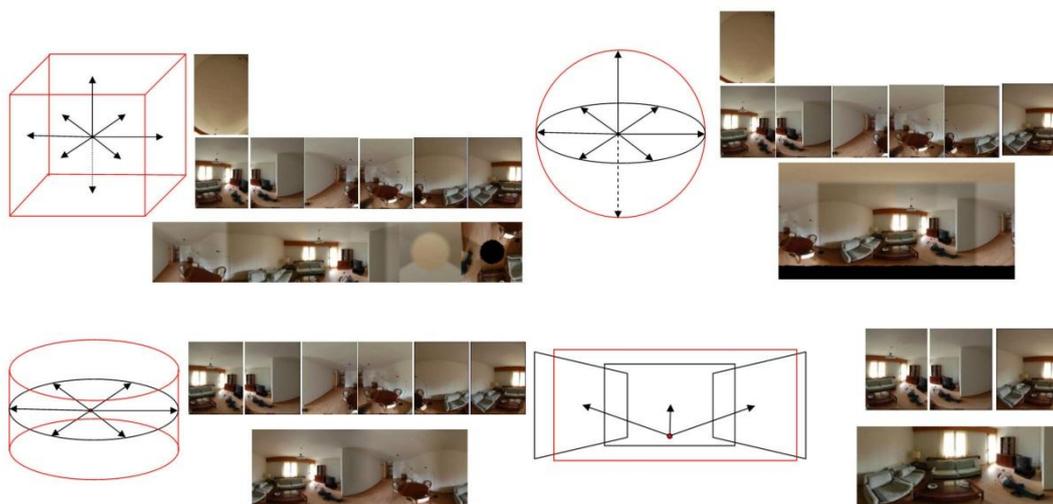


Figura 3. Diferentes tipos de proyección de las imágenes panorámicas.

En el primer caso, imágenes planas, la cuestión consiste en proyectarlas sobre un plano único. Es una solución sencilla pero por contra está limitada a variaciones angulares pequeñas (no pueden alcanzarse los 180° de campo angular), y genera deformaciones geométricas cuando se representan zonas no asimilables a un plano (no coplanares) tal como esquinas de paredes.

En el segundo caso, imágenes cilíndricas, la cuestión consiste en proyectar las imágenes originales sobre un cilindro cuyo eje (perpendicular a los ejes de toma de las imágenes) pasa por el punto de proyección. Se trata de una solución muy aceptable, pues al ser el cilindro una superficie desarrollable el documento resultante puede guardarse y visualizarse como un documento plano, es decir, como una imagen digital. De esta manera, además, se pueden cubrir 360° en sentido horizontal (suponiendo el cilindro con eje vertical). La limitación de esta opción estriba en que no pueden incluirse detalles situados por encima o por debajo de una determinada inclinación respecto a la horizontal, debido a la aparición de fuertes deformaciones geométricas. Esta limitación es relativa, ya que no siempre será necesario representar los techos (o el cielo) y los suelos.

En el tercer caso, imágenes esféricas se trata de proyectar las imágenes originales sobre una esfera cuyo centro coincide con el punto de vista de las mismas. Es la solución idónea ya que permite incorporar imágenes tomadas en cualquier dirección del espacio. Las limitaciones de esta solución se deben al hecho de que a la hora de representar el panorama sobre un plano, debe recurrirse a una técnica de proyección adicional como, por ejemplo, la equirectangular.

En el cuarto y último caso, imágenes cúbicas, se trata de proyectar las imágenes originales sobre las seis caras planas de un cubo en cuyo centro se encuentra el punto de vista de las mismas. De esta manera, se alcanza el mismo requisito de globalidad asociado a las imágenes esféricas y se eliminan las distorsiones de éstas. El problema se deriva de que obtener un documento rectangular (concordante con el formato convencional de una imagen digital) es necesario desarrollar las seis caras del cubo lo que lleva a una configuración en la que aparecen discontinuidades difíciles de interpretar de forma natural.

Uno de los puntos fuertes de la fotogrametría panorámica y de las visitas virtuales frente a la infografía, es su portabilidad, ya que en el primer caso son imágenes digitales estándar y en el segundo, se ejecutan desde visores flash (incorporados en los navegadores web).

### 3.3 El escáner láser

La documentación y reconstrucción 3D mediante el uso del láser escáner terrestre de escenarios en criminología, así como en grandes siniestros es una línea de trabajo pujante en el contexto de la Ingeniería Forense. La espectacularidad de los resultados que se obtienen a primera vista no debe ocultar la complejidad de los procesos de tratamiento, discriminación y categorización de la información, necesarios si queremos que ésta sea verdaderamente útil.



*Figura 4. Escáner láseres terrestres en escenarios interiores y exteriores*

La aparición del láser escáner terrestre ha supuesto en los últimos años un gran salto en la calidad y cantidad de la información geométrica que se puede obtener. El escáner láser es un nuevo instrumento de medida que está produciendo muchos cambios en el planteamiento, desarrollo y ejecución de proyectos de recreación de escenarios en tres dimensiones. La captura masiva y automática de información 3D de carácter métrico es el factor más sobresaliente del sistema. A diferencia de otras metodologías de captura en las que los operadores seleccionan las entidades o características más significativas del trabajo en cuestión, esta metodología rompe la regla tradicional de medir lo justo con la suficiente precisión, para pasar al concepto de medición “ciega” y completa del conjunto de la escena. En este sentido el láser escáner incorpora un sensor activo capaz de capturar millones de puntos en tan sólo unos segundos.

Es importante resaltar, que las técnicas láser, dados los principios físicos en los que se fundamentan, son técnicas no invasivas, es decir, no requieren contacto directo con el objeto a documentar. Este es un factor clave y crítico en la infografía forense donde hay que descartar aquellas técnicas que pueden provocar una degradación de la escena.

La información capturada por el láser escáner adquiere forma de nube de puntos. Una nube de puntos es una recopilación de puntos medidos sobre un sistema cartesiano tridimensional. Adicionalmente a cada punto se le pueden asignar atributos (información complementaria), como por ejemplo su radiometría (valores de color RGB, intensidad, etc.).

Son varios los principios físicos en los que se fundamenta esta tecnología y muchas las variantes y modelos que los fabricantes están comercializando. Es decir, no existe un láser escáner universal que solvete los requerimientos de todas las aplicaciones posibles. Por el contrario, los usuarios han de evaluar las características y prestaciones de los diferentes equipos de modo que se ajusten a sus necesidades.

La clasificación de los láseres escáner terrestres que a continuación utilizaremos se apoya en los dos factores que mejor definen su tipología: el sistema de medida (fundamentación física) y el rango de distancias de escaneo.

### Según el principio físico del sistema de medida

1. Tiempo de vuelo: El principio operacional de los láseres escáner de medición de tiempo de vuelo está basado en la medida del tiempo invertido por el pulso láser en incidir sobre el objeto medido y retornar al foco emisor. Esta magnitud se usa para deducir la distancia a un punto del objeto en cuestión. La definición de este vector se completa con la medida de los ángulos horizontales y verticales según el sistema de coordenadas del sensor. Este haz de luz láser ira barriendo toda la zona de estudio, tomando la medida de las coordenadas de cada punto según la densidad de captura que haya configurado el usuario. El efecto barredor es logrado usando espejos oscilantes que permiten pequeños y precisos cambios angulares.

En comparación con el resto, los láseres escáner de tiempo de vuelo permiten distancias de medición mayores, llegando incluso a kilómetros. No obstante, son menos precisos que los de triangulación y los de diferencia de fase. Su precisión está entre algunos milímetros y dos o tres centímetros. Dado que el haz de luz láser aumenta su divergencia en función de la distancia al objeto, esto será un condicionante para determinar la precisión de la medida. Del mismo modo, la precisión también estará condicionada por el mínimo valor angular posible entre dos puntos sucesivos.

2. Diferencia de fase: El fundamento físico de estos láseres escáner se basa en el cálculo de la distancia entre el láser escáner y el punto del objeto mediante la determinación de la diferencia de fase entre la onda emitida y la recibida. A esta medida se le ha de sumar  $n$  veces la longitud de onda completa. Para conocer esta ambigüedad  $n$  se emiten varias ondas con diferente frecuencia. Como el anterior método, también se recogen dos ángulos medidos en planos perpendiculares (horizontal y vertical) para la localización de cada punto. Es una técnica que adopta el principio de la medida electromagnética de distancias empleado por gran parte de los aparatos topográficos.
3. Triangulación óptica: A diferencia de los anteriores, donde la incógnita a determinar es la distancia escáner-objeto, esta técnica se basa en un principio simple de triangulación. Se pretende resolver un triángulo a partir del valor conocido de su base (uno de sus lados) y de los ángulos adyacentes. Esta base está definida por la distancia existente entre un emisor láser y una cámara que recibe la luz reflejada sobre el objeto; mientras que los ángulos adyacentes serán determinados durante la operación de medida. Mediante una sencilla operación matemática se puede obtener así la posición de cada punto. Este tipo de láser escáner es muy preciso, por debajo del milímetro. Sin embargo, su alcance está limitado a unos pocos metros.

### Según el rango o alcance de escaneo

1. Largas distancias: Los láser escáner de tiempo de vuelo serán los adecuados para cualquier aplicación en exterior. Estos son los únicos que pueden llegar a distancias de 1-2 kilómetros.
2. Medias distancias: Tanto los láser escáner basados en diferencia de fase como los de tiempo de vuelo se podrán utilizar en aplicaciones en interiores o en exteriores.
3. Cortas distancias: Los láser escáner basados en triangulación óptica son los óptimos para medidas de corto alcance y alta precisión, como, por ejemplo, antropología forense, restos arqueológicos, metrología, etc.

A continuación y con objeto de ilustrar sus características y tipologías, la siguiente tabla (Tabla 1) muestra las diferentes categorías de láser escáner según el sistema de medida y su rango de escaneo.

Sistema de medida	Máxima distancia	Precisión	Aplicaciones
Tiempo de vuelo (I)	$D < 1000-2000$ m	$\sigma < 20$ mm	Medioambiente
Tiempo de vuelo (II)	$D < 200-300$ m	$\sigma < 10$ mm	Patrimonio
Diferencia de fase	$D < 100$ m	$\sigma < 10$ mm	Industria
Triangulación óptica	$0.02 < D < 5$ m	$\sigma < 1$ mm	Medicina forense

Tabla 1: Clasificación de los láser escáner terrestres.

Como se puede ver, los equipos mejor situados para la documentación forense son los equipos de tiempo de fase, por su relación velocidad de trabajo y campo abarcado; y los de triangulación óptica por su elevada precisión y resolución de captura de la información. No obstante, si bien estos últimos son los que presentan las mejores características, no son aplicables a la totalidad de la escena dada la reducida área que pueden abarcar.

No hay que olvidar que en la documentación forense hay que buscar un equilibrio, o solución de compromiso entre los siguientes factores: precisión, exhaustividad (resolución), tiempo en captura de datos (limitado por la vida temporal de la escena) y tiempo de procesado.

### 3.4 La fotogrametría aérea a través de UAV

Desde el advenimiento de la Fotogrametría Digital en la década de los 90, uno de los rasgos más notables de esta línea es su creciente popularización y socialización; esto es, la posibilidad de desarrollar líneas de bajo coste al alcance de cualquier tipo de usuario. Actualmente, una de estas posibilidades pasa por el empleo de plataformas aéreas no tripuladas (*Unmanned Aerial Vehicles* - UAVs) de bajo coste con las que obtener imágenes aéreas que permitan la derivación de productos cartográficos cuyas aplicaciones se extienden a diferentes campos de trabajo. El interés por la imagen aérea está asociado al interés que cobran todas aquellas partes del objeto que están fuera del alcance "visual" del instrumental disponible en tierra: cubiertas, patios interiores, etc.

Dentro de la fotogrametría aérea tenemos tres tipos de imágenes según la posición de toma: nadirales, oblicuas y panorámicas. Las primeras son las más utilizadas en la producción de mapas y otros productos cartográficos desde mediados del siglo pasado, y explotan los conceptos de la estereoscopia (generación de sensación de profundidad a partir de dos imágenes planas). Las imágenes oblicuas, aquellas que no están restringidas por la verticalidad de la toma, abren un gran abanico de explotación de información para las técnicas forenses, ya sea como elemento auxiliar para la propia comprensión de la escena, o para la extracción de información que complementa la recogida desde el terreno por parte de las técnicas geomáticas mencionadas anteriormente. Y finalmente el tercer tipo, las imágenes panorámicas aéreas, que facilitan la exploración completa del hemisferio nadiral (semiesfera inferior que se forma desde la posición aérea del sensor) aportando así la inspección de un escenario desde una posición insólita para el investigador forense.

Las imágenes aéreas, no son elementos aislados, sino que pueden ser integradas en otros sistemas más complejos, como los sistemas de información geográfica, mediante una sencilla operación de georeferenciación. Las herramientas topográficas como el GNSS (posicionamiento global por satélite) permiten identificar puntos significativos y dotarle de información 3D de manera que puedan integrarse en un sistema de referencia global.

---

Hemos considerado que hay dos tipos de escenas en función de su extensión: las de reducidas dimensiones (habitaciones, o espacios cerrados) y las que involucran espacios abiertos (calles y solares en entornos urbanos o diferentes terrenos en entornos naturales). Para este segundo tipo la comprensión de la escena se realiza mejor desde un punto de vista aéreo (a vista de pájaro), ya que ayuda a contextualizar todos los elementos de la escena dando la posibilidad de establecer nuevas relaciones entre ellos.

Hasta este punto solo hemos mencionado, de forma somera, las ventajas de las imágenes aéreas, obviando algo determinante como es la plataforma aérea desde la que se toman. La principal característica de la plataforma UAV es el bajo coste y sus reducidas dimensiones, si lo comparamos con las plataformas tripuladas utilizadas tradicionalmente como son los aviones. De entre las diversas tipologías de UAV, la estrella son los multirrotores, que en esencia son artilugios compuestos por varias hélices y motores, siendo las configuraciones más comunes de 4, 6 y 8 hélices. Este tipo de UAV mejora las prestaciones de los helicópteros de radiocontrol aumentando la capacidad de maniobra y la estabilidad en el aire. La presencia de múltiples motores, por otra parte aporta una mayor seguridad ante la posibilidad de fallo de alguno de los componentes.



*Figura 5. UAV multirrotor en vuelo*

La capacidad de exploración espacial de los UAVs multirrotores eléctricos supera a los de ala fija, que no se pueden detener en el aire, y a los de motor de explosión, ya que pueden fotografiar con menos vibraciones. Otra ventaja de estos dispositivos es la posibilidad de planificar la ruta de exploración, optimizándose con ello el proceso de captura de datos. En casos en los que haya que sobrevolar escenarios complejos, el operador puede explotar la gran capacidad de maniobra de los multirrotores desactivando el control programado de la ruta y activando el control manual. Para lo cual se disponen de dispositivos de visualización en tiempo real que sitúan al operador en el punto de vista de la cámara en el aire. Este sistema garantiza la correcta adaptación a cada caso de trabajo y sus particularidades.

Otra ventaja de los UAV multirrotores es que permiten sobrevolar zonas peligrosas donde los investigadores pueden explorar, documentar y reconstruir la escena sin riesgo y de forma rápida.

Las plataformas UAV son modulares, pudiéndose personalizar la configuración del equipamiento a bordo. De este modo es posible embarcar diferentes tipos de cámaras: cámaras réflex, de video, térmicas, multispectrales. También es posible embarcar sistemas multisensoriales, desde los cuales se recoge información en el espectro visible y no visible (infrarrojo cercano, térmico,...) que dota de un nuevo nivel de interpretación a los escenarios complejos y extensos.

## 4. Integración de técnicas y modelado 3D

En la sección 3, han sido descritas las herramientas que se utilizan en la fase de captura de información gráfica (levantamiento geomático) en ingeniería forense. Pero dicha fase necesita etapas subsiguientes de procesado y extracción de información. En esta sección se describirán de forma somera dichas operaciones.

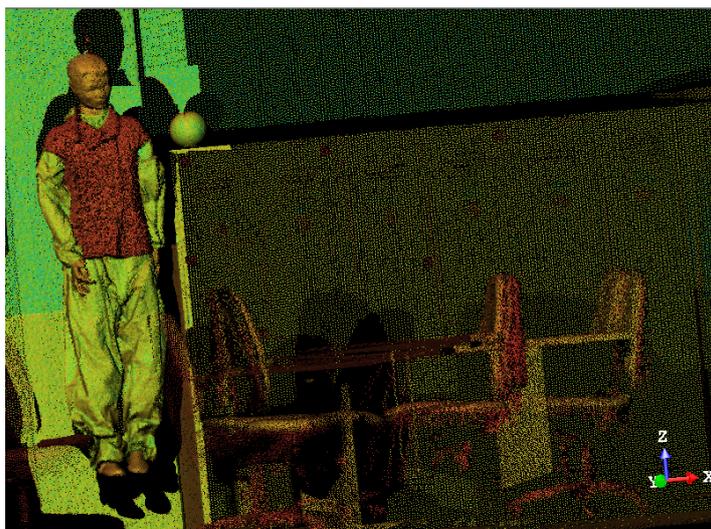
Los resultados obtenidos de los levantamientos geomáticos constituyen una de las fuentes principales de datos de entrada para la infografía forense. Los métodos empleados por ésta, en buena parte, se

sustentarán en los elementos geométricos de la escena extraídos, de modo preciso según las técnicas descritas anteriormente.

### 4.1. La edición de nubes de puntos

Abstrayendo lo esencial, se puede afirmar que el resultado de un levantamiento geomático (hecho por fotogrametría o mediante láser escáner, principalmente) está conformado por una o varias nubes de puntos inconexas. En este segundo caso, las nubes de puntos estarán referidas a diferentes sistemas de coordenadas locales, que no tienen que coincidir, ni siquiera en la orientación de sus ejes (sus orígenes no tienen por qué ser los mismos).

Las nubes láser se caracterizan por ser métricas, es decir describen los datos según una escala real y porque su eje Z es coincidente con la vertical. Por el contrario, las nubes de puntos fotogramétricas, pueden estar representadas a una escala cualquiera (es decir, el modelo real no está a escala), y su sistema de ejes no tiene que seguir una orientación dada. El anclaje común de las diferentes nubes de puntos es posible si todas ellas se encajan en un mismo sistema coordenado de referencia. A esto se le denomina georeferenciación.



*Figura 6. Unión de nubes de puntos de un escenario interior. Radiometría de valores de intensidad.*

La unión de nubes de puntos puede resolverse mediante dos tipos de procedimientos matemáticos:

- Seleccionando al menos tres puntos de la escena comunes en ambas nubes y resolviendo matemáticamente la transformación geométrica necesaria para hacerlas coincidir (aplicación de giros, traslaciones y cambios de escala oportunos). Para ello el procedimiento matemático más común se denomina Helmert 3D.

b) Calculando las coordenadas de los puntos de cada nube en un sistema global, de forma que re-posicionaríamos cada nube de forma independientemente.

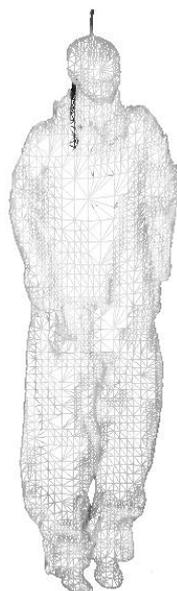
Al objeto de que estos procesos de cálculo se optimicen, es recomendable que previamente las nubes de puntos hayan sido sometidas a un proceso de edición para su depuración. Este proceso de edición involucra primeramente la eliminación del ruido (puntos y elementos capturados que no son de interés para el estudio de la escena). Seguidamente, la edición demanda una homogeneización de la resolución espacial. Esto supone una selección de puntos de modo que la densidad de los mismos sea coherente. Así se evitan que zonas de poco interés queden sobredensificadas como consecuencia de las peculiaridades del objeto o de la configuración de la toma de datos.

#### **4.2 La construcción de mallados**

La nube de puntos, como conjunto de información espacial, tiene dos grandes limitaciones por las cuales su uso directo no es adecuado en las aplicaciones vinculadas al campo de la infografía forense: carencia de topología y carencia de información radiométrica de alta calidad.

La primera limitación es consecuencia de que el conjunto de puntos que constituyen una nube conforman una representación discreta (no continua) de la realidad. Esto significa que, si bien su posicionamiento espacial es preciso, la nube de puntos no contiene la información sobre las relaciones existentes entre ellos, ni sobre las relaciones que tienen los puntos individuales con las entidades a las que pertenecen. Como consecuencia de ello, por ejemplo, los puntos integrantes de una recta en la nube, son entidades geométricas aisladas. Es decir, no están asociados para definir otros elementos más complejos, ni para describir relaciones de inclusión, vecindad, contigüidad, conectividad, etc. (relaciones topológicas). El segundo inconveniente que hace limitado el uso de nubes de puntos en infografía forense es el hecho de que las nubes de puntos no contienen información radiométrica de calidad. La solución a este problema pasa por la integración de información procedente de otros sensores, como la cámara digital, especializados en este tipo de operaciones.

Por todo ello, la utilidad inmediata de las nubes de puntos en infografía forense generalmente se limita a proporcionar información métrica precisa de los elementos que conforman la escena. No obstante, a partir de dicha representación discreta de la realidad, es posible reconstruir los objetos espaciales mediante las denominadas técnicas de generación de mallados o triangulación espacial. En otras palabras, el paso de la nube de puntos a la malla facilita la adecuación de la información espacial a las tareas de reconstrucción de escenarios tridimensionales.



*Figura 7. Mallado obtenido a partir del ejemplo anterior de nube de puntos.*

Los mallados se conforman como una sucesión continua de planos (los definidos por cada uno de los triángulos) a través de los cuales quedan descritas superficies complejas en tres dimensiones. Dichas superficies se adaptan a las formas reales que tienen los objetos y los escenarios. Aun siendo eficaz esta solución, su eficiencia viene cuestionada por las dificultades que entraña su visualización y manejo en términos de costes de computación. Lógicamente, cuanto menor sea el tamaño de los triángulos mejor se acomodarán a los objetos de un escenario. Pero un menor tamaño en los triángulos implicará un mayor número de estos. Para conseguir la necesaria agilidad en la manipulación de los mallados será precisa su simplificación. Esta operación pasa por la disminución del número de triángulos mediante técnicas de optimización de mallas, y/o por la reducción de algunos elementos complejos a primitivas geométricas simples: planos, cilindros, esferas. De este modo se obtienen los modelos sólidos, que son modelos adaptados a los requerimientos de la infografía forense. Estos modelos sacrifican la exhaustividad geométrica de la nube de puntos y de los mallados en aras de una mayor manejabilidad y efectividad comunicativa.

#### **4.3 La aplicación del color al modelo**

La construcción del modelo sólido no termina aquí ya que inicialmente carece de información radiométrica, es decir, no tiene color. La siguiente labor en el modelado será por tanto la transferencia del color a la malla, operación que puede parecer trivial inicialmente, pero que entraña un cierto grado de complejidad.

Por consiguiente, el problema a resolver es ¿qué color debemos atribuir a cada triángulo?. Para ello la estrategia que en un principio parece sencilla sería buscar la correspondencia de dicho triángulo en una fotografía y transferirle el color que aparece en ella, también denominado textura. El procedimiento se complica desde el momento en que un triángulo puede aparecer en dos o más fotos, cuando en ellas las condiciones de iluminación sean diferentes, situación bastante común. Esto tendrá como resultado que el área representada por dicho triángulo poseerá un color diferente en cada foto. La resolución genérica y más simple de este problema pasará por asignar a cada triángulo el valor medio ponderado de las texturas extraídas de todas las imágenes en las que aparece.

Otra dificultad se deriva de que algunos triángulos pueden no ser “visibles” desde todas las fotos, debido a la posición del punto de vista en cada una de ellas. En este caso la solución se basa en analizar el alejamiento entre el centro de proyección de la foto y cada triángulo, aplicando las texturas a los triángulos más cercanos al punto de vista. Por último también habría que considerar el efecto distorsionador que la perspectiva ejerce sobre la proyección de los colores. Para ello es recomendable que las fotografías tomadas de las diferentes caras del objeto minimicen el efecto de la perspectiva.

## 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

La reconstrucción y visualización 3D de escenarios complejos constituye uno de los mayores retos para la comunidad científica internacional, especialmente para las disciplinas de la visión computacional, la informática gráfica y la geomática. La complejidad de los objetos, su geometría y apariencia, junto con las propiedades de iluminación de la escena, convierten a este problema en una línea de investigación extremadamente compleja a la vez que fascinante, de la cual numerosas técnicas aplicadas, como la infografía forense, podrán beneficiarse.

La combinación de sensores y tecnologías novedosas (aún poco difundidas) como el escáner láser terrestre (TLS) y los vehículos aéreos no tripulados (UAV), con otras más populares o más difundidas, como las cámaras digitales, los sensores inerciales o los propios GNSS (siendo el más extendido el GPS), proporcionan a los usuarios de la información gráfica la posibilidad de integrar informaciones y diseñar flujos de trabajo de los que se obtienen resultados de gran potencial visual, que conservando el carácter métrico están revolucionando las aplicaciones de reconstrucción tridimensional de objetos y escenarios criminalísticos.

Haciendo uso de las modernas herramientas de visualización podemos desenvolvemos (navegar) en entornos inmersivos, explorándolos con la capacidad añadida de interactuar en ellos. Todo este potencial

puesto al servicio de la investigación forense permite una mayor eficiencia tanto en el análisis de hechos como en el planteamiento y contraste de hipótesis en las que finalmente se da cabida a la simulación.

**La homogeneización y simplificación de uso de las aplicaciones informáticas que trabajan con la información gráfica, la incorporación de otros recursos multimedia, así como las posibilidades de publicación y difusión en la web refuerzan aún más las capacidades de las nuevas tecnologías de documentación gráfica en criminología.**

---

En definitiva, nos encontramos en un momento de intensos cambios en el ámbito de la documentación gráfica del que, gracias a la interdisciplinariedad, la investigación forense puede beneficiarse de los avances concurrentes de diversas disciplinas cuyo hilo conductor es la geomática. Con ello el investigador trabajará con productos de mayor potencial comunicativo y calidad, dotados de dinamismo y propiedades multimedia que reforzarán la verosimilitud de sus hipótesis y la significatividad de la información procesada.

No existe una metodología única y definitiva para acometer la reconstrucción 3D, al menos en las aplicaciones relacionadas con la investigación forense, tales como la documentación y recreación de escenarios de criminología y grandes siniestros. Esto se debe a que los requerimientos de precisión y realismo así como el nivel de complejidad en la modelización aumentan considerablemente tanto desde el punto de vista de la geometría como de la propia radiometría.

En busca de esta metodología de trabajo eficiente, el éxito y futuro de las modernas técnicas geomáticas examinadas pasará por su integración con otras, cuyos resultados hayan sido ya contrastados en aplicaciones relacionadas con el análisis y la reconstrucción a partir de imágenes. De este modo, parte de los algoritmos desarrollados en un entorno 2D pueden ser adaptados e incorporados al tratamiento y explotación de los datos 3D proporcionados por los nuevos sensores geomáticos. El reto científico para el futuro se plantea en términos de ser capaces de extraer geometrías complejas e información semántica de manera automática.

Más en concreto, y en el contexto de la ingeniería forense, las aplicaciones de las nuevas tecnologías geomáticas se enfrentarán en el futuro a los siguientes retos:

- Desde el punto de vista de captura de datos espaciales, han de desarrollarse procesos de escaneo más inteligentes que permitan realizar barridos adaptativos en función de la geometría y complejidad del objeto o escena. Esto tendría como consecuencia, por ejemplo, dotar de más densidad a las áreas heterogéneas y complicadas y de menos densidad a las zonas homogéneas y sencillas. Ello tendría el efecto inducido de optimizar los tiempos de captura de datos debido a la reducción de información redundante. Dada la fragilidad temporal de los escenarios forenses este es un punto especialmente importante. El adelgazamiento de la información capturada incidiría del mismo modo en el recorte de los tiempos de procesado.
- Tanto en el marco de la criminología como en la reconstrucción de grandes siniestros, es clara la necesidad de automatizar la extracción de geometrías básicas (líneas, aristas, esquinas,

cilindros, planos, etc.) y complejas (paraboloides, elipsoides, hiperboloides) que nos permitan pasar de la estructura en nube de puntos a una estructura geométrica más simplificada y con información topológica. Este avance supone un salto significativo para el desarrollo de simulaciones multimedia interactivas que son el objetivo final de la infografía forense.

- Por último se hace necesario desarrollar líneas de acción multi-sensorial, que en base a diversos sensores tales como láser escáner, cámara digital y cámaras panorámicas, permitan una documentación y reconstrucción 3D integral de escenarios complejos.

## 6. GLOSARIO

**Cámara multispectral:** Cámara digital dotada de un sistema óptico electrónico capaz de registrar la reflectividad diferenciada que ofrecen los objetos en varios rangos de longitud de onda, tanto visibles como no visibles.

**Cámara térmica.** Cámara digital especializada en el registro de longitudes de onda en el rango del infrarrojo térmico. Es por tanto sensible a las variaciones de temperatura de los objetos.

**Condición de colinealidad:** Es uno de los principios fundamentales en que se basa la Fotogrametría. Define una condición geométrica que establece que el punto de vista, el punto imagen y el punto objeto pertenecen a la misma recta.

**Entidad geométrica.:** Elemento geométrico diferenciado definido en base a primitivas gráficas (punto, recta, polígono). Las entidades geométricas se usan en el dibujo asistido por ordenador para representar entidades geográficas del mundo real (un pozo, un río, una parcela).

**Escáner laser terrestre.** Es un dispositivo óptico electrónico cuyo funcionamiento se basa en el barrido de los objetos mediante un haz de luz monocromática y coherente gracias al cual es posible determinar a gran velocidad las distancias a los puntos que definen la forma de un objeto y ocasionalmente su color. La información obtenida se puede usar para construir modelos digitales tridimensionales que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones.

**Espectro electromagnético visible/no visible.** El espectro electromagnético es la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas según su frecuencia y longitud de onda. Algunas de estas ondas son percibidas por nuestro sentido de la vista (espectro visible) y otras no (espectro invisible). Estas últimas pueden ser detectadas por dispositivos óptico electrónicos.

**Fotogrametría.** Conjunto de métodos y de operaciones que permiten la confección de mapas y planos, incluyendo la determinación de la tercera dimensión, a partir de fotografías.

**Geomática.** Conjunto de técnicas en las cuales se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información espacial.

**Georreferenciación:** Acción o acto de asignar, generalmente una tríada de coordenadas, a algún elemento espacial, con base a un sistema de coordenadas geográficas que permiten su localización inequívoca y precisa.

**GNSS.** Acrónimo inglés que se traduce como Sistema Global de Navegación por Satélites. Está constituido por una constelación de satélites que transmite señales utilizadas para el posicionamiento y

localización (determinación de las coordenadas geográficas y la altitud de un punto) en cualquier parte del globo terrestre, y una serie de sistemas de recepción en tierra.

**Imagen nadiral.** Imagen aérea capturada de tal forma que su eje de toma sea aproximadamente coincidente con la vertical y apuntando hacia la superficie de la Tierra.

**Imagen oblicua:** Dícese de toda imagen cuyo eje de toma no es perpendicular al del objeto fotografiado.

**Infografía forense.** Conjunto de técnicas utilizadas para la recreación de escenarios en el ordenador con la finalidad de servir de elementos explicativos o probatorios en las actuaciones periciales. Tratan de imitar el mundo tridimensional mediante el cálculo del comportamiento de la luz, los volúmenes, la atmósfera, las sombras, las texturas, la cámara, el movimiento, la adición de avatares, etc.

**Posicionamiento altimétrico** Determinación de las alturas o cotas de los diferentes puntos del terreno o del objeto, con respecto al plano horizontal de comparación, el cual, aunque puede ser tomado a una altura arbitraria, en general se relaciona con el plano horizontal teórico formado por el nivel medio del mar.

**Posicionamiento planimétrico.** Proyección de los rasgos del terreno sobre un plano horizontal.

**Proyección equirrectangular:** proyección cartográfica usada para representar superficies esféricas (un panorama, la esfera celeste,...) que genera la sensación de estar dentro de la escena (immersividad).

**Radiometría:** se ocupa del estudio y medida de la radiación electromagnética. Habitualmente se utiliza este concepto para indicar las propiedades cromáticas de un objeto.

**Remuestreo.** Proceso de reasignación de los valores de los niveles digitales (colores) de los píxeles de una imagen que ha sufrido una transformación geométrica (giro, escalado,...).

**Restitución fotogramétrica.** Acción de recuperar la información métrica tridimensional del objeto a partir de las imágenes capturadas.

**Topología.** La topología estudia las propiedades (adyacencia, inclusión, vecindad, etc.) de los cuerpos geométricos que permanecen inalteradas aunque se les apliquen transformaciones continuas (proyecciones, giros, escalados, etc.). La descripción de las características de los objetos es fundamental para establecer su comportamiento en los análisis en los sistemas de información.

**UAV** Del inglés Unmanned Aerial Vehicle. Aeronave que vuela de forma autónoma sin tripulación humana a bordo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Bourke, P., 1989, An Algorithm for Interpolating Irregularly-Spaced Data with Applications in Terrain Modelling: Pan Pacific Computer Conference, p. 315-324.

Brown, D., 1971, Close-range camera calibration, *Photogrammetric engineering*, 37(8), 855-866.

Fernández Hernández, J., González Aguilera, D., Rodríguez González, P. and Mancera Taboada, J., 2012, A new trend for reverse engineering: robotized aerial system for spatial information management. *Applied Mechanics and Materials*, 152, 1785-1790.

Ghilani, C. D., and P. R. Wolf., 2006, *Adjustment computations; spatial data analysis (4th ed.)*: New Jersey.

Gómez Lahoz, J., González Aguilera, D., Gonzalo Calderón, A.B., Herrero Pascual, J.S.; Muñoz Nieto, A.L., Del Val Riaño, J.A, 2010, *Reconstrucción 3D y realidad virtual en criminología*. Universidad de Salamanca, *Manuales universitarios*, 83.

Hartley, R., and A. Zisserman, 2003, *Multiple view geometry in computer vision*: New York, Cambridge University Press

Kraus, K., 1993, *Photogrammetry, Volume I: Fundamentals and standard processes*: Bonn, Dümmler.

Kraus, K., 2007, *Photogrammetry: geometry from images and laser scans, Volume 1*: Walter de Gruyter, Berlin.

Muñoz Nieto, A., González Aguilera, D., Rodríguez González, P. and Mancera Taboada, J., 2011, *Safeguard Plan Management in Heritage Buildings: Development of a Spatial Information System*. *Dyna*, 78(170), 90-97

Luhmann, T., S. Robson, S. Kyle, and I. Harley, 2006, *Close Range Photogrammetry: Principles, Methods and Applications*, Whittles Publishing.

Schenk, T., 1999, *Digital photogrammetry. Volume 1*: Laurelville, USA, Terrascience.