

## APLICACIÓN DE LA GEOMÁTICA EN EL PATRIMONIO RIOJANO

Iglesia Catedral San Nicolás de Bari<sup>1</sup>

### APPLICATION OF GEOMATICS IN LA RIOJA HERITAGE.

Cathedral Church San Nicolás de Bari

---

DOI: <https://doi.org/10.47796/ra.2024i25.920>

PRESENTADO : 02.10.23

ACEPTADO : 06.10.23

ESTEBAN ADRIÁN ARIAUDO<sup>2</sup>

Universidad Nacional de La Rioja, Argentina

Orcid: [0000-0001-6348-1241](https://orcid.org/0000-0001-6348-1241)

[estebanariaudo@unlar.ed.ar](mailto:estebanariaudo@unlar.ed.ar)

## RESUMEN

La investigación que aquí se presenta se realizó en el marco de convenio de cooperación entre la Universidad Nacional de La Rioja (Argentina) y la *Università degli Studi di Firenze (Italia)*, la cual se fundamentó en la oportunidad de realizar, por primera vez, un relevamiento métrico-tridimensional completo de la estructura arquitectónica de la Catedral de la San Nicolás de Bari, gracias a las nuevas tecnologías de escaneo. El primer paso para preservar un monumento es, simplemente, aquel responsable de producir una documentación completa y precisa. Este estudio se ha realizado con el fin de contribuir una acción ejemplar de sinergia entre varios enfoques y métodos disciplinarios para la creación de una base de datos indispensable para el planteamiento y el perfeccionamiento de un proyecto integral de relevamiento y restauración. El gran desarrollo de la tecnología aplicada al sector del

---

<sup>1</sup> Este artículo forma parte de los resultados del proyecto de investigación de la Universidad Nacional de La Rioja (Argentina), en convenio de cooperación académica con la Università degli Studi di Firenze, y la colaboración del Obispado de La Rioja.

<sup>2</sup> Arquitecto. Profesor de Lengua y Cultura Italiana. Docente investigador de la Universidad Nacional de La Rioja (Escuela de Arquitectura y Licenciatura en Música) Argentina. Proyectista en la Dirección Gral. De Relevamientos, Proyectos y Supervisión de Obras del Ministerio de Educación. Fundador y responsable del proyecto Triada/arquitectura & música.

patrimonio ha llevado hacia la automatización de los sistemas de relevamiento ofreciendo nuevas preguntas sobre los métodos de gestionar los datos y la exploración de las formas más eficaces y completas de la representación de objetos espaciales y del espacio humano. El resultado de la presente investigación constituye el primer documento importante de esta índole, producido por la relación de intercambio académico de conocimientos y experiencias.

**Palabras claves:** geomática, relevamiento digital, patrimonio.

## ABSTRACT

The research presented here was carried out within the framework of the cooperation agreement between the National University of La Rioja (Argentina) and the Università degli Studi di Firenze (Italy), which was based on the opportunity to carry out, for the first time, a complete metric-three-dimensional survey of the architectural structure of the Cathedral of San Nicolás de Bari, thanks to new scanning technologies.

This study has been carried out in order to contribute an exemplary action of synergy between various disciplinary approaches and methods for the creation of an essential database for the planning and improvement of a comprehensive survey and restoration project.

The great development of technology applied to the heritage sector has led to the automation of survey systems, offering new questions about the methods of managing data and exploring the most efficient and complete forms of representation of spatial objects and space human

The result of the present investigation constitutes the first important document of this nature, produced by the relationship of academic exchange of knowledge and experiences.

**Keywords:** geomatics, digital survey, heritage

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación, enmarcada en el convenio de cooperación cultural y científica entre la Facultad de Arquitectura de la *Università degli Studi di Firenze (Italia)* y la Escuela de Arquitectura de la Universidad Nacional de La Rioja (Argentina), según lo afirma la arquitecta

Grazia Tucci<sup>3</sup>, *“fue inspirada en la oportunidad de realizar, por primera vez, un relevamiento completo de la estructura arquitectónica, gracias a las nuevas tecnologías de escaneo tridimensional. El estudio ha sido realizado con el fin de constituir una acción ejemplar de sinergia entre varios enfoques y métodos disciplinarios para la creación de una base de datos indispensable para el planteamiento y el perfeccionamiento de un proyecto integral de restauración.”*

El desarrollo de la tecnología aplicada al sector ha llevado hacia la automatización de los sistemas de relevamiento ofreciendo nuevas preguntas sobre los métodos de gestión de datos y la exploración de las formas más eficaces y completas de la representación de objetos espaciales y del espacio humano. Para ello es necesario saber cómo hacer uso de esos nuevos recursos de una manera específica que nos hemos referido para llevar más allá de los horizontes tradicionales del relevamiento arquitectónico.

Continúa la arquitecta Tucci: *“Dado el rol fundamental que supone, para el proyecto de restauración, el conocimiento más minucioso de la Iglesia, el trabajo más consistente e innovador está constituido por el relevamiento instrumental del edificio. Aquí se expresan todas las etapas que, desde el trabajo de campo, llegan a los gráficos que no solo constituyen el primer relevamiento sistemático en términos métricos y morfológicos, sino también una base indispensable para las notas temáticas de los materiales y del estado de conservación actual.”*

En esta perspectiva se han identificado y devuelto, con los criterios adecuados de representación, tanto los materiales constitutivos de la Catedral, con su variedad de decoraciones, como así también los niveles de degradación estructural y de sus materiales observados en el curso de la investigación.

Existen otros ejemplos de relevamiento georreferenciado del patrimonio riojano, los cuales aportan un valor agregado al conjunto de edificios patrimoniales de la ciudad de la Rioja que, junto con la Iglesia Catedral, hacen de un valor referencial. Estos son la Vieja Estación de trenes, año 2009 (Figuras 1 y 2); Iglesia Santo Domingo, año 2011 (Figuras 3 y 4), e Iglesia y Convento San Francisco, año 2012 (Figuras 5 y 6).

---

<sup>3</sup> Docente *Università degli Studi di Firenze*, directora del *Laboratorio de Geomatica per l'Ambiente e la Conservazione dei Beni Culturali (UniFi)*, responsable de la investigación y directora del Comité Científico y Editorial del libro producto de la presente investigación: *1912-2012: La Catedral de San Nicolás de Bari de La Rioja. Estudios y relevamientos para el centenario.*

**Figura 1**

*Relevamiento integral del edificio de la Vieja Estación*



**Figura 2**

*Posicionamiento de los cortes y snapshot de la planta*



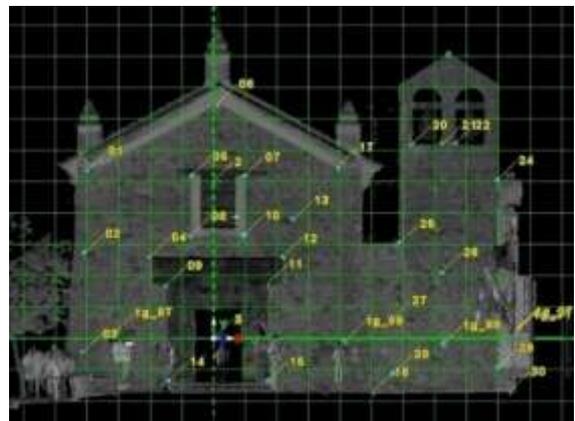
**Figura 3**

*Relevamiento tridimensional de la Iglesia Santo Domingo*



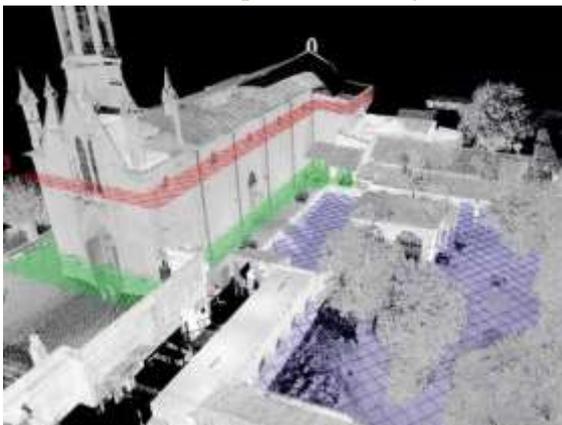
**Figura 4**

*Snapshot fachada principal de la Iglesia Santo Domingo*



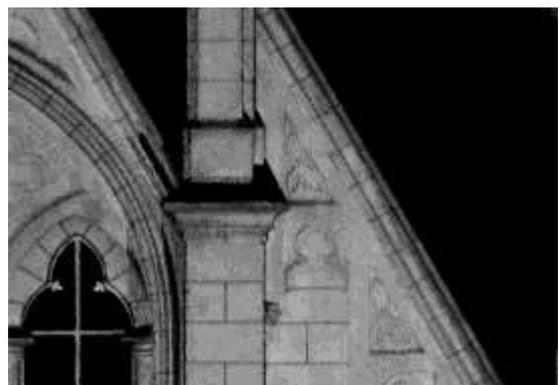
**Figura 5**

*Relevamiento tridimensional de la Iglesia San Francisco, snapshot del conjunto*



**Figura 6**

*Snapshot de detalles decorativos de la fachada lateral para la vectorización de la misma en Autocad*



## MÉTODOS

En la era digital en la que vivimos, parece bastante obvio pensar en la documentación del patrimonio cultural como la creación de un “registro permanente”, el que será transferido de generación en generación. Esto se hace aún más interesante si se considera la actualidad del tema de patrimonio en riesgo.

Para evitar la alteración de la integridad física o la desaparición del patrimonio, es la documentación la que representa un elemento primordial para mantener la memoria. Por otra parte, como dice Kate Clark, “el conocimiento de un sitio es el primer paso hacia la búsqueda de una estrategia de conservación adecuada, y la documentación constituye así el primer paso de este proceso cognoscitivo”. Como es conocido, en un proyecto de documentación, “la geometría de los objetos no es el único parámetro a registrar. Todas las características que vuelven único el objeto son significativas; todos los valores potenciales —arquitectónico, artístico, científico y social— deben ser tenidas en consideración” (D’Ayala y Smars, 2003).

Los conceptos básicos para una documentación eficaz fueron resumidos por D’Ayala and Smars en los siguientes:

**Objetividad.** Un conjunto de datos objetivos constituye la garantía de disponer de una base sólida sobre la cual se pueden efectuar y discutir las opciones proyectuales. A la unidad medible de un objeto están comprendidas más geometrías, las cuales pueden ser percibidos gracias al levantamiento. Ya en el 1989, Cruciani Fabozzi declaraba: “no existe el levantamiento, existen los levantamientos; (...) Esquemmatizando, pueden considerarse determinantes para la fisonomía de la arquitectura construida por lo menos por tres factores morfogenéticos (el proyecto, la obra en las diversas fases del edificio, el degrado) a los cuales se corresponden igualmente las “geometrías”.

**Valores.** Las elecciones de los encargados del levantamiento dependen siempre de un juicio crítico, o sea, lo que omitimos hoy podría ser de interés en el futuro. De allí proviene la importancia de un registro lo más completo posible. La creciente desaprobación de los últimos tiempos a los sistemas de escaneos láser que permiten adquirir en poco tiempo las coordenadas espaciales de innumerables puntos de cada porción de la superficie no elimina el problema de la arbitrariedad de la lectura, como podría suponerse, sino que aumenta la complejidad.

**Continuidad.** La recolección de datos no debe limitarse a un momento histórico, sino que debe continuar en el tiempo. “Es por lo tanto una resultante que cambia constantemente en el tiempo,

de estas “geometrías” diversas que el levantamiento ha llamado a dar testimonio (...). En cambio, el levantamiento, si quiere decirse así, no puede más que responder a un *hic et nuc* (aquí y hora) del elemento relevado”

**Estructuras.** La documentación no debería detenerse en la superficie del edificio, sino que debería investigar el organismo.

**Organización de la documentación.** Los datos recolectados durante la fase de documentación son numerosos y variados. Su clasificación y organización facilita la comprensión y constituye un primer paso hacia la interpretación. Una articulación de los elaborados temáticos, de la cual la investigación métrica y el soporte natural, permiten sin duda la comparación entre los diferentes especialistas y la estratificación de informaciones a través del cual se concreta el conocimiento de lo construido.

**Redundancia de datos.** A cualquier tipo de datos está asociada una incertidumbre. Los datos deberían estar acompañados por informaciones suplementarias de su calidad. Es necesario definir el procedimiento de control para evaluar así la calidad.

## **EL PROYECTO DE LA DOCUMENTACIÓN MÉTRICA**

El trabajo realizado sobre la Catedral de La Rioja se presta para algunas consideraciones de carácter más general sobre las potencialidades inherentes de la eficacia del uso integrado de varias metodologías, de las cuales hoy es posible utilizar tanto en la adquisición como en la elaboración de los datos. Dichos datos son necesarios para describir el estado de un bien cultural, permitiendo de este modo el control de la evolución en el tiempo de los fenómenos de degradación en relación a los varios factores que lo determinan y a su acción sinérgica.

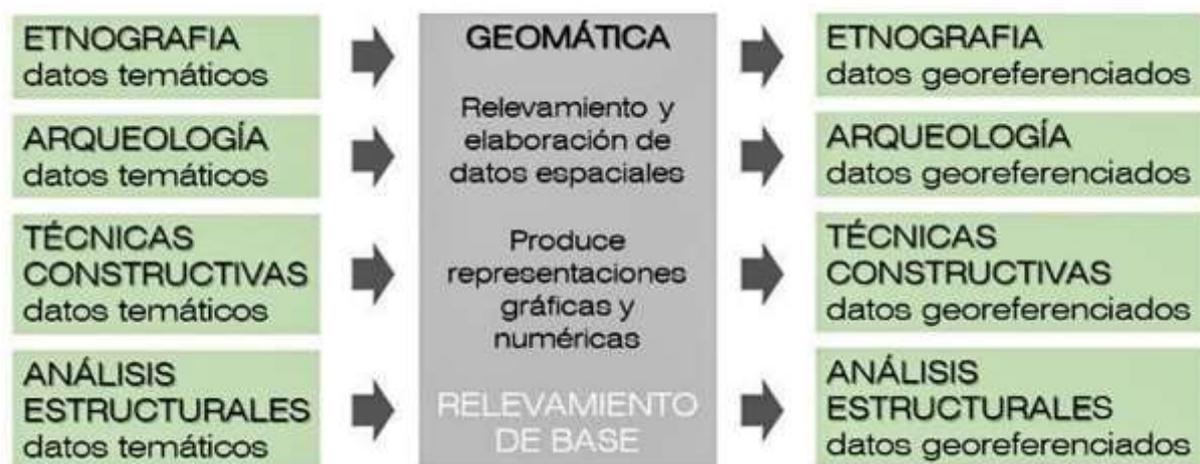
El proyecto de documentación juega un papel importante en los casos en los que el patrimonio construido se encuentra en condiciones de precariedad y/o de riesgo, en los casos en los que deba brindar un soporte para las intervenciones de mantenimiento y en los casos en los cuales deba brindar una documentación plausible del estado en la cual la edificación llega a nosotros. La Catedral constituye para la ciudad de La Rioja un patrimonio de identidad cultural; es por esto que no puede ser ignorada su vulnerabilidad, ligada tanto a la exposición de actividades entrópicas como así también a los factores ambientales.

Es por lo tanto importante el detalle de la documentación: los instrumentos y los métodos de la geomática pueden ser aplicados para recolectar datos métricos válidos y completos, de los

cuales se puedan extraer posteriormente todas las informaciones necesarias. La documentación métrica es una de las actividades fundamentales en la organización de un proyecto de conservación, la que debe recolectar y coordinar numerosas informaciones provenientes de actividades de investigación interdisciplinarias. En el interior de un grupo que articula sus diversas competencias disciplinarias, la geomática define una base geométrica de referencia para todas las competencias involucradas en los estudios e investigaciones, además de la planificación y conservación (Figura 7).

### Figura 7

#### *El rol de la Geomática*



La Geomática tiene la tarea de 1) dimensionar correctamente las informaciones geométricas; 2) posicionar en el espacio (o sea, georeferenciar) informaciones. También es importante recordar que el conjunto de las informaciones físicas y geométricas ofrece una descripción del bien cultural, aquellas están caracterizadas por una ubicación temporal específica.

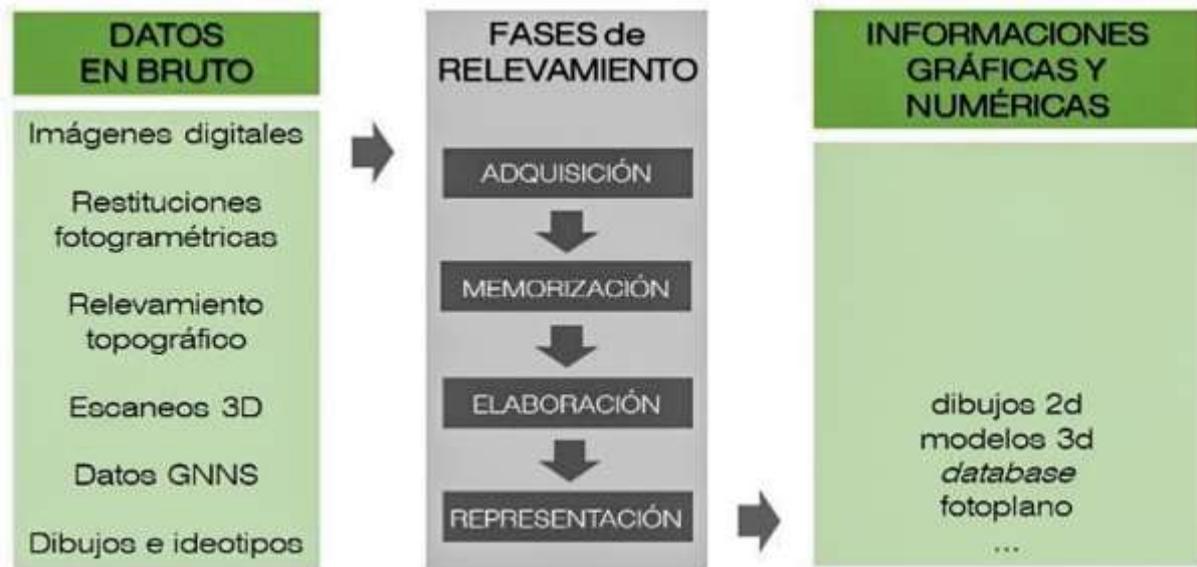
La geomática juega un rol importante, no solo en la fase de adquisición de datos, sino también en la gestión e interpretación, ya que constituye un “filtro” entre los datos relevados (en bruto) en las tareas de campo y las informaciones gráficas, que deben ser estructuradas de manera que resulten utilizables, de manera autónoma, en la elaboración de imágenes y en las nuevas tecnologías. La configuración de un proyecto de documentación métrica prevé, en primer lugar, la recolección de todas las piezas gráficas disponibles, sobre la base de las cuales es posible hacer las primeras consideraciones y planificar las posteriores intervenciones (Figura 8). Se puede entonces distinguir una primera actividad *off-site*, seguida de una *on-side* con tareas de control e integración:

- *Off-side*: documentos con validez métrica que están generalmente disponibles para la documentación a pequeña escala;

- *On-site*: fotografías y levantamiento instrumental: GNSS, estación total, fotogrametría, escáner tridimensional, levantamiento directo.

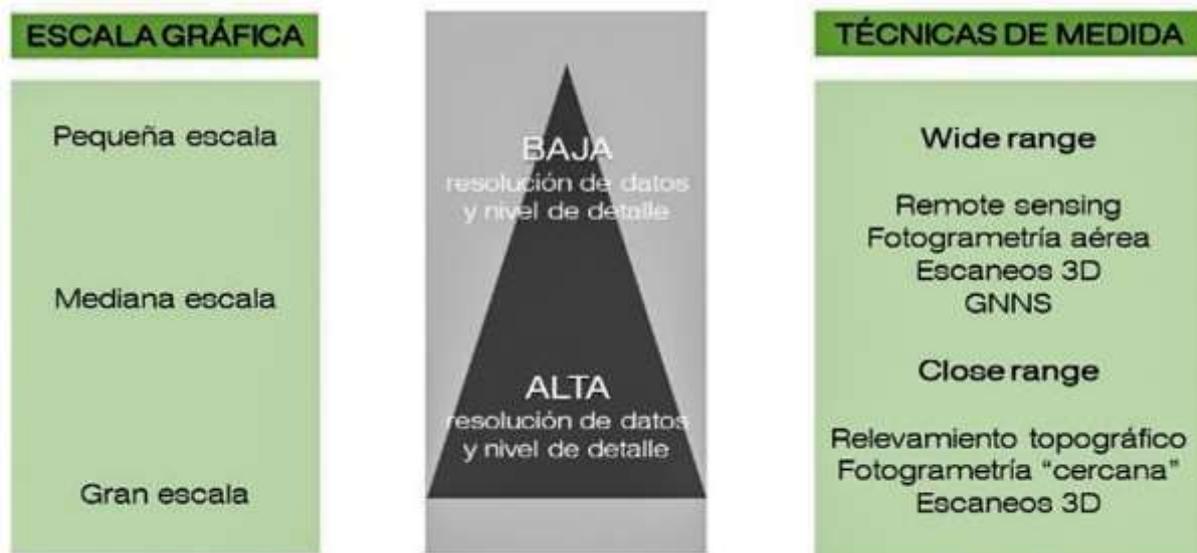
**Figura 8**

*De los datos en bruto a las informaciones*



**Figura 9**

*Escala/resolución/nivel de detalle*



## Consideraciones sobre el nivel de detalle

El levantamiento debe ser proyectado y realizado para lograr un nivel de detalle apropiado para proporcionar informaciones válidas optimizando los recursos invertidos. La frecuente necesidad de proporcionar datos en escalas diferentes pone en evidencia la importancia que asume la integración de varios niveles de detalle en un mismo proyecto de documentación (Figura 9).

En la parte superior de la pirámide podemos colocar los catálogos y los inventarios, que son la forma más simple de conocimientos, y que requieren solo la identificación y el registro de datos. Cada bien cultural debe ser georeferenciado, memorizado, asociando eventualmente su posición con otras informaciones de base.

En la base de la pirámide se encuentran los modelos 3D en alta resolución, en los cuales el nivel de detalle permite, con la ayuda de las texturas, describir materiales y estado de conservación. En el espacio intermedio se colocan todas las otras representaciones, bi- o tridimensionales, realizadas a partir de datos métricos.

## Modernas técnicas de levantamiento

Las técnicas de levantamiento y la documentación producida deben ser elegidas y proyectadas en función de las especificaciones del proyecto, de los objetivos que se proponen alcanzar y de los recursos disponibles.

La geomática opera siempre a través de técnicas no invasivas. Se habla, así, de *remote sensing*, es decir, levantamiento a distancia. La ventaja de operar conservando completamente el objeto está limitada por el tener que limitar la investigación a la porción de superficie externa.

El uso del término *resolución múltiple* se debe a la posibilidad de optimizar la densidad de los datos, aplicando diferentes instrumentos y regulando los parámetros de adquisición. De este modo la resolución de las informaciones está relacionada con la complejidad morfológica del objeto a relevar.

El enfoque de resolución múltiple recién ejemplificado se vale de técnicas de adquisición multisensoriales: GNNS, imágenes satelitales, estaciones totales, cámaras fotográficas y escáner 3D. El levantamiento en pequeña escala está basado generalmente en sistemas satelitales o topográficos, mientras que la fotogrametría y los escaneos en 3D son utilizados para la documentación a una mayor escala (y por esto más detallada).

Hoy se encuentran disponibles varias técnicas de levantamiento, la necesidad de aplicarlas de manera coordinada deriva, por una parte, de la articulación compleja de muchas arquitecturas, y por otra parte del hecho de que ninguna técnica de medición en sí misma se puede considerar exhaustiva. Además, se debe tener en cuenta: la rapidez de adquisición in situ, el traslado y la autonomía operativa sobre todo cuando la distancia o la accesibilidad al sitio se vuelven difíciles o costosas a lo largo de todo el proceso de levantamiento. Los datos adquiridos en un levantamiento métrico con técnicas geomáticas son numéricos, y esta característica simplifica las operaciones de gestión que, si bien son estructuradas, agilizan la definición de las operaciones, el intercambio interdisciplinar y la evaluación de los resultados.

Otra característica importante del modelo digital obtenido por el moderno levantamiento métrico está constituida por la tridimensionalidad, lo que significa derivar patrones estructurales arquitectónicos, fachadas, secciones, curvas de nivel y modelos sólidos que son, por lo tanto, el resultado de elaboraciones posteriores sobre los datos originales.

### **Uso de técnicas integradas para el levantamiento**

Generalmente, ninguna técnica de levantamiento es suficiente por sí misma, para adquirir desde una única posición de medición toda la información necesaria, sobre todo en caso de espacios y arquitecturas complejas. Un caso típico es, por ejemplo, la necesidad de unir el espacio interno de la Catedral con el externo, pero también todas las situaciones en las cuales un espacio está articulado por volúmenes diferentes o constituidos por elementos estructurales o decorativos que determinan inevitablemente zonas de sombra.

El levantamiento métrico de base y la definición de las geometrías del organismo arquitectónico se valen generalmente de técnicas mixtas, topográficas y fotogramétricas que proceden del general al particular, permitiendo la inserción sucesiva de todas las informaciones temáticas requeridas por la investigación.

La realización de una red topográfica, en sí misma independiente del objeto a relevar, permite crear un tipo de estructura rígida e hiperestática, cuyos nodos se seleccionan de manera que permitan lecturas sucesivas para un control en el tiempo o para integrar datos ya adquiridos.

La red de encuadre es, en definitiva, elemento de conexión de todo el levantamiento, en cuanto permite transferir el sistema de referencia en cada ámbito y, sobre todo, asegurar el respeto de las tolerancias definidas en la fase del proyecto. Es en esta fase que se evalúa, en función de la precisión a alcanzar, el tipo de instrumentación a utilizar.

Para proceder de manera correcta según todos los pasajes operativos es necesaria, en primer lugar, una planificación correcta y eficaz. En otras palabras, es imprescindible elaborar un proyecto de levantamiento que tenga en cuenta todas las posibilidades de la tecnología, que elija el procedimiento a adoptar y que se decida cuáles son los métodos y cuáles los instrumentos a utilizar. Entonces se deben definir: la finalidad de la investigación geométrica; la definición del número, de la calidad y del tipo de medidas; las técnicas adoptadas; el sistema de recolección, registro, clasificación de los datos; la instrumentación y los materiales utilizados; los aspectos organizativos del trabajo de levantamiento; el control de los procedimientos y de los resultados. Los instrumentos y los métodos de medición deben ser elegidos y proyectados en función de la escala y de los contenidos.

### **Levantamiento topográfico**

Con los métodos topográficos se define la posición en el espacio de puntos característicos. El método de medición por coordenadas polares permite la determinación del ángulo acimutal (respecto a una dirección conocida), del ángulo cenital y de la distancia oblicua. Los instrumentos son, en general, los mismos que se utilizan para el levantamiento de la red de encuadre.

El método resulta ventajoso debido a la independencia de cada punto respecto al siguiente. En otros términos, un eventual error en la determinación de un punto no influye sobre el siguiente.

La transición de la base de datos en la cual están archivadas las coordenadas x, y, z, a primitivas gráficas en formato CAD, está gestionada automáticamente por el *software*. En correspondencia de los valores numéricos de las coordenadas, se insertan elementos reconocibles como cruces, círculos, etc. que identifican los puntos a unir siguiendo un esquema ya predispuesto.

### **Levantamiento fotogramétrico**

Generalmente, podemos definir la fotogrametría como una técnica de levantamiento “objetiva”, porque cada fotograma registra todas las informaciones visibles, sin operar ninguna selección previa, como sucede contrariamente la preselección necesaria en caso de levantamiento topográfico. Los aspectos fotográficos son, entonces, fundamentales: enfoque correcto y profundidad de campo, encuadre correspondiente a los esquemas de proyecto, iluminación lo más posible uniforme.

La fotogrametría se basa en el principio según el cual, si un punto es visible en dos o tres fotogramas, conociendo la colocación y la orientación de las cámaras en el momento de la toma, es posible determinar su posición tridimensional. Un proyecto fotogramétrico se realiza según fases sucesivas: toma de fotogramas, determinación de las orientaciones correspondientes a cada fotograma, restitución.

### **Levantamiento directo**

El levantamiento directo juega un papel fundamental en la fase de documentación de un edificio: por un lado obliga al operador a tener un contacto físico con el objeto arquitectónico, y por otro lado, integra las zonas que son difíciles de alcanzar con otros sistemas y permite obtener datos de detalles a gran escala. Las condiciones que deben cumplirse son la coplanaria de las medidas para la realización de plantas y secciones en alzado, además de, respectivamente, su horizontalidad y verticalidad, y el uso de esquemas de medidas geoméricamente redundantes, como las intersecciones múltiples, para un mayor control y verificación de los datos adquiridos.

### **Sistemas de escaneo tridimensional**

En los últimos años, las técnicas de escaneo láser han tenido una gran difusión en diversos ámbitos, desde el levantamiento de los Bienes Culturales hasta aquellos a escala territorial. Una amplia gama de instrumentos permite relevar, desde objetos de pequeñas dimensiones a distancias reducidas y con precisión muy elevada, hasta complejos arquitectónicos o porciones de territorio, con instrumentación terrestre o aérea.

La posibilidad de recopilar y elaborar en tiempos breves enormes cantidades de datos ha modificado profundamente la filosofía del levantamiento, donde hoy en día es posible adquirir, a contrariedad del levantamiento métrico, enormes cantidades de datos en breve tiempo. El uso de equipos de levantamiento de alta precisión pone en evidencia la naturaleza estocástica de las informaciones.

**Definición y principios de funcionamiento de los sistemas de escaneos en 3D.** Un escáner 3D puede ser definido como un instrumento capaz de almacenar coordenadas tridimensionales de puntos regularmente distribuidos sobre una porción de superficie de un objeto, de manera automática y con una elevada densidad. Algunas clasificaciones se basan sobre el principio de medición de la distancia, marcando la diferencia entre sistemas distanciométricos y sistemas de triangulación. En algunos

casos se ha hecho coincidir esta distinción con el nivel de precisión alcanzado y al mismo tiempo con el rango operativo y, por lo tanto, un poco forzosamente, con el campo de utilización.

Para el levantamiento a escala arquitectónica de un complejo de las dimensiones de la Catedral de La Rioja, la segunda clase de instrumentos es la más adecuada, debido a que trabaja a distancias que van de media a larga (decenas a centenas de metros), manteniendo precisiones por debajo del centímetro, conforme a los objetivos del proyecto.

***Instrumentación.*** Los escáneres distanciométricos operan de manera análoga a una estación total: ambos instrumentos determinan la posición de un punto en el espacio a través de sus coordenadas esféricas, transformadas en un segundo momento en coordenadas cartesianas.

El funcionamiento de los sistemas de escaneos es análogo a lo de una estación total: ambos miden distancias según direcciones angulares en el espacio. El escáner emite una serie de impulsos según una malla regular, cuya densidad, establecida por el operador, está siempre elevada respecto aquella con la cual son adquiridos los datos topográficos.

La toma de datos realizada durante el escaneo expresa numéricamente una realidad continua, devolviendo un conjunto de puntos sobre la superficie de un objeto del cual no se conocen informaciones anteriores sobre la forma.

Los sistemas de escaneo hacen que sean instrumentos excelentes para documentar el desarrollo de superficies, mientras que solo mediante elaboraciones posteriores, cuyos procedimientos deben ser optimizados caso por caso, es posible extraer informaciones sobre ángulos y líneas de discontinuidad. Por esta razón, es evidente la importancia de una adecuada regulación de la densidad de los datos relevados, o sea, la correcta impostación de la “resolución” de escaneo.

La rigidez que consigue la muestra del espacio investigado puede ser evitada integrando datos adquiridos con sensores de características diferentes (adquisición multisensorial) o con elaboraciones para la construcción de modelos multirresolución (Figura 10).

## Figura 10

*Galería de la Academia de Firenze*



*Nota:* Las dos figuras ponen en evidencia la diferente resolución de escaneo. En alto, la resolución permite una lectura dimensional de los espacios; debajo, la mayor densidad del modelo de puntos permite una descripción detallada de los ambientes orientados a investigaciones estructurales (2011).

El modelo numérico generado por las operaciones de medida se define *nube de puntos* o *range map* (mapa de distancias). El modelo que, a partir de la nube de puntos, está elaborado sucesivamente, es al contrario resultado de una interpretación y como tal necesita asumir hipótesis que son fruto del conocimiento del objeto a relevar. La intensidad de la señal emitida por el escáner y reflejada por el objeto está fuertemente influenciada por las características de la superficie investigada.

### LEVANTAMIENTO CON ESCÁNER LÁSER DE LA IGLESIA CATEDRAL SAN NICOLÁS DE BARI

Los pasos principales de un levantamiento métrico con técnica de escaneos láser consistieron en la adquisición, el registro y elaboración de los datos obtenidos para el logro de los objetivos previstos. La planificación de todo el recorrido fue indispensable para la coordinación de todas las operaciones posteriores y para el control de la calidad de los resultados (Figura 11).

## Figura 11

*Esquema del proceso de levantamiento con escáner láser 3D*



### Adquisición

El levantamiento fue realizado con el láser escáner distanciométrico HDS6000 (*Leica Geosystem*). El desarrollo de las tareas de campo se llevó a cabo en dos etapas con un año de diferencia entre ellas, junto a dos *workshops* organizados por la Universidad Nacional de La Rioja.

El primer trabajo de campo se finalizó con la adquisición de todos los espacios internos de la iglesia, y de la mayor parte de los espacios externos; la segunda, en cambio, se dedicó a la integración de los ambientes adyacentes, la Sacristía y el Camarín, así como también las partes externas de mayor altura (la cubierta) (Figura 12). El escáner láser, dotado de un sistema rotante, sea alrededor del eje vertical como del horizontal, permite adquisiciones en un campo de 360° en horizontal y 310° en vertical. Esta característica resultó ventajosa en el interior de la iglesia donde, de cada posición de escaneo, fue posible adquirir los datos relativos a la pavimentación, al espacio de las naves laterales y a la estructura de la cubierta.

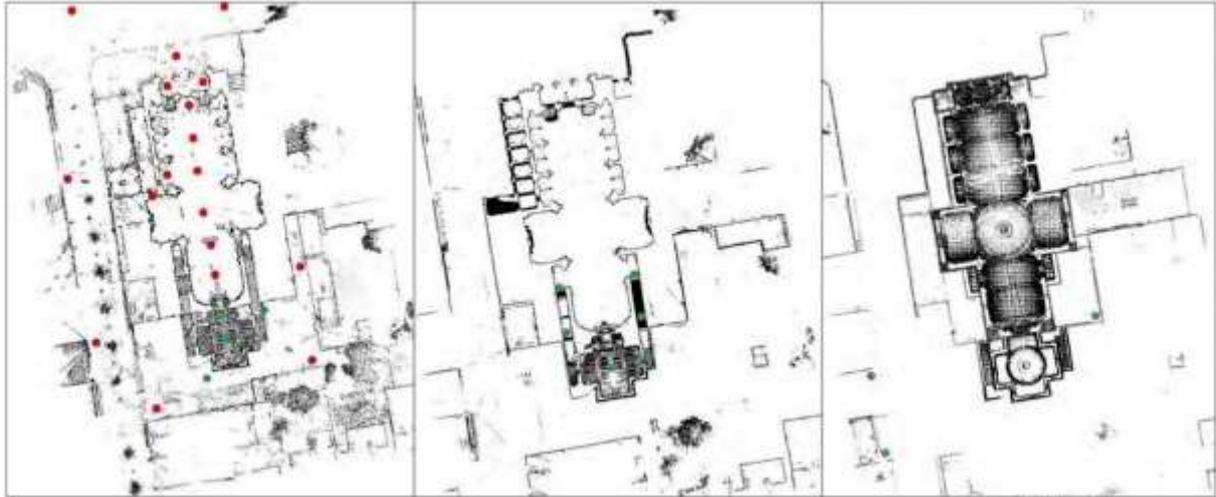
En los escaneos exteriores, en cambio, el ángulo de campo fue definido en función de los elementos a relevar (Figura 13).

Estimando el tiempo de adquisición de los datos, es imprescindible tener en cuenta el tiempo necesario para el planteamiento de los paramentos, así como el desplazamiento del sensor, especialmente en el levantamiento de zonas sobreelevadas, como ocurrió durante el segundo trabajo de campo de medición, donde fue necesario el levantamiento de las terrazas y/o techos del entorno de la Catedral. La resolución del escaneo se fijó en relación a la distancia entre el escáner y la superficie del objeto y la necesidad de garantizar el nivel adecuado de

detalle (Tabla 1). Además de la geometría, se propuso relevar también las características de los materiales presentados y de los tipos de degradado.

### Figura 12

*Esquema de la ubicación de los escaneos utilizados en el transcurso de los dos trabajos de campo de toma de medida*



*Nota: De izquierda a derecha: planta baja, primer piso y planta de techos (en rojo, las ubicaciones del primer trabajo de campo; en verde, las respectivas al segundo)*

### Figuras 13

*Vista de algunas range maps al exterior de la iglesia*



*Nota: Es evidente en cada snapshot el punto desde el cual ha sido efectuado el escaneo (terna x, y, z) y el campo de adquisición elegido*

**Tabla 1**

*Características principales del edificio*

<b>Dimensiones del edificio</b>	aprox. 65m x 35m
<b>Max desnivel del interior</b>	aprox. 42m (desde la planta baja hasta la punta de la cruz de cúpula)
<b>Proyección en planta del área relevada</b>	aprox. 2700m <sup>2</sup>

**Registro**

Cada escaneo está referido inicialmente en un sistema integral con el centro del escáner. Solo en la fase posterior de elaboración son determinados los parámetros de las transformaciones geométricas necesarias para expresar las coordenadas de los diversos escaneos en un único sistema de referencia. El sistema de referencia final puede coincidir con el del escaneo o estar predefinido de manera independiente. El resultado de la fase de alineación es un modelo de puntos tridimensional (Figura 14) que, precisamente por la automatización de la causa con la que se produjo, se puede definir como “no crítico”.

**Figura 14**

*Vista del alzado principal y posterior del modelo completo de puntos*



*Nota: En escala de grises el externo y en silhouette los internos*

Las operaciones de interpretación del objeto y de selección de las informaciones significativas que tradicionalmente son ejecutadas en el campo serán expresadas en el modelo de puntos. Las ventajas son evidentes y principalmente relacionadas a la comodidad y flexibilidad de la “virtualización” de los análisis, llevadas a cabo en la computadora en lugar del campo de acción. No se puede ignorar que las medidas operadas por los sistemas de

escaneos, sin embargo, muy densas, generan un modelo de puntos que se constituye en una visualización convincente y un riquísimo banco de datos queda siempre una representación discreta del objeto.

## Elaboración

Las elaboraciones gráficas obtenidas por los datos adquiridos se presentan a continuación

### *Perfiles de corte y vistas ortogonales del modelo de puntos*

La representación de la arquitectura deriva de operaciones de relevamiento que se basan en la detección de la geometría de proyección que permite proyectar objetos tridimensionales sobre planos horizontales y verticales. También en el caso de un modelo de puntos se deberá proceder a la reducción del espacio de 3D a 2D. Los productos finales serán entonces el resultado de la integración de diversas técnicas de medida y de restitución gráfica (Figura 16).

Para este tipo de representación se debe hacer referencia a los conceptos de “plano de corte” y de “vista ortogonal”: plantas, fachadas, cortes que se realizan vectorizando pequeñas porciones de la nube de puntos, determinadas por una serie de planos de corte.

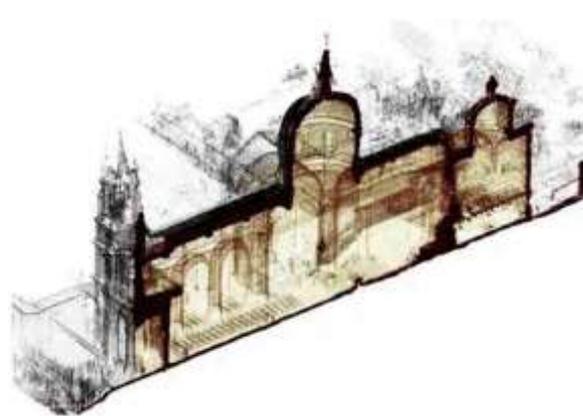
#### Figura 15

*Algunos ambientes adyacentes de la catedral relevados con técnicas de levantamiento directo*



#### Figura 16

*Vista del modelo de puntos seccionado longitudinalmente a lo largo de la medianería*

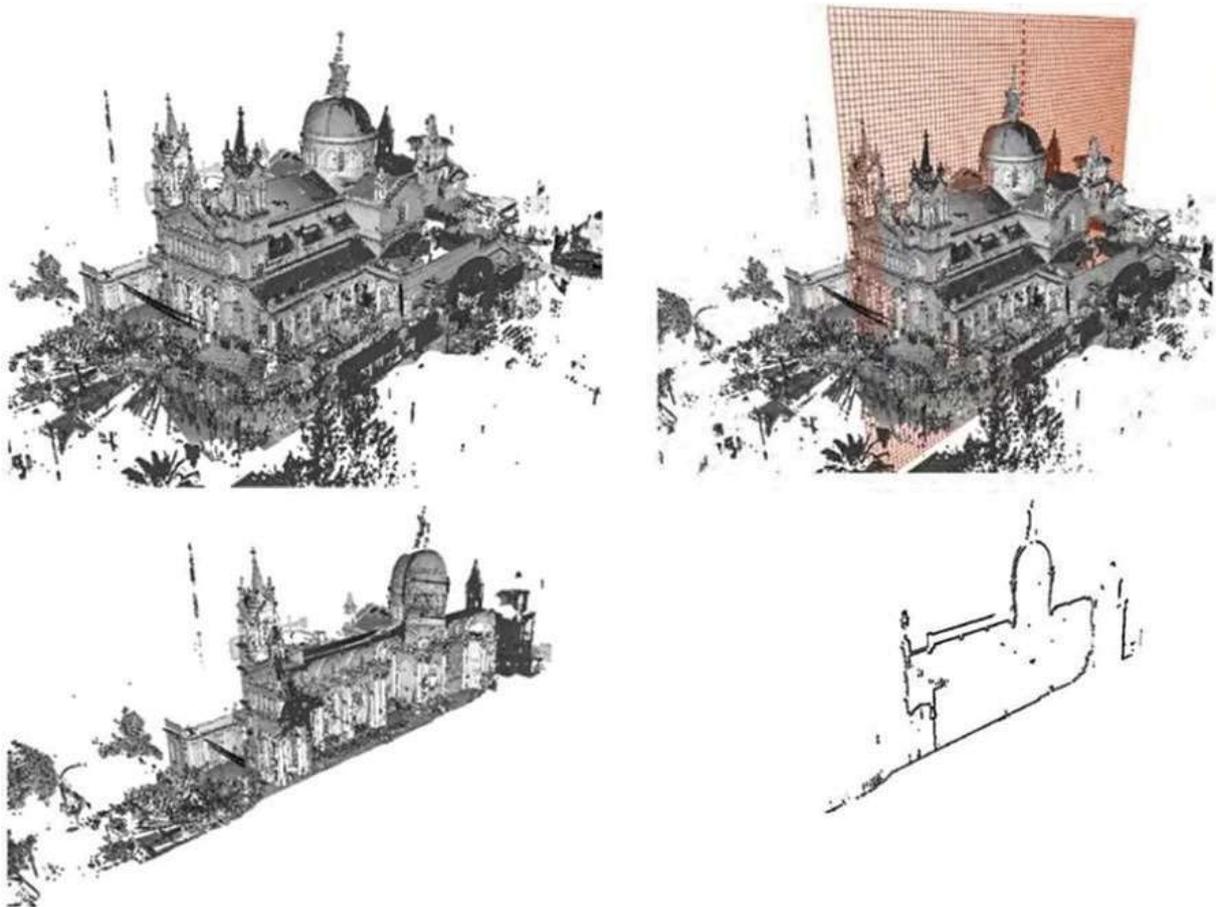


Las restituciones gráficas producidas, aun siendo bidimensionales, conservan una referencia en el espacio tridimensional. Cada perfil de corte contiene un plano, del cual es conocida la posición en el espacio definido por el sistema de referencia principal. En relación a este último aspecto, es interesante destacar una analogía respecto a las tradicionales técnicas

de levantamiento directo donde es necesaria la definición preliminar de los planos de referencia, de los cuales se deberán adquirir todas las medidas. En este caso, las operaciones de seguimiento y control continuo deberán ser realizadas sobre el objeto real en lugar de su referencia digital (Figura 17).

**Figura 17**

*Extracción de un perfil de corte vertical del modelo de puntos*



La selección y exportación de cortes de puntos se efectúa con el *software* utilizado para el control del escáner y para la alineación del mapa de distancias. El perfil de corte final será constituido de la unión de varias porciones de cortes provenientes de planos posicionados en el modo más oportuno que represente de la mejor manera el objeto del levantamiento.

Los datos adquiridos, adimensionales desde el punto de vista geométrico, son renderizados sobre la pantalla con una dimensión completa. La posibilidad de regular este parámetro permite optimizar la visualización de la nube de puntos, ocultando los elementos en segundo plano. Además, los colores falsos, siempre asociados a los puntos (correlativos a la intensidad de la señal reflejada) reflejan diferentes características de las superficies analizadas.

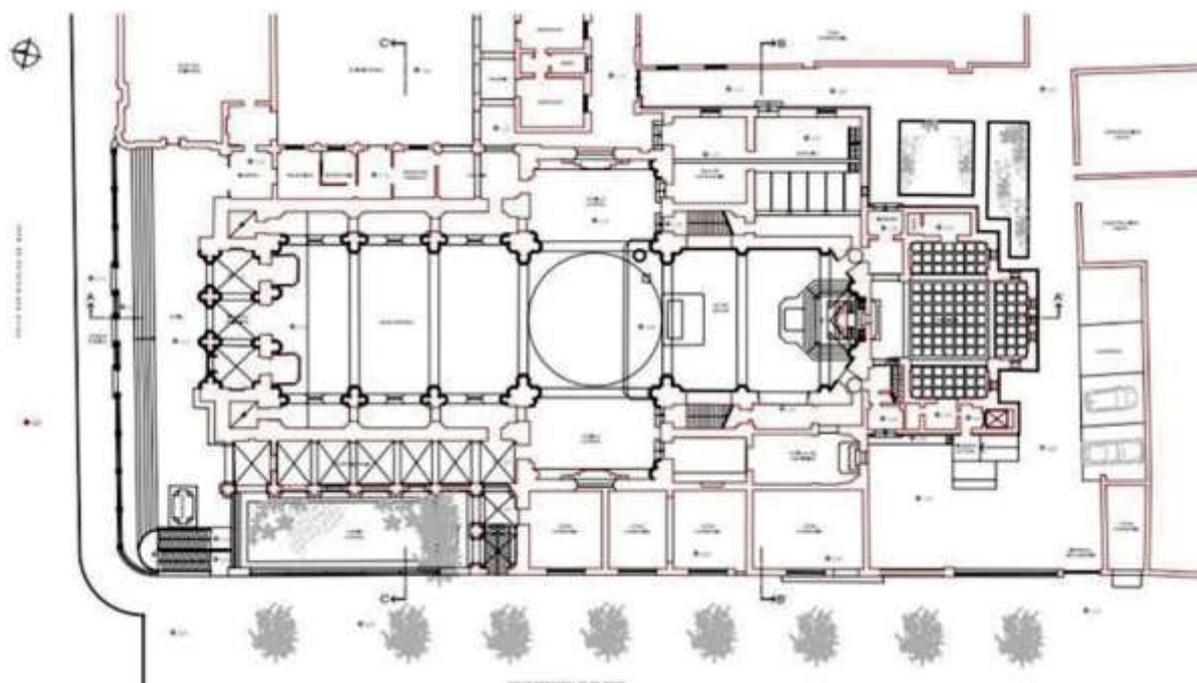
Es entonces posible establecer una relación no solo geométrica, sino también cromática entre el objeto y el modelo, y capturar vistas del modelo de puntos semejantes a las imágenes fotográficas.

Los datos adquiridos con un levantamiento instrumental son siempre tridimensionales y se expresan a través de coordenadas cartesianas referidas a un sistema único. En la reproducción gráfica del levantamiento, inicialmente la información pierde su tridimensionalidad. Es este el caso de todos los resultados en proyección ortogonal, siendo estas las representaciones más utilizadas. La definición del plano de proyección se realiza para permitir la representación en escala real de todos los elementos, o por lo menos los principales. Para mantener la tridimensionalidad de los datos desde el inicio hasta el final de la elaboración, es necesario registrar todas las posiciones preferenciales identificadas, lo que equivale a considerar asegurados todos los planos de proyección de las diversas representaciones.

La fachada de la catedral de San Nicolás de Bari, por ejemplo, ha sido garantizada a través de un sistema de referencia secundario y no de manera aproximada. Es evidente la importancia de las operaciones sobre todo si se considera la posibilidad de mantener siempre todas las porciones del edificio, evidenciando las condiciones de ortogonalidad hipotéticas o verificadas, así como también las eventuales anomalías estructurales. Se pueden hacer consideraciones similares en los otros cortes horizontales y verticales.

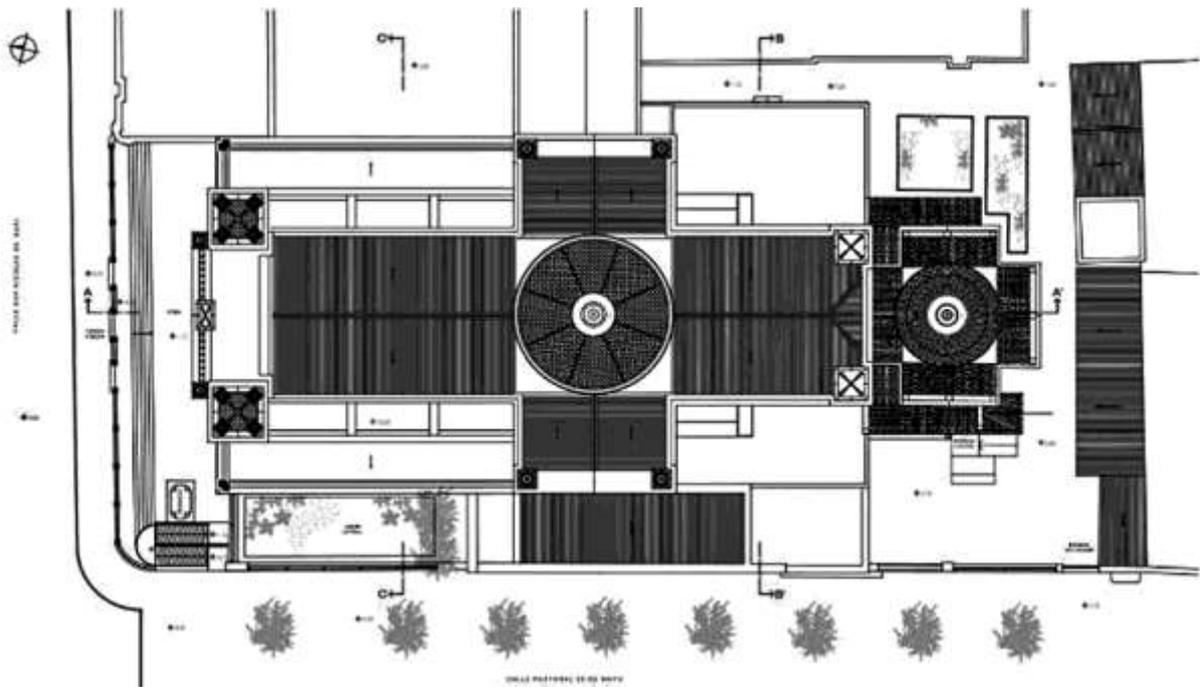
### **Figura 18**

*Planta general +2.50m*



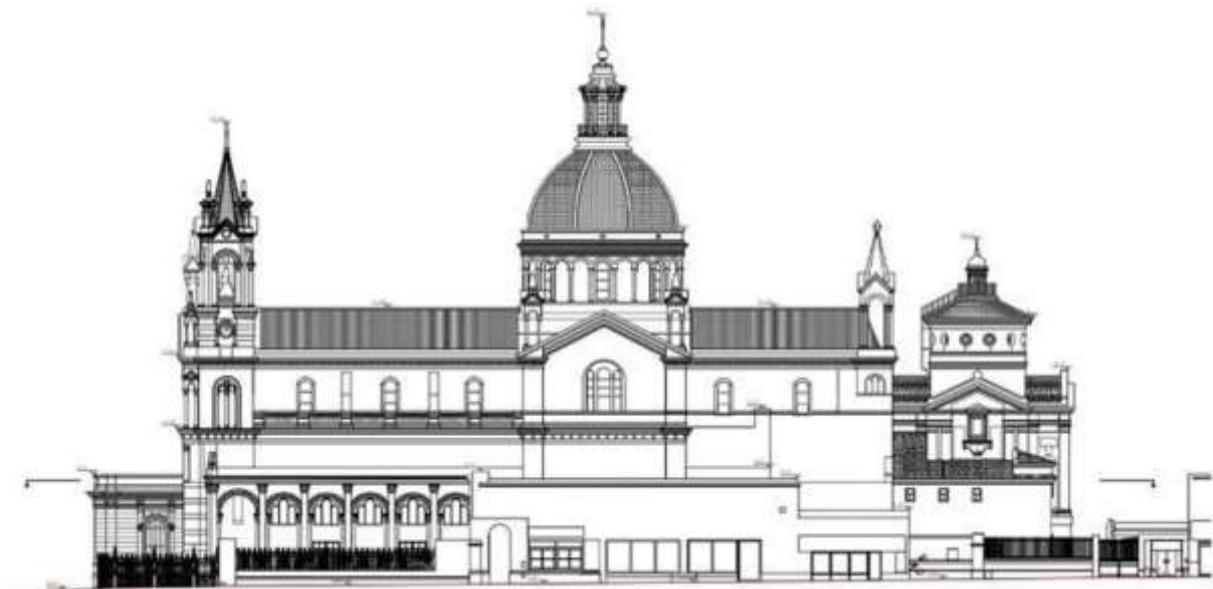
**Figura 19**

*Planta de techos*



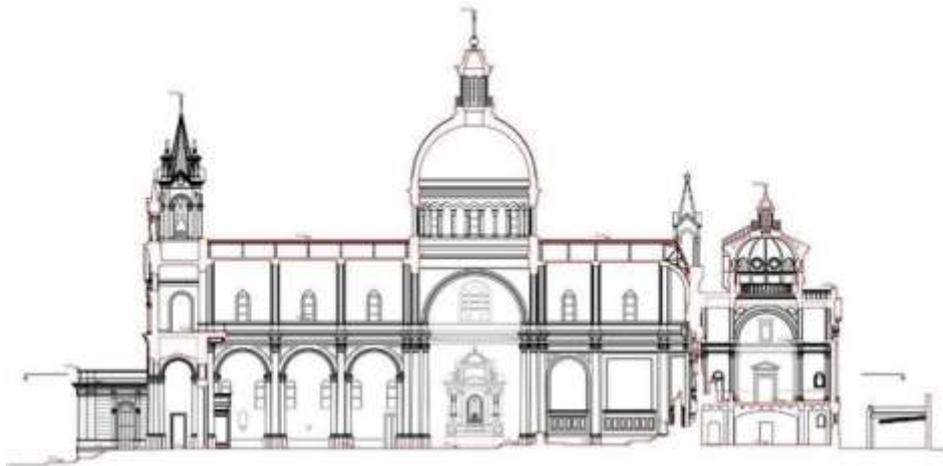
**Figura 20**

*Fachada lateral*



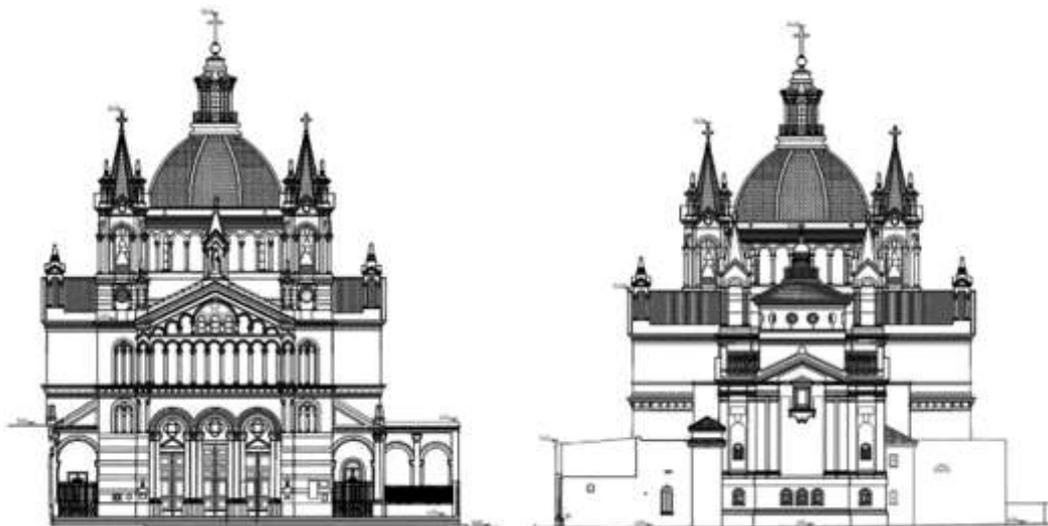
**Figura 21**

*Corte longitudinal*



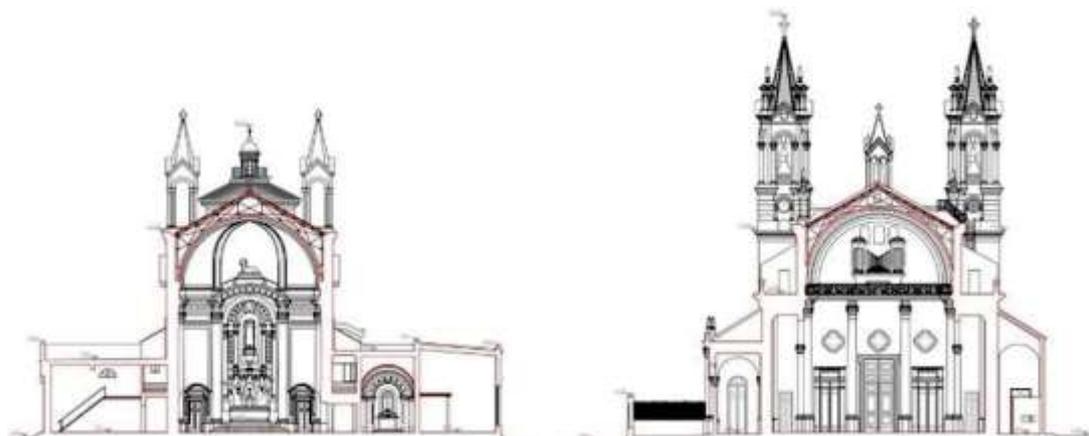
**Figura 22**

*Fachada principal y fachada posterior*



**Figura 23**

*Cortes transversales*



## Imágenes panorámicas

Con motivo del segundo trabajo de campo, los mapas de distancias fueron texturizados con imágenes panorámicas adquiridas desde el mismo punto del escáner. Se utilizó una cámara de fotos digital réflex (Nikon D700) equipada con un objetivo *fish-eye* de 15 mm y montada sobre un cabezal panorámico esférico (Nodal Ninja NN3). Para garantizar la perfecta coincidencia entre el punto nodal de los objetivos de la cámara de foto y el centro óptico del escáner, y lograr una correcta relación entre los puntos de la imagen y los puntos del mapa de distribución, la cámara de fotos se montó sobre un soporte colocado sobre la misma base del escáner.

Se han realizado siete tomas para cada panorama (siete sobre la línea horizontal, con un ángulo de rotación de 60 °, y una central) (Tabla 2).

**Tabla 2**

*Resumen de los registros de los datos fotográficos*

Fotógrafos	1
Cámara de fotos	1, Nikon D700
Óptica fija	15mm f/2.8, 24mm
Resolución de la imagen	4256 x 2832 pixel
Número de tomas por panorámica	8
Número de panorámica	3
Resolución de la panorámica	360° x 180° - 10600 x 5300

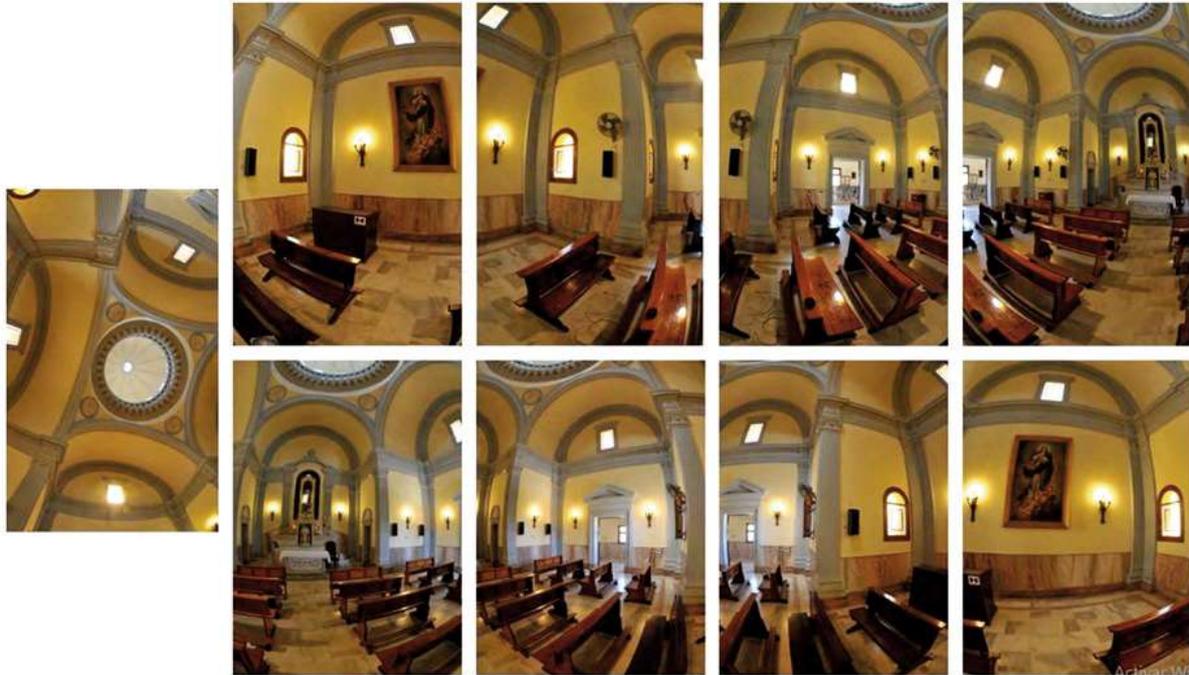
El uso de varias tomas individuales para producir una única imagen en alta resolución presenta la ventaja (Figura 24) de identificar espacios complejos o particularmente amplios que no se pueden obtener con una sola foto. Durante la planificación de las tomas, está siempre garantizado un porcentaje de superposición, tanto en la línea horizontal como en la línea vertical, de por lo menos el 20-25%. De consecuencia, de cada toma se utilizó solo la parte central, por aproximadamente el 50-60%.

Las panorámicas se elaboraron utilizando la proyección equirectangular o esférica. Las fotografías ensambladas se proyectaron a partir del centro óptico sobre una esfera. Tanto el espacio fotografiado como el espacio relevado con el escáner láser, han sido representadas sobre un plano, de modo tal que se pueda tener un ángulo de 360° según el eje horizontal y de 180° según el eje vertical (si bien los primeros 25° a partir del punto nadir no fueron considerados, a causa de la presencia del trípode). La proyección esférica tiene una relación dimensional fija de

2:1, independientemente de la óptica utilizada y representa la totalidad del espacio circundante de manera homogénea.

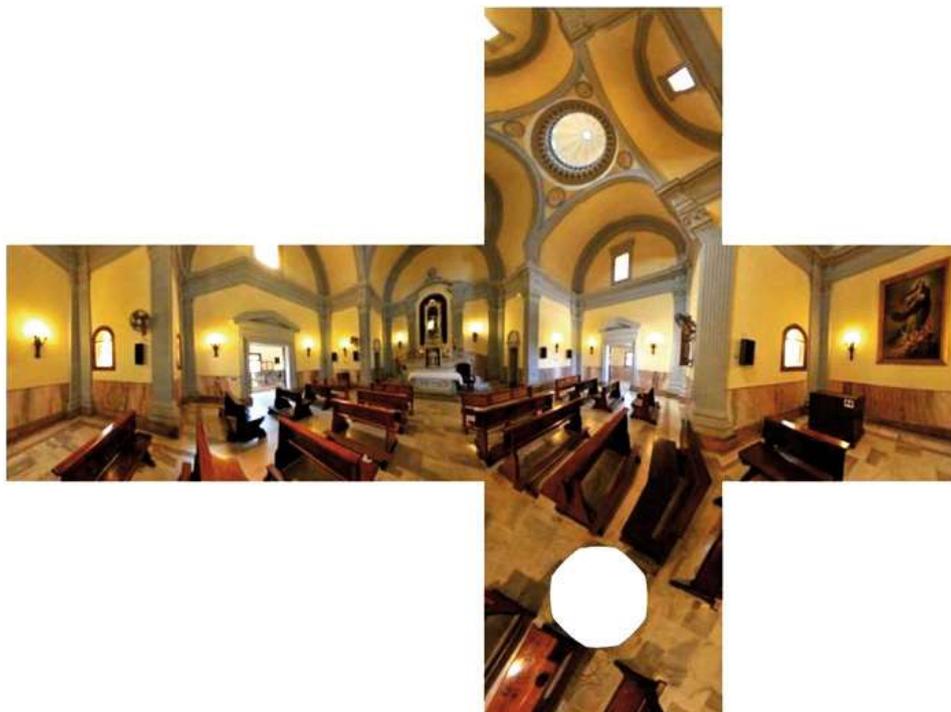
### Figura 24

*Toma fotográfica efectuada en el interior del Camarín: tomas individuales*



### Figura 25

*Camarín: proyección cúbica*



Los productos finales son imágenes en 2D estáticas y dinámicas. Es como entrar en un ambiente virtual en el interior del cual, a partir del punto central, es posible visualizar el espacio circundante orientando el punto de vista de modo interactivo. Además, los panoramas pueden ser utilizados a través de la texturización del modelo de puntos. En este punto, es necesario convertir la imagen esférica en una imagen cúbica. Sobre las seis imágenes individuales, correspondientes a las seis caras del cubo, se identifican detalles reconocibles, ya sea en las imágenes como en el modelo de puntos. Una vez finalizado el proceso de texturización, es posible visualizar el modelo 3D con el valor RGB.

### **Figura 26**

*Camarín: identificación de los puntos homólogos entre la nube de puntos y una de las caras del cubo*



### **Figura 27**

*Vistas del modelo de puntos texturizados del Camarín*



## CONCLUSIONES

La presente investigación es la representación de una metodología de estudio que se expresa a través de la concordancia de diversos enfoques, a modo de una interdisciplinariedad de métodos de relevamiento. Dicha acción es indispensable para el planteamiento y el perfeccionamiento de un proyecto integral de restauración. Y es que existe una responsabilidad cultural surgida en la necesidad arquitectónica y simbólica, tarea que cada generación debe honrar: reconocer los valores permanentes del propio paisaje urbano y, a través de métodos prudentes y prácticas de selección, conservar y valorar.

Así como expuso el arquitecto Flaviano Maria Lorusso:

*“No siendo conservación sin el conocimiento profundo sobre qué es el objeto, la sinergia entre las dos escuelas de arquitectura ha puesto en marcha un trabajo experimental de reconstrucción historiográfica y de relevamiento físico, recurriendo en esta última al uso de las más innovadoras tecnologías digitales de escaneo tridimensional, dada la extraordinaria confianza que ofrece en términos de aproximación a la mayor verdad posible del objeto real, premisa imprescindible para cada proyecto de intervención”.*

Estudiar y preservar la Catedral debe resonar como el inicio de una inversión de concepciones y acciones, en un proceso que vaya desde los márgenes hacia el centro haciéndose cargo de un trabajo paciente de reorganización y revitalización cualificada. De ese modo, puede tornarse presidio testimonial resistente a las amnesias y a los descuidos opuestos: una especie de fortaleza emblemática de una historia urbana que debe considerarse como raíz imprescindible del futuro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alb bertz J., y Meydenbauer A. (2001). *Pioneer of photogrammetric documentation of the Cultural Heritage*;

Cruciani Fabozzi, G. (1991). *Il rilievo per la conservazione: dalla raffigurazione dell'architettura alle carte tematiche della fabbrica.* , in “XY”, Anno Quinto, (11-12).

D'Ayala D., y Smars P. (2003). *Minimum requirement for metric use of non-metric photographic documentation.* University of Bath.

Eppich, R. y, Chabbi A. (2007). *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places: illustrated examples.* The Getty Conservation Institute, Los Angeles;

Giovannoni G., Venturi A. (1939). *Il metodo nella storia dell'architettura.* “Palladio”

Landeira de González Iramain B. (1997). *La Cuadrícula en el desarrollo de la ciudad de La Rioja*. Editorial Canguro.

Dezzi, M., Bardeschi, M. (2005). *Geomatica per la conservazione, ovvero: l'ombra e la cosa*;

Pane R. (1948). *Architettura e arti figurative*.

Tucci G. (2012). *1912-2012: la Cattedrale di San Nicola di Bari a La Rioja. Studi e rilievi per il centenario*. Editorial Eudelar.