

## 1. Introducción a la Fotogrametría y principales vuelos fotogramétricos

### 1.1. ¿Qué es la Fotogrametría?

La Fotogrametría es la técnica de obtener información geométrica confiable de objetos y escenas a partir de imágenes fotográficas. En esencia, se trata de convertir una serie de fotografías en datos medibles, de modo que se puedan construir modelos tridimensionales, mapas y otras representaciones espaciales precisas. En términos más amplios, la Fotogrametría combina principios de geometría, óptica, física e informática para analizar y extraer datos espaciales, lo que permite la generación de mapas y modelos a partir de las imágenes capturadas.

Con el desarrollo de la tecnología, la Fotogrametría ha pasado de ser una técnica exclusivamente manual a un proceso ampliamente automatizado, impulsado por el uso de drones y software especializado que permite capturar y procesar imágenes en alta resolución de manera rápida y eficiente, ver figura 1.1



**Figura 1.1. Concepto de Fotogrametría.**

Los objetivos principales de la Fotogrametría se centran en la recopilación y análisis de datos espaciales y geométricos de objetos o áreas, con aplicaciones en diversas disciplinas como la ingeniería, la geografía, la arquitectura y el medio ambiente. Entre los objetivos específicos se encuentran los siguientes:

1. **Medición precisa de distancias, áreas y volúmenes.**  
La Fotogrametría permite obtener medidas precisas de distancias, áreas y volúmenes a partir de imágenes. Esto es esencial en áreas como la topografía, la arquitectura y la ingeniería civil, donde se requieren mediciones detalladas para el diseño y la construcción de infraestructuras.
2. **Generación de modelos 3D**  
Uno de los usos más importantes de la Fotogrametría moderna es la creación de

modelos tridimensionales de terrenos, edificios, estructuras o cualquier otro objeto de interés. Estos modelos son útiles en análisis geoespaciales, monitoreo de deformaciones y reconstrucciones de estructuras.

3. **Mapeo y Cartografía**  
La Fotogrametría es ampliamente utilizada para crear mapas topográficos, modelos digitales de terreno (MDT) y modelos digitales de superficie (MDS). Estos productos cartográficos son fundamentales en áreas como la gestión territorial, la planificación urbana y la agricultura de precisión.
4. **Documentación y conservación del patrimonio**  
En el ámbito de la arqueología y la conservación del patrimonio, la Fotogrametría permite capturar y documentar de forma detallada monumentos, edificios históricos y sitios arqueológicos. Estos registros son esenciales para estudios históricos y para la preservación digital de bienes culturales.
5. **Análisis de cambios y monitoreo de zonas**  
La Fotogrametría permite realizar monitoreos periódicos de un área o estructura para detectar cambios, deformaciones o desplazamientos. Este objetivo es especialmente relevante en la gestión de riesgos naturales, el monitoreo de infraestructuras y la agricultura.
6. **Aumento de la eficiencia en el levantamiento de datos**  
Mediante el uso de drones, la Fotogrametría ha mejorado significativamente la rapidez y eficiencia con la que se capturan datos de grandes extensiones de terreno o áreas de difícil acceso. Esto permite obtener información detallada en menos tiempo y con menor costo en comparación con métodos de levantamiento tradicionales, o incluso respecto a los levantamientos con GPS.
7. **Integración con Sistemas de Información Geográfica (GIS)**  
La Fotogrametría permite generar productos de datos geoespaciales que pueden integrarse con sistemas GIS para un análisis geográfico más avanzado. Esta capacidad de integración es fundamental para la planificación y toma de decisiones en proyectos de infraestructura, medio ambiente y urbanismo.

## **1.2. Evolución de la Fotogrametría hacia la era digital y el papel de los drones**

La Fotogrametría tiene una historia que se remonta al siglo XIX, con sus primeras bases en la ciencia y la tecnología de la fotografía. Su desarrollo ha estado estrechamente vinculado con la evolución de la fotografía, la Cartografía y la geodesia, adaptándose con el tiempo hasta convertirse en una herramienta esencial en múltiples disciplinas.

La Fotogrametría moderna comenzó a perfilarse en 1849 cuando el científico y oficial francés Aimé Laussedat (1819-1907) propuso utilizar imágenes fotográficas para la elaboración de mapas y mediciones precisas del terreno. Este método inicial de Laussedat fue conocido como la "fototopografía". Aunque sus métodos no fueron ampliamente adoptados en su época, Laussedat es considerado el padre de la Fotogrametría debido a su pionera idea de aprovechar las fotografías para la Cartografía y levantamiento topográfico.

Durante las siguientes décadas, se produjeron avances significativos en la fotografía, especialmente en el desarrollo de cámaras de mayor precisión. No obstante, fue durante

la Primera Guerra Mundial (1914-1918) cuando la Fotogrametría aérea comenzó a desarrollarse de manera acelerada. La aviación militar impulsó el uso de cámaras fotográficas montadas en aviones para obtener imágenes del terreno, lo cual fue vital para la planificación y estrategia militar. Esta aplicación militar permitió la creación de mapas y la localización de posiciones estratégicas desde el aire, transformando a la Fotogrametría en una técnica esencial para los ejércitos.

Tras la Primera Guerra Mundial, en la década de 1920, la Fotogrametría se consolidó como una técnica de uso civil. Los avances en matemáticas y óptica permitieron a Carl Pulfrich (1858-1927), un físico alemán, diseñar los primeros estereocomparadores, dispositivos que permitían observar imágenes en estéreo para medir distancias y crear modelos tridimensionales del terreno. Este avance revolucionó el procesamiento de imágenes en Fotogrametría y permitió aplicar la técnica en Topografía y Cartografía de manera más precisa.

Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), la Fotogrametría aérea fue utilizada extensamente para el reconocimiento y la planificación táctica. Al finalizar la guerra, en la década de 1950, la Fotogrametría comenzó a ser una disciplina fundamental en la creación de mapas topográficos detallados, gracias a la mejora de las cámaras aéreas y los sistemas de proyección estereoscópica.

A partir de los años 1960 y 1970, se produjeron avances significativos con la llegada de las computadoras y el procesamiento digital. Este período marcó el inicio de la Fotogrametría analítica, donde las imágenes eran procesadas mediante cálculos y modelos matemáticos en lugar de métodos manuales. Este cambio permitió una mayor precisión en el análisis de datos y sentó las bases de la Fotogrametría digital.

En las últimas décadas del siglo XX y principios del siglo XXI, la Fotogrametría ha experimentado una transformación gracias a los avances en Informática y la introducción de técnicas digitales avanzadas. Las cámaras digitales y el uso de software de procesamiento de imágenes (como Pix4D, Agisoft Metashape, entre otros) permitieron la creación de modelos tridimensionales detallados y la automatización de procesos complejos, facilitando el uso de la Fotogrametría en diversas aplicaciones civiles e industriales.

A partir de la década de 2010, los drones comenzaron a transformar la Fotogrametría, permitiendo la captura rápida y eficiente de imágenes de alta resolución. Gracias a los drones, hoy en día es posible realizar levantamientos fotogramétricos de alta precisión a bajo costo y en áreas de difícil acceso. Esto ha expandido el uso de la Fotogrametría a sectores como la ingeniería civil, la agricultura, la minería y el medio ambiente.

En la tabla 1.1 se refleja cómo la Fotogrametría ha evolucionado a partir de la tecnología disponible en cada época, adaptándose a los avances científicos y tecnológicos para convertirse en una herramienta esencial en diversas áreas de ingeniería, geografía y ciencias ambientales.

**Tabla 1.1. Evolución de la Fotogrametría**

Fecha	Hito	Descripción
1849	Propuesta de la Fotogrametría por Aimé Laussedat (1819-1907)	Laussedat, un científico francés, propone usar imágenes fotográficas para el mapeo y la topografía, idea pionera que establece las bases de la Fotogrametría.
1885	Primer Estereoscopio de Pulfrich (1858-1927)	Carl Pulfrich desarrolla el estereoscopio para observar imágenes en estéreo, permitiendo medir profundidades y perspectivas en la Fotogrametría.
1903	Primer Estereocomparador	La creación del estereocomparador permite la medición precisa de distancias en imágenes, mejorando la precisión de los levantamientos fotogramétricos.
1914-1918	Uso de la Fotogrametría Aérea en la Primera Guerra Mundial	La Fotogrametría se usa ampliamente en la aviación militar para el reconocimiento de terrenos y la creación de mapas estratégicos.
1920s	Desarrollo de la Fotogrametría Analítica	Nuevos métodos matemáticos permiten cálculos más precisos en la Fotogrametría, transformándola en una herramienta de uso civil para topografía y Cartografía.
1930	Fotogrametría Terrestre	Se aplica la Fotogrametría a estudios de infraestructuras y edificaciones, usándose para documentar monumentos y realizar levantamientos topográficos en tierra.
1940-1945	Fotogrametría Avanzada en la Segunda Guerra Mundial	Se perfeccionan las técnicas de Fotogrametría aérea para la planificación militar y el mapeo de grandes áreas con alta precisión.
1950s	Introducción de Computadoras en Fotogrametría	La inclusión de computadoras permite la Fotogrametría analítica, donde el cálculo y análisis de imágenes se vuelve más rápido y preciso.
1960s	Fotogrametría Automática	Avances en electrónica y óptica permiten automatizar el análisis de imágenes y desarrollar sistemas de proyección estereoscópica avanzados.
1990s	Fotogrametría Digital	La Fotogrametría pasa de lo analógico a lo digital, utilizando cámaras y procesadores de imágenes digitales, lo que mejora notablemente la precisión y rapidez del proceso.
2000s	Software de Modelado 3D	El desarrollo de software especializado, como Pix4D y Agisoft, permite la creación de modelos 3D detallados y el procesamiento automatizado de grandes volúmenes de datos.
2010s	Uso de Drones en Fotogrametría	Los drones transforman la Fotogrametría al facilitar la captura rápida de imágenes de alta resolución, ampliando su aplicación a áreas como la agricultura y la ingeniería.
2020s	Fotogrametría con IA y Automatización	Se incorpora la inteligencia artificial en el procesamiento de datos fotogramétricos, mejorando la precisión y la eficiencia en el análisis de modelos tridimensionales.

### **1.3. Aplicaciones de los drones en la Fotogrametría**

Los drones en Fotogrametría ofrecen una plataforma versátil y precisa para capturar y analizar datos en ingeniería y ciencias afines, permitiendo obtener imágenes y modelos detallados del terreno y estructuras de manera rápida y segura. Estas aplicaciones son fundamentales en la ingeniería moderna, no sólo para la toma de decisiones, sino también para optimizar costos, mejorar la seguridad y reducir el impacto ambiental en proyectos de infraestructura y gestión territorial.

#### **1.3.1. Levantamientos topográficos y Cartografía**

- **Descripción:** Los drones permiten realizar levantamientos topográficos precisos al capturar imágenes aéreas georreferenciadas en alta resolución, esenciales para la generación de mapas topográficos y modelos de elevación del terreno.
- **Aplicaciones:** Este uso es fundamental en la planificación de proyectos de infraestructuras, como carreteras, presas y desarrollos urbanísticos. Además, permite realizar estudios de suelo y análisis de pendientes y de escurrimientos de agua.
- **Beneficios:** Mayor velocidad y seguridad en la recopilación de datos, con menos necesidad de exposición humana en áreas inaccesibles o peligrosas.

#### **1.3.2. Modelado 3D de infraestructuras y edificaciones**

- **Descripción:** La Fotogrametría con drones permite generar modelos tridimensionales precisos de estructuras como edificios, puentes y torres. Las imágenes obtenidas se procesan en software especializado que genera reconstrucciones exactas de la geometría de las estructuras.
- **Aplicaciones:** En la ingeniería civil, los modelos 3D son fundamentales para diseñar, construir y monitorear infraestructuras. También se emplean en la inspección de edificaciones históricas y en proyectos de restauración de patrimonio arquitectónico.
- **Beneficios:** Facilita el control de calidad en la construcción, permite inspeccionar en zonas complejas y optimiza la documentación y planificación de mantenimiento.

#### **1.3.3. Monitoreo de erosión y movimientos de tierra**

- **Descripción:** Con la ayuda de drones, la Fotogrametría permite monitorear cambios en el terreno, detectando erosiones, deslizamientos y otros movimientos de suelo a lo largo del tiempo.
- **Aplicaciones:** Se emplea en la ingeniería geotécnica para la gestión y prevención de riesgos en áreas con deslizamientos de tierra y erosión, además de monitorear áreas afectadas por actividades de minería y construcción.
- **Beneficios:** Los datos recopilados permiten hacer un seguimiento continuo de los cambios en el terreno y facilitar la toma de decisiones para prevenir desastres naturales y riesgos estructurales.

#### **1.3.4. Inspección y mantenimiento de infraestructuras**

- **Descripción:** Los drones con cámaras de alta resolución y sensores térmicos permiten inspeccionar estructuras complejas, como puentes, carreteras y torres de transmisión, detectando posibles daños o deterioros.
- **Aplicaciones:** Útil en el mantenimiento de infraestructuras públicas y en la detección de daños en elementos como puentes, tuberías y cables de energía. Los drones pueden sobrevolar y capturar datos de áreas que son de difícil acceso para los humanos.
- **Beneficios:** Aumenta la seguridad de las inspecciones al reducir la exposición humana y permite identificar problemas en etapas tempranas, optimizando el presupuesto de mantenimiento.

#### **1.3.5. Análisis y gestión de recursos naturales**

- **Descripción:** Los drones permiten capturar imágenes multiespectrales que se utilizan para evaluar la vegetación, los recursos hídricos y las condiciones del suelo, generando mapas detallados de cobertura vegetal y calidad del suelo.
- **Aplicaciones:** En ingeniería ambiental, se usan para analizar la salud de la vegetación, estimar índices de vegetación (como el NDVI) y evaluar la sostenibilidad de recursos naturales en proyectos de desarrollo.
- **Beneficios:** Facilita la gestión y optimización de los recursos ecosistémicos, monitorea ecosistemas naturales y mejora las prácticas de conservación en áreas de alto valor ambiental.

#### **1.3.6. Modelos digitales de elevación y simulación de inundaciones**

- **Descripción:** A partir de los datos fotogramétricos capturados con drones, se generan modelos digitales de elevación (MDE) y modelos digitales de superficie (MDS) precisos, que permiten simular escenarios de inundación y otros riesgos.
- **Aplicaciones:** En la ingeniería hidráulica y de obras civiles, estos modelos se utilizan para el diseño de proyectos de contención de inundaciones y en la planificación de obras de protección contra riesgos naturales.
- **Beneficios:** Proporciona una herramienta precisa para la predicción de inundaciones, mejorando los planes de emergencia y la gestión de zonas de riesgo.

#### **1.3.7. Documentación y conservación del patrimonio cultural**

- **Descripción:** Los drones permiten realizar Fotogrametría de precisión para crear registros 3D detallados de sitios arqueológicos y estructuras históricas.
- **Aplicaciones:** Usado en la arqueología y la conservación del patrimonio, facilita la digitalización y documentación de elementos históricos, así como el monitoreo de su estado de conservación.
- **Beneficios:** Asegura la preservación digital de patrimonio y permite planificar restauraciones con base en modelos detallados sin afectar el sitio físico.

### 1.3.8. Control y planificación de proyectos de construcción

- **Descripción:** Los drones pueden capturar imágenes de proyectos en construcción para comparar el avance de la obra respecto de los planes y modelos proyectados, permitiendo ajustes y control de calidad en tiempo real.
- **Aplicaciones:** En la gestión de proyectos de construcción, este uso es valioso para monitorear el progreso, evaluar el cumplimiento de especificaciones y generar informes del estado, de forma visual y medible.
- **Beneficios:** Mejora la eficiencia en la planificación y la gestión del proyecto, ayuda a identificar problemas antes de que se conviertan en costosos y permite documentar cada fase del proyecto.

### 1.3.9. Agricultura de precisión

- **Descripción:** Los drones permiten realizar mapeos detallados de campos agrícolas mediante el uso de cámaras multiespectrales y térmicas que miden la salud de los cultivos, el nivel de humedad del suelo y otros parámetros.
- **Aplicaciones:** Empleados para evaluar el crecimiento de cultivos, identificar enfermedades y optimizar la distribución de agua y fertilizantes, permitiendo una gestión eficiente de los recursos.
- **Beneficios:** Aumenta la productividad agrícola, reduce costes de insumos y permite tomar decisiones rápidas en caso de aparición de plagas o enfermedades.

## 1.4. Principales proyectos fotogramétricos sobre España

España ha llevado a cabo varios proyectos fotogramétricos de gran escala a lo largo de las décadas, destinados a desarrollar su Cartografía y a actualizar sus datos geográficos y geoespaciales. Estos proyectos han sido esenciales para la planificación urbana, la gestión de recursos naturales, y el desarrollo de infraestructuras. A continuación se describen algunos de los proyectos fotogramétricos más relevantes realizados en el territorio español, los cuales es necesario conocer pues son la base de todas la Cartografía precisa que se ha tenido hasta ese momento.

### 1.4.1. Vuelo Cuenca del Segura (1929-1930)

El primer vuelo documentado a gran escala es el Vuelo Cuenca del Segura (1929-1930). Fue un vuelo fotogramétrico en blanco y negro realizado por Julio Ruiz de Alda. La Escala del vuelo aproximada era de 1:10.000. En la figura 1.2 se observa el área cubierta por este vuelo. Para más detalle puede consultarse <https://fototeca.cnig.es/fototeca/>.



Figura 1.2. Vuelo Cuenca del Segura (1929-1930)

#### 1.4.2. Vuelo Americano A (1945-1946)

Entre los años 1945 y 1946 se realizó el vuelo fotogramétrico entre el Army Map Service de EE.UU y el Ejército del Aire de España. La escala aproximada del vuelo fue de 1:43.000.

- **Descripción:** Tras la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos (USA) llevó a cabo un programa de vuelos fotogramétricos sobre España como parte de su política de defensa y de sus relaciones con los países aliados. Conocidos como los "Vuelos Americanos", estos levantamientos generaron una gran cantidad de imágenes aéreas que se convertirían en uno de los primeros grandes proyectos fotogramétricos de alta resolución sobre el país.
- **Objetivo:** Su propósito inicial fue de carácter militar y estratégico, aunque los datos se emplearon posteriormente para el desarrollo de la Cartografía básica de España.
- **Impacto:** Estas imágenes han sido fundamentales en el estudio de los cambios en el uso del suelo y en la planificación de infraestructuras. Siguen siendo una referencia histórica en el análisis geográfico y ambiental de la evolución del territorio español.

En la figura 1.3 se observa el área cubierta por este vuelo. Para más detalle puede consultarse <https://fototeca.cnig.es/fototeca/>



Figura 1.3. Vuelo Americano A (1945-1946)

#### 1.4.3. Vuelo Americano B (1956-1957)

Entre los años 1956 y 1957 se realizó un nuevo el vuelo fotogramétrico entre el Army Map Service de EE.UU (AMS) y el Ejército del Aire de España. La escala aproximada del vuelo fue de 1:32.000. En la figura 1.4 se observa el área cubierta por este vuelo. Para más detalle puede consultarse <https://fototeca.cnig.es/fototeca/> . Nótese que ahora si se incluyen las islas Baleares.



Figura 1.4. Vuelo Americano B (1956-1957)

#### 1.4.4. Vuelo Americano C (1967-1968)

El último de los “vuelos americanos” se realizó entre 1967 y 1969. La escala aproximada del vuelo fue de 1:45.000. En la figura 1.5 se observa el área cubierta por este vuelo. Para más detalle puede consultarse <https://fototeca.cnig.es/fototeca/>. Nótese que sólo hay tres zonas: las islas Baleares, zona centro y zona norte por encima de Portugal.



Figura 1.5. Vuelo Americano C (1967-1968)

#### 1.4.5. Vuelo de Referencias (1967-1968)

Fue un vuelo fotogramétrico en Blanco y Negro por encargo del IGN actual (Instituto Geográfico Nacional) en los años 1967 y 1968 sobre la actual comunidad de Madrid. La escala aproximada del vuelo fue de 1:18.000. En la figura 1.6 se observa el área cubierta por este vuelo. Para más detalle puede consultarse <https://fototeca.cnig.es/fototeca/>.



Figura 1.6. Vuelo de Referencias (1967-1968)

#### 1.4.6. Vuelo Interministerial (1973-1986)

Fue un vuelo fotogramétrico en Blanco y Negro por encargo de los Ministerios de Agricultura, Defensa, y del Instituto Geográfico Catastral (actual Instituto Geográfico Nacional) en los años 1973 y 1986 sobre todo el territorio nacional, incluyendo las isla Canarias. La escala aproximada del vuelo fue de 1:18.000. En la figura 1.7 se observa el área cubierta por este vuelo. Para más detalle puede consultarse <https://fototeca.cnig.es/fototeca/>.



Figura 1.7. Vuelo Interministerial (1973-1986)

#### 1.4.7. Vuelo Nacional (1980-1986)

Fue un vuelo fotogramétrico en Blanco y Negro por encargo de del Instituto Geográfico Catastral (actual Instituto Geográfico Nacional) en los años 1980 y 1986 sobre todo el territorio nacional, incluyendo las isla Canarias. La escala aproximada del vuelo fue de 1:30.000. En la figura 1.8 se observa el área cubierta por este vuelo. Para más detalle puede consultarse <https://fototeca.cnig.es/fototeca/>. Nótese que hay algunas pequeñas zonas sin cobertura como por ejemplo junto a Teruel o en la provincia de Palencia.



Figura 1.8. Vuelo Nacional (1980-1986)

#### 1.4.8. Vuelo de Costas (1989-1991)

Fue un vuelo fotogramétrico del Instituto Geográfico Nacional entre los años 1989 y 1991 sobre casi toda la costa de España, incluyendo las islas Canarias. La escala aproximada del vuelo fue de 1:5.000. En la figura 1.9 se observa el área cubierta por este vuelo. Para más detalle puede consultarse <https://fototeca.cnig.es/fototeca/> . Nótese que falta por completo la parte del golfo de Cádiz.



Figura 1.9. Vuelo de Costas (1989-1991)

### 1.4.9. Vuelo Quincenal (1998-2003)

Fue un vuelo fotogramétrico del Instituto Geográfico Nacional en Blanco y Negro entre los años 1998 y 2003 sobre casi toda la costa de España, incluyendo las islas Canarias. La escala aproximada del vuelo fue de 1:40.000. En la figura 1.10 se observa el área cubierta por este vuelo. Para más detalle puede consultarse <https://fototeca.cnig.es/fototeca/>. Nótese que faltan algunas zonas, sobre todo en la zona de Galicia.

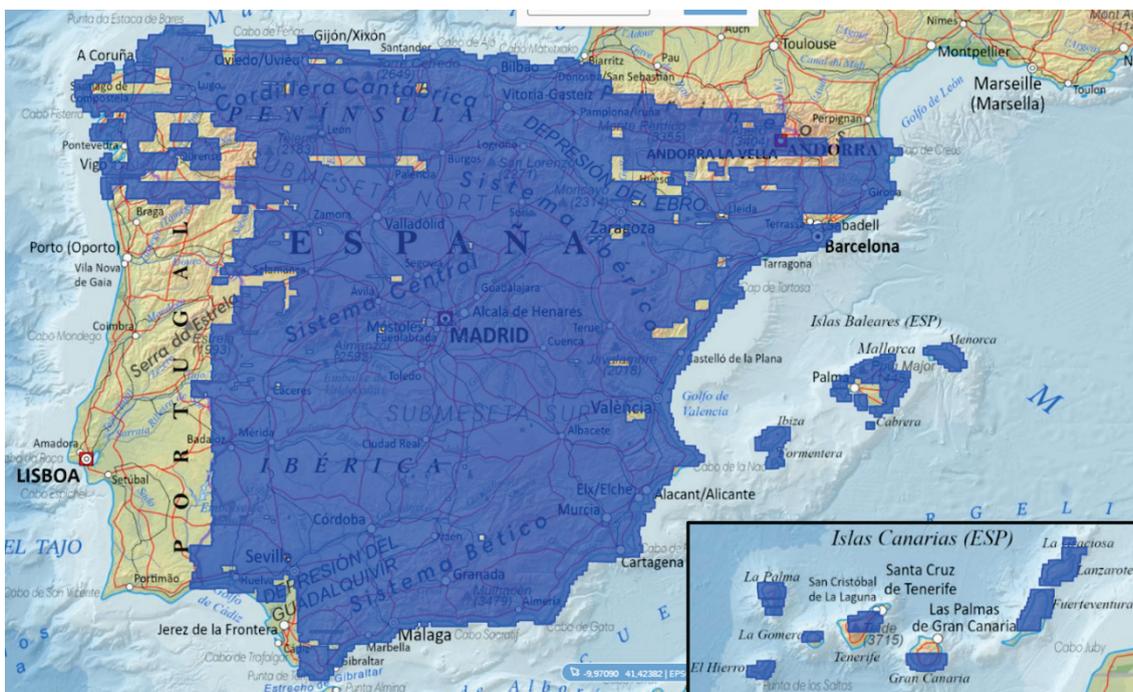


Figura 1.10. Vuelo Quincenal (1999-2003)

### 1.4.10. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA)

El PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) es un proyecto conjunto del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), en el que participan la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas. Se inicia en el año 2004 con el objetivo de la obtención de ortofotografías aéreas digitales de todo el territorio español, con un período de actualización fijo, siendo actualmente de 3 años. En el año 2009, se incorpora la tecnología LIDAR al proyecto PNOA. Este plan incluye la realización periódica de vuelos fotogramétricos anuales para actualizar la Cartografía de España y obtener ortofotos con una resolución de 25 cm por píxel en áreas urbanas y 50 cm por píxel en zonas rurales. En las figuras 1.11 a 1.13 se observa el área cubierta por este vuelo para los distintos años. Para más detalle puede consultarse <https://fototeca.cnig.es/fototeca/>. En el año 2004 se voló La Rioja a escala 1:20.000 y tamaño de píxel de 0.22 m. El resto se voló a escala 1:30.000 y tamaño de píxel de 0,45 m. En el año 2005 se voló Canarias, Castilla y León (Burgos, Palencia, y Soria) a escala 1:20.000 y tamaño de píxel de 0.22 m. El resto se voló a escala 1:30.000 y tamaño de píxel de 0,45 m. En el año 2006 se voló con cámara analógica Navarra a escala 1:18.000, Aragón y Extremadura a escala 1:30.000. Y con cámara digital el resto con tamaños de píxel entre 0.23 m y 0.45 m. En el año 2007 y 2008 se voló con cámara

digital con tamaños de pixel entre 0.22 m y 0.45 m. Y en el año 2009 se voló con cámara digital con tamaños de pixel entre 0.20 m y 0.35 m. La idea era obtener ortofotografías con resolución espacial de al menos 25 cm, aunque en algunas zonas se alcanzan resoluciones de 15cm.

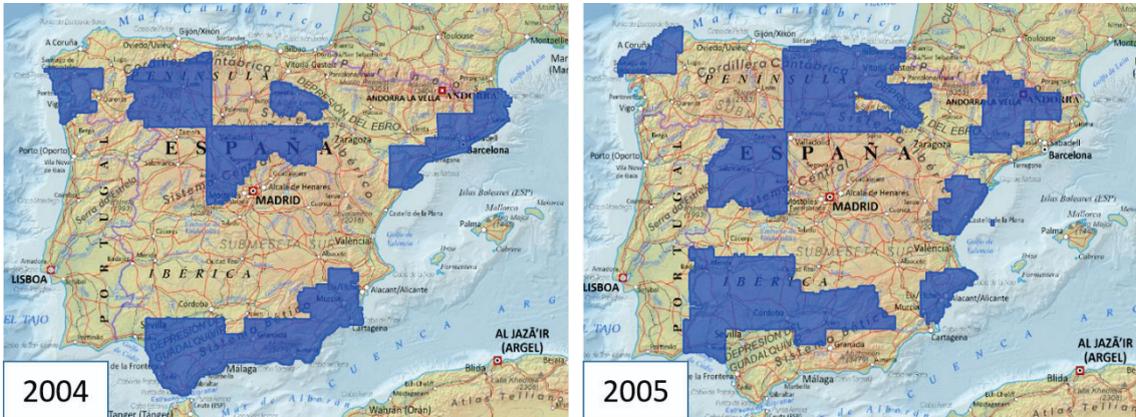


Figura 1.11. Cobertura PNOA (2004-2005)

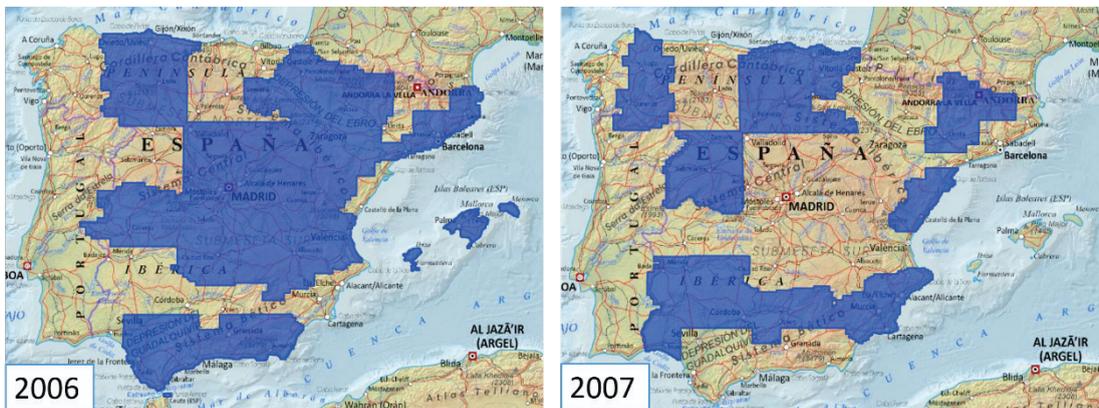


Figura 1.12. Cobertura PNOA (2006-2007)

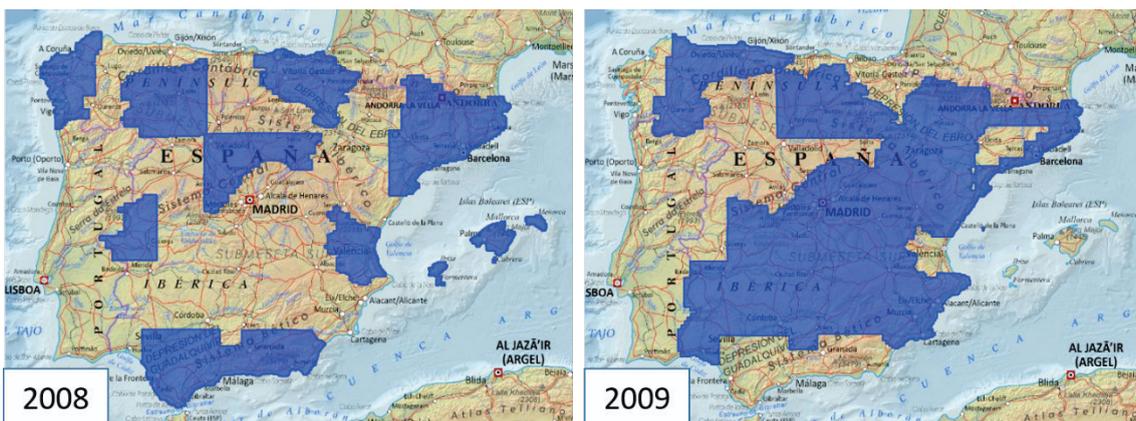


Figura 1.13. Cobertura PNOA (2008-2009)

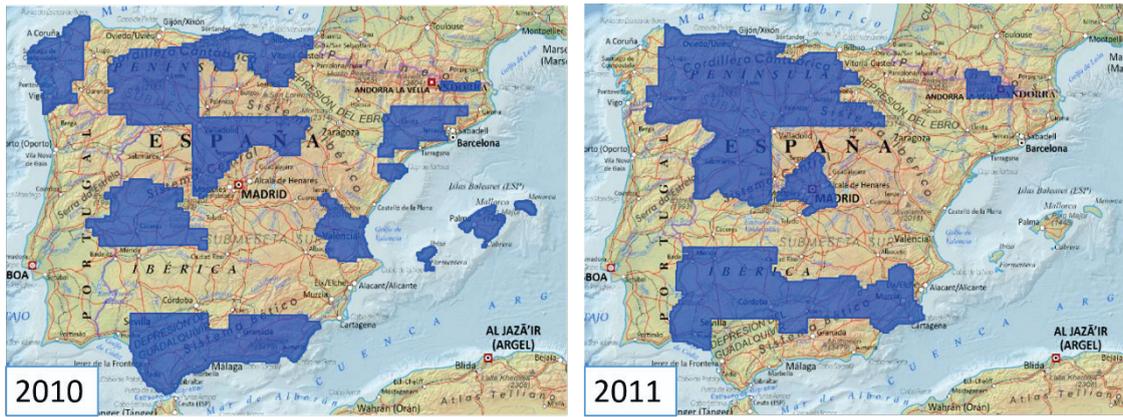


Figura 1.14. Cobertura PNOA (2010-2011)

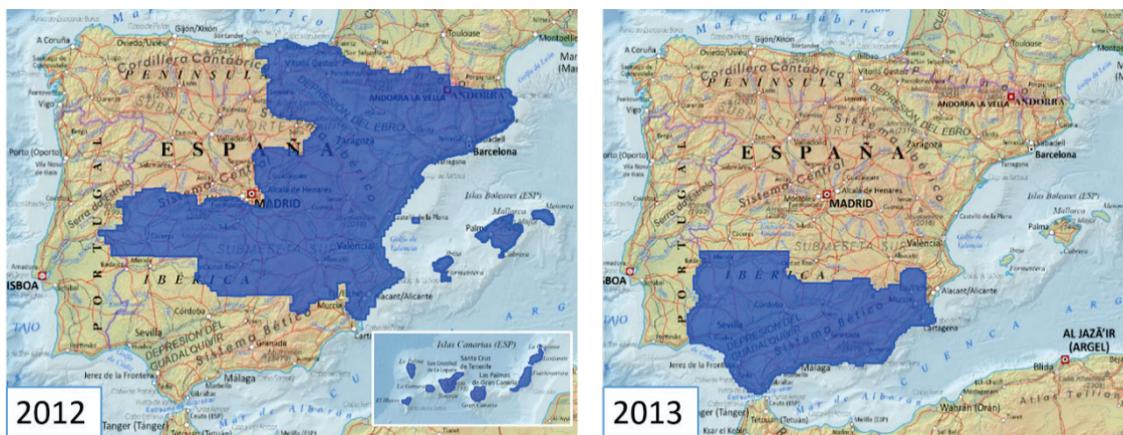


Figura 1.15. Cobertura PNOA (2012-2013)

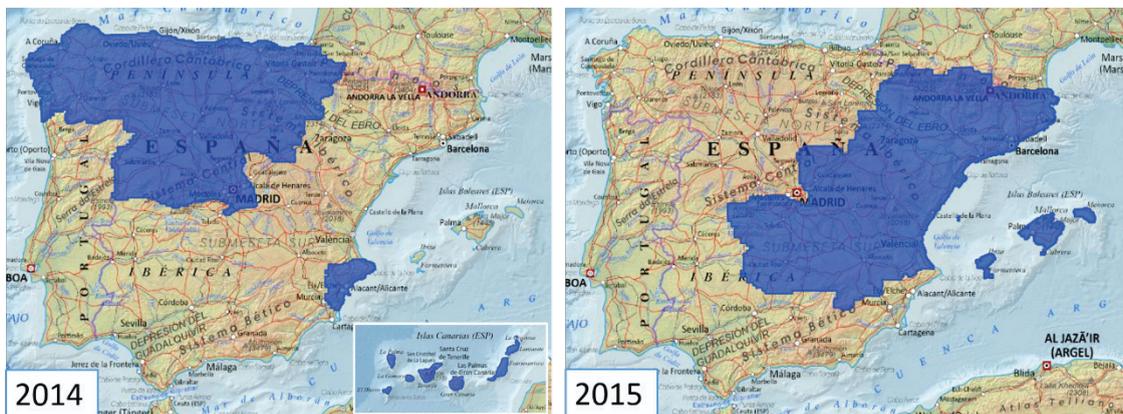


Figura 1.16. Cobertura PNOA (2014-2015)



Figura 1.17. Cobertura PNOA (2016-2017)



Figura 1.18. Cobertura PNOA (2018-2019)

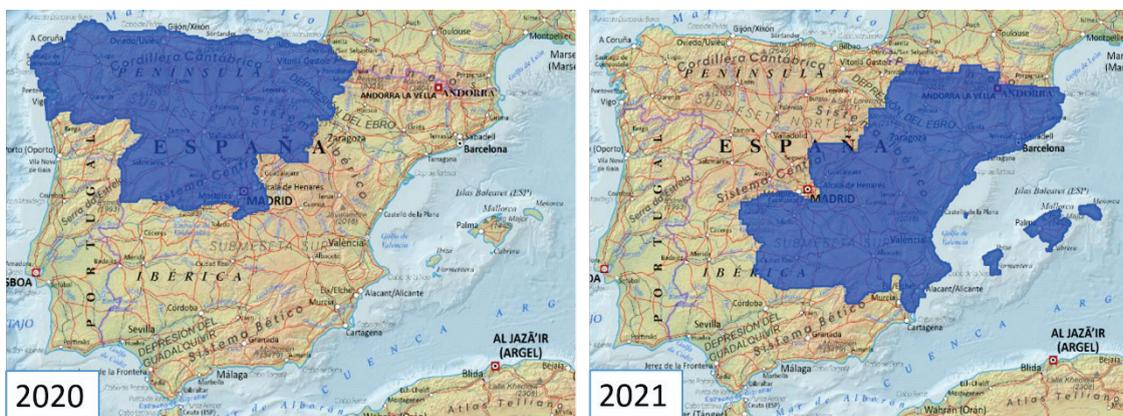


Figura 19. Cobertura PNOA (2020-2021)

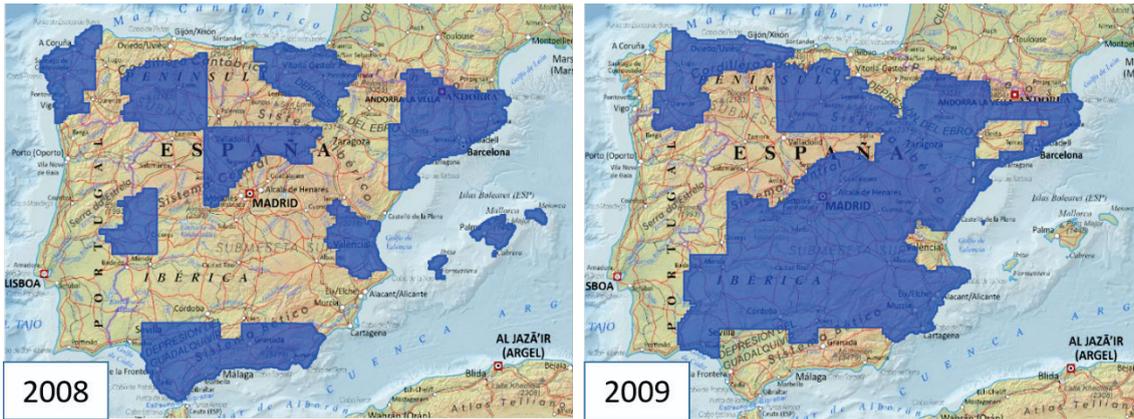


Figura 1.20. Cobertura PNOA (2022-2023)



Figura 1.21. Cobertura PNOA (2024)

#### 1.4.11. Plan Nacional de Teledetección (PNT) (1971-2023)

Aunque la Teledetección no es Fotogrametría en sentido estricto, el proyecto incluye procesos fotogramétricos para interpretar imágenes y generar modelos digitales del terreno. Iniciado en 2004, el Plan Nacional de Teledetección es un proyecto de colaboración entre varias entidades públicas para capturar y analizar imágenes obtenidas mediante satélites y otros sensores remotos.

El uso masivo de imágenes de Teledetección comenzó en el año 2008, con la puesta a disposición de imágenes Landsat bajo una licencia libre y abierta, pero la verdadera democratización de la Teledetección llegó en el año 2014, con el lanzamiento del satélite radar Sentinel 1A en 2014 y el satélite óptico Sentinel 2A en 2015, pertenecientes ambos al El Programa Copernicus de la Comisión Europea (anteriormente conocido como GMES).

Las imágenes de los satélites Sentinel del El Programa Copernicus, tanto para territorio nacional como europeo e internacional, que están a disposición del público general con acceso libre y gratuito son:

- Datos radar de los satélites Sentinel-1A y 1B se proporcionan en productos nivel 1 como Single Look Complex (SLC) y Ground Range Detected (GRD) y como productos nivel 2 Ocean (OCN) para aplicaciones de viento, olas y corrientes marinas.

- Datos ópticos de alta resolución de los satélites Sentinel-2A y 2B están disponibles como productos nivel 1C (corregidos radiométrica y geoméricamente) y nivel 2A (corregido atmosféricamente).
- Datos Sentinel-3A para aplicaciones en tierra y agua.

La siguiente tabla 1.2 recoge las diferentes coberturas de satélites capturadas sobre el territorio nacional.

**Tabla 1.2. Resolución espacial y temporal del PNT**

Año	Marco	Cobertura	Constelación/Satélite	Resolución
2021-2023	CDTI	Territorio nacional	GeoSat-2	PAN:0.75m XS:3m
2021	ESA-Copernicus VHR 2021	Territorio nacional	SuperView-1, Pleiades, SPOT-6/7, Eusi, Airbus 4M, GeoSat-2	XS:2-4m
2018	ESA-Copernicus VHR 2018	Territorio nacional	Pléiades 1A-1B, Spot-6/7, PlanetScope, Kompsat 3A, Superview 1, TripleSat	XS:2-4m
2017	PNT	Parques Nacionales y Navarra (una cobertura al mes) Zonas específicas en CCAA (3 coberturas)	PlanetScope	XS:3m
2016	PNT	Núcleos urbanos en Madrid y Aragón	Pleiades	PAN:0.5m XS:2m
2015	ESA-Copernicus VHR 2015	Territorio nacional	Pleiades, Worldview, Geoeye y Deimos2	PAN:0.5m XS:2m
2014	PNT	Núcleos urbanos en el territorio nacional	Pleiades	PAN:0.5m XS:2m
2011-2016	PNT	CCAA según año	GeoSat-1	XS:22m
2006	PNT	Zonas no cubiertas con SPOT	Formosat 2	PAN:2m XS:8m
2005-2014	PNT	CCAA según año	SPOT4-5-6-7	PAN:1.5-10m XS:6-20m
1971-2018	PNT	Territorio nacional	LANDSAT MSS(1 a 4)-4-5-7-8	60m (MSS) a 15m (L8)
2007-2011	PNT	Plazas de soberanía y Sevilla	Geoeye	XS:0,5m

#### **1.4.12. Proyecto PNOA LiDAR (2009-2025)**

Tanto las actividades humanas (condicionantes socioeconómicos) como los procesos naturales están condicionados por la orografía del lugar en el que ocurren. Contar con un conocimiento preciso de la elevación del terreno es clave para identificar de manera adecuada las áreas más adecuadas para distintas actividades y desarrollos humanos. Además, es fundamental para la Cartografía, la creación de modelos 3D, la definición de cuencas hidrográficas, la elaboración de mapas de zonas inundables, la realización de inventarios forestales, la predicción de la propagación de fenómenos físicos (como la polución o los deslizamientos de terreno), así como para el estudio de ecosistemas y el análisis del cambio climático. En este sentido, las Naciones Unidas, la directiva INSPIRE y el Sistema Cartográfico Nacional consideran las elevaciones del terreno un dato geoespacial esencial a nivel global. La tecnología LiDAR es la que permite capturar con mayor precisión la información de elevación del terreno, y su desarrollo a lo largo del siglo XXI ha mejorado significativamente la calidad de los datos orográficos obtenidos.

En 2009, surgió el proyecto PNOA-LiDAR. El objetivo de este proyecto es obtener información tridimensional de todo el territorio español mediante sensores LiDAR aerotransportados, generando productos derivados de esta captura, como nubes de puntos con coordenadas y Modelos Digitales del Terreno. El proyecto ha seguido estos ciclos de cobertura.

- **Primera cobertura:** vuelos realizados entre 2008 y 2015. Ver figura 1.22.
- **Segunda cobertura:** vuelos realizados entre 2015 y 2021. Ver figura 1.23.
- **Tercera cobertura:** vuelos planificados para 2022-2025. Ver figura 1.24.

La densidad de los puntos capturados ha ido aumentando en cada ciclo, desde 0,5 puntos/m<sup>2</sup> en la primera cobertura hasta 5 puntos/m<sup>2</sup> en la tercera. De igual forma, la precisión altimétrica ha mejorado, pasando de un error cuadrático medio (RMSE Z) de 40 cm en la primera cobertura a 10 cm en la tercera.

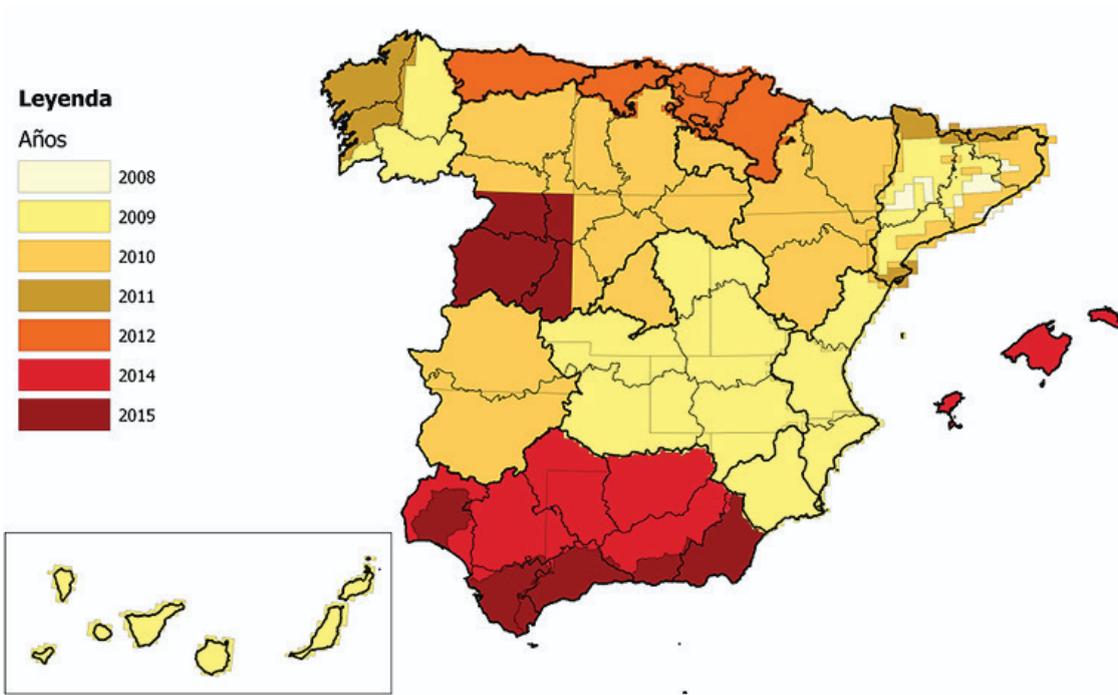


Figura 1.22. PNOA-LiDAR 1ª cobertura (2009 – 2015)

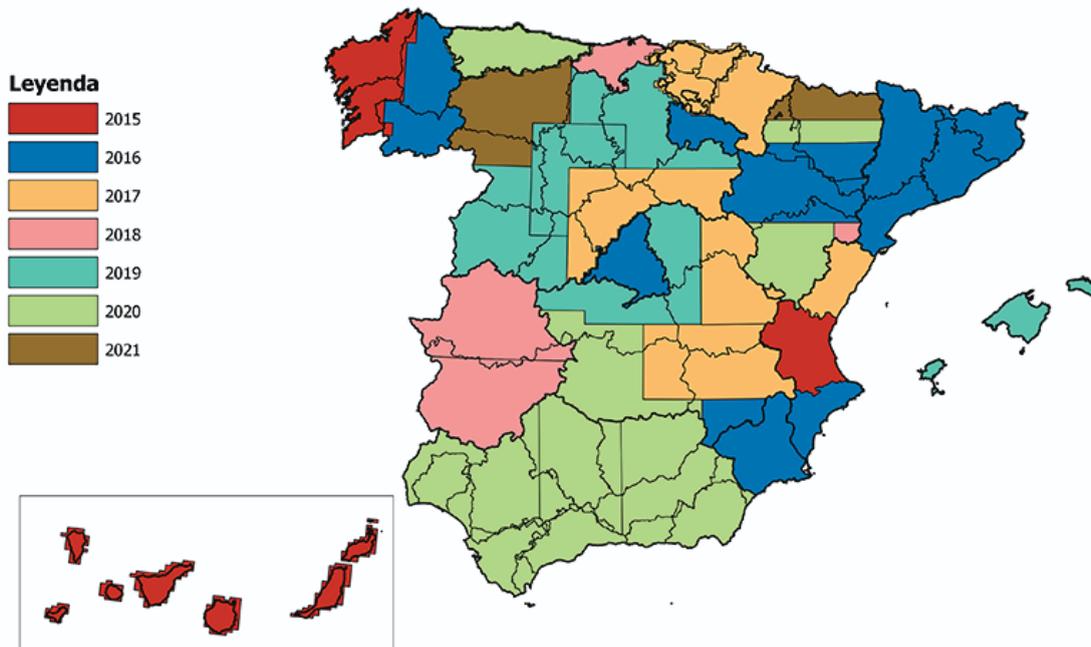


Figura 1.23. PNOA-LiDAR 2ª cobertura (2015 – 2021)



Figura 1.24. PNOA-LiDAR 3ª cobertura (2022 – 2025)

### 1.5. Diferencias conceptuales entre Fotogrametría y Teledetección

La Teledetección y la Fotogrametría son disciplinas interrelacionadas en el campo de la obtención de información geoespacial, aunque presentan diferencias significativas en cuanto a sus enfoques, técnicas y aplicaciones. La Teledetección se define como la técnica empleada para recopilar información sobre la superficie terrestre sin contacto directo, mediante sensores que detectan la radiación electromagnética reflejada o emitida por los objetos. Su propósito principal es el análisis de fenómenos a gran escala, incluyendo el monitoreo del cambio climático, la vegetación, los cuerpos de agua, los suelos y los desastres naturales. Para ello, se utilizan sensores montados en plataformas como satélites, aviones o drones, los cuales capturan datos en diversas bandas del espectro electromagnético.

Por otro lado, la Fotogrametría es una disciplina que se basa en el uso de fotografías (o imágenes) para realizar mediciones precisas y obtener información geométrica de los objetos o terrenos observados. Su objetivo principal radica en la generación de mapas, modelos tridimensionales y reconstrucciones topográficas. Mediante el análisis de imágenes obtenidas desde diferentes ángulos, la Fotogrametría permite calcular distancias, áreas y volúmenes con un alto grado de precisión.

En cuanto a los sensores y los tipos de datos utilizados, la Teledetección emplea sensores pasivos, que detectan la radiación natural (como la solar), y sensores activos, como los radares, que emiten y reciben señales electromagnéticas. Los datos obtenidos suelen ser multiespectrales o hiperespectrales, lo que permite el análisis de las características físicas y químicas de las superficies observadas. La Fotogrametría, en cambio, se basaba

en imágenes ópticas captadas mediante cámaras fotográficas convencionales, generalmente en el espectro visible. A partir de una serie de fotografías superpuestas, se generan modelos en dos o tres dimensiones mediante técnicas de cálculo geométrico y trigonométrico.

Los métodos de análisis también difieren en ambas disciplinas. En Teledetección, los datos son procesados mediante técnicas como el análisis espectral, la clasificación de imágenes y el cálculo de índices de vegetación, como el NDVI. Estos enfoques permiten el análisis tanto cualitativo como cuantitativo de los recursos naturales y del medio ambiente, facilitando la detección de patrones y la caracterización de la superficie terrestre. En contraste, la Fotogrametría se fundamenta en principios geométricos y trigonométricos para la determinación precisa de dimensiones, áreas y volúmenes. Sus principales metodologías incluyen la Fotogrametría estereoscópica, que emplea múltiples imágenes para generar modelos tridimensionales, y la Fotogrametría digital, que utiliza algoritmos para reconstruir objetos en tres dimensiones.

Las aplicaciones de ambas disciplinas son diversas. La Teledetección se emplea ampliamente en la monitorización ambiental, incluyendo la evaluación de la deforestación, el cambio climático, los desastres naturales (como inundaciones e incendios), la Cartografía de suelos y vegetación, la gestión de recursos hídricos y la meteorología. Además, tiene aplicaciones en el ámbito de la seguridad y defensa, particularmente en la detección de objetos o actividades en regiones remotas. La Fotogrametría, por su parte, se utiliza en Cartografía topográfica, ingeniería civil (incluyendo la construcción de infraestructuras como carreteras y presas), arqueología (para la reconstrucción de estructuras antiguas) y en la generación de modelos digitales del terreno y modelos tridimensionales para la planificación y diseño de proyectos.

Otra diferencia fundamental entre ambas disciplinas radica en la escala y cobertura de sus aplicaciones. La Teledetección está diseñada para abarcar grandes extensiones territoriales, incluso a nivel global, siendo una herramienta clave en el estudio de ecosistemas completos y en la detección de cambios en la superficie terrestre a lo largo del tiempo. En contraste, la Fotogrametría se orienta a ámbitos más localizados y detallados, proporcionando información específica y precisa para proyectos que requieren un alto nivel de exactitud geométrica y representación visual detallada.

En síntesis, mientras que la Teledetección se especializa en el análisis remoto de fenómenos y patrones a gran escala, mientras que la Fotogrametría se enfoca en la medición precisa y la reconstrucción geométrica de objetos y superficies. Ambas disciplinas son fundamentales en la obtención y gestión de información geoespacial, complementándose en diversos campos del conocimiento y la aplicación tecnológica.

Hay que precisar que hoy en día, la Fotogrametría toma imágenes digitales y estas pueden emplearse para otras aplicaciones que están relacionadas con la Teledetección tradicional. Por tanto las "fronteras" entre estas dos ciencias es cada vez menor.

## 1.6. Autoevaluación

1. ¿Qué es la Fotogrametría?
  - a) Un método para medir la radiación electromagnética
  - b) Un proceso para generar mapas solo con datos satelitales
  - c) Una técnica para obtener información geométrica a partir de imágenes fotográficas
  - d) Un tipo de fotografía aérea artística
2. ¿Cuál de los siguientes es un objetivo principal de la Fotogrametría?
  - a) Medición precisa de distancias y dimensiones
  - b) Creación de efectos visuales en fotografía
  - c) Simulación de entornos digitales para videojuegos
  - d) Análisis del comportamiento de la luz en superficies
3. ¿Quién es considerado el padre de la Fotogrametría?
  - a) Carl Pulfrich
  - b) Ansel Adams
  - c) Aimé Laussedat
  - d) Leonardo da Vinci
4. ¿Cuál fue el avance clave de la Primera Guerra Mundial en Fotogrametría?
  - a) Uso de sensores LiDAR
  - b) Aplicación de la Fotogrametría aérea para reconocimiento militar
  - c) Desarrollo de modelos tridimensionales digitales
  - d) Incorporación de imágenes multiespectrales
5. ¿Cuál es una de las aplicaciones de los drones en Fotogrametría?
  - a) Exclusivamente la captura de imágenes nocturnas
  - b) Creación de imágenes artísticas en alta resolución
  - c) Levantamientos topográficos y Cartografía
  - d) Simulación de vuelo en entornos urbanos
6. ¿Cuál fue el primer gran vuelo fotogramétrico en España?
  - a) Vuelo Cuenca del Segura (1929-1930)
  - b) Vuelo Nacional (1980-1986)
  - c) Vuelo de Costas (1989-1991)
  - d) Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA)
7. ¿Qué caracteriza a la Fotogrametría digital en comparación con la analógica?
  - a) Mayor dependencia de la fotografía en blanco y negro
  - b) Uso de software especializado para procesar imágenes
  - c) Menor precisión en los modelos tridimensionales
  - d) Exclusivo uso de aviones para capturar imágenes
8. ¿Cuál de estos proyectos en España se enfocó en capturar imágenes de la costa?
  - a) Vuelo Interministerial

- b) Vuelo Americano B
  - c) Vuelo Nacional
  - d) Vuelo de Costas
9. ¿Qué tipo de modelos se generan a partir de la Fotogrametría?
- a) Únicamente imágenes en 2D
  - b) Modelos digitales de elevación y mapas topográficos
  - c) Solo modelos en escala de grises
  - d) Exclusivamente imágenes térmicas
10. ¿Cuál de los siguientes avances marcó la Fotogrametría en la década de 2010?
- a) Uso de cámaras de película analógica
  - b) Introducción del radar de apertura sintética
  - c) Implementación de drones para capturas fotográficas
  - d) Desarrollo del primer modelo digital de terreno
11. ¿Cuál de los siguientes sensores se usa comúnmente en Fotogrametría?
- a) Sensores ópticos
  - b) Sensores de presión atmosférica
  - c) Sensores sísmicos
  - d) Sensores de temperatura ambiental
12. ¿Qué tecnología se incorporó al Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) en 2009?
- a) Uso de sensores infrarrojos
  - b) Incorporación de imágenes de radar
  - c) Cámaras de película en blanco y negro
  - d) Tecnología LiDAR
13. ¿Cuál fue el objetivo principal del Vuelo Americano A en España?
- a) Capturar imágenes para la industria del cine
  - b) Obtener información estratégica y cartográfica
  - c) Realizar un análisis de la flora y fauna
  - d) Estudiar la contaminación atmosférica
14. ¿Qué tipo de Fotogrametría permite medir profundidades mediante imágenes en estéreo?
- a) Fotogrametría infrarroja
  - b) Fotogrametría monocular
  - c) Fotogrametría estereoscópica
  - d) Fotogrametría con imágenes térmicas
15. ¿Cuál es una ventaja de la Fotogrametría con drones frente a métodos tradicionales?
- a) Reducción de costos y mayor rapidez en la captura de datos
  - b) Mayor necesidad de personal especializado en topografía

- c) Dependencia exclusiva de imágenes satelitales
  - d) Imposibilidad de obtener imágenes en 3D
16. ¿Qué software se usa comúnmente en el procesamiento de datos fotogramétricos?
- a) Photoshop y Lightroom
  - b) Autocad y Excel
  - c) Pix4D y Agisoft Metashape
  - d) Microsoft Word y PowerPoint
17. ¿Cuál de los siguientes conceptos se asocia a la Fotogrametría en ingeniería civil?
- a) Creación de efectos visuales en cine
  - b) Modelado 3D de infraestructuras y edificaciones
  - c) Simulación de entornos virtuales para videojuegos
  - d) Medición de temperatura en edificios
18. ¿En qué año se propuso por primera vez la Fotogrametría como método científico?
- a) 1849
  - b) 1914
  - c) 1967
  - d) 2004
19. ¿Qué diferencia a la Fotogrametría de la Teledetección?
- a) La Fotogrametría analiza únicamente imágenes satelitales
  - b) La Fotogrametría se basa en fotografías para obtener mediciones precisas
  - c) La Teledetección usa exclusivamente imágenes en blanco y negro
  - d) La Fotogrametría solo se emplea en estudios ambientales
20. ¿Cuál de estos proyectos fotogramétricos españoles se planificó hasta 2025?
- a) Vuelo Nacional
  - b) Plan Nacional de Teledetección
  - c) Proyecto PNOA LiDAR
  - d) Vuelo Quincenal

### **1.7. Soluciones a la autoevaluación**

1. ¿Qué es la Fotogrametría?
  - c) Una técnica para obtener información geométrica a partir de imágenes fotográficas
  
2. ¿Cuál de los siguientes es un objetivo principal de la Fotogrametría?
  - a) Medición precisa de distancias y dimensiones
  
3. ¿Quién es considerado el padre de la Fotogrametría?
  - c) Aimé Laussedat
  
4. ¿Cuál fue el avance clave de la Primera Guerra Mundial en Fotogrametría?
  - b) Aplicación de la Fotogrametría aérea para reconocimiento militar
  
5. ¿Cuál es una de las aplicaciones de los drones en Fotogrametría?
  - c) Levantamientos topográficos y Cartografía
  
6. ¿Cuál fue el primer gran vuelo fotogramétrico en España?
  - a) Vuelo Cuenca del Segura (1929-1930)
  
7. ¿Qué caracteriza a la Fotogrametría digital en comparación con la analógica?
  - b) Uso de software especializado para procesar imágenes
  
8. ¿Cuál de estos proyectos en España se enfocó en capturar imágenes de la costa?
  - d) Vuelo de Costas
  
9. ¿Qué tipo de modelos se generan a partir de la Fotogrametría?
  - b) Modelos digitales de elevación y mapas topográficos
  
10. ¿Cuál de los siguientes avances marcó la Fotogrametría en la década de 2010?
  - c) Implementación de drones para capturas fotográficas
  
11. ¿Cuál de los siguientes sensores se usa comúnmente en Fotogrametría?
  - a) Sensores ópticos
  
12. ¿Qué tecnología se incorporó al Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) en 2009?
  - d) Tecnología LiDAR