

# La constelación de satélites Pleiades-HR1 y 2: De la teledetección a la fotogrametría

T. Fernández de Sevilla

INFOTERRA SGSA. Paseo de la Castellana 149 1º, 28046 Madrid. España. T: +34 914490149; E-mail: tomas.sevilla@infoterra.es

## RESUMEN

A tan sólo unos meses del lanzamiento, se revisan y exponen las características técnicas de Pleiades incluyendo una breve descripción del segmento terreno. Se detalla las características del sensor, los modos de captura, el preprocesamiento de las imágenes y los tipos productos. De forma específica se expone y desarrolla el concepto de "Sensor Perfecto", especialmente diseñado para las aplicaciones fotogramétricas y captura de datos en 3D. El producto de ortoimágenes, siguiendo una metodología rigurosa, puede ser compatible con las especificaciones de los proyectos más exigentes, como es PNOA 50cm en España (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea).

**Palabras clave:** Pleiades, muy alta resolución, "Sensor Perfecto", imágenes estéreo y triestéreo, revisita diaria, agilidad, constelación.

## ABSTRACT

*Just a few months before of Pleiades' launch, the technical characteristics are reviewed and described including a brief description of the ground segment. The characteristics of the sensor, the capture modes, preprocessing of images and product types are detailed. Specifically set out and develop the concept of "Sensor Perfect", especially designed for photogrammetric applications and 3D data capture. Orthoimagery products following a rigorous methodology, can be compatible with the specifications of the most demanding projects, such as in Spain PNOA 50cm (National Air Orthophotography).*

**Keywords:** Pleiades, very high resolution, "Perfect Sensor", stereo and tri-stereo images, daily revisit, agility, constellation.

## INTRODUCCIÓN

La constelación de satélites Pleiades<sup>1</sup> de muy alta resolución óptica, es un sistema de observación de la tierra desarrollado por el CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) con un doble uso: Militar y civil. La puesta en órbita del primer satélite está prevista para finales de 2.011. El lanzamiento del satélite Pleiades 2 tendrá lugar entre 9 y 15 meses después, dando lugar a un sistema con revisita diaria.

Los productos de Pleiades para el sector civil serán distribuidos por Spot Image, que actualmente está integrada con Infoterra, formando la división de Astrium Servicios de Geoinformación. La nueva generación de satélites Spot 6 y 7 está en proceso de fabricación con una planificación de lanzamiento en 2012 y 2014, estarán configurados en sus órbitas para complementar la constelación de Pleiades. Se genera un nuevo concepto de constelación al intercalar satélites de distintas resoluciones, que tendrá una capacidad de dos visitas al día para cualquier lugar del mundo.

Una de las principales características de Pleiades, es su capacidad de tomar pares de imágenes estereoscópicas y triestereoscópicas para la captura de elementos en 3D y la generación de modelos digitales de elevación por técnicas fotogramétricas. Las imágenes de Pleiades tienen un tamaño de 20 km x 20 km, el mayor entre los satélites de su clase. Lo cual supone un diseño del plano focal para la generación de imágenes pancromáticas y multispectrales más complejo que los sistemas fotogramétricos aéreos de barrido lineal. Para facilitar la explotación fotogramétrica de las imágenes de Pleiades, se ha diseñado un sistema de preproceso denominado el "Sensor Perfecto", que permitirá simplificar todos los cálculos entre coordenadas imagen y terreno de forma rigurosa. También estarán disponibles los modelos de coeficientes racionales, ampliamente utilizados por otros sistemas cuando se desconoce el modelo riguroso geométrico.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE PLEIADES

### Segmento terreno

El segmento terreno está organizado con un ciclo clásico de misión-imagen, donde los Centros de Usuario Terreno reciben las peticiones de adquisición, optimizan los recursos del satélite y preparan el plan de trabajo, que es enviado al Centro de Usuario Terreno principal 3 veces al día. Después de la adquisición, se descargan los datos en las estaciones de recepción y la telemetría de las imágenes es inventariada y archivada automáticamente en cada centro de usuario (Baillarín 2.010). El CNES es el contratista principal del segmento terreno y desarrolla todos los componentes que son operados por diversas entidades: Astrium Servicios de Geoinformación (Spot Image – Infoterra) es el Centro de Usuario Terreno encargado de atender a los clientes civiles. Hay 2 Centros de Usuario Terreno para usuarios militares: El Centro de la Misión Militar de Francia, situado en Creil y el Centro de la Misión Militar Española situado en Torrejón de Ardoz. Esta arquitectura se completa con las estaciones de recepción de imágenes situadas en Kiruna y Toulouse (CNES 2.011).

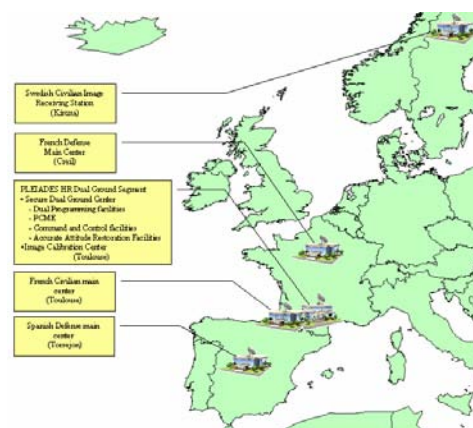


Figura 1 - Centros de Usuario y Estaciones de Recepción

<sup>1</sup> Pleiades: Nombre original en francés.

## Misión Pleiades HR

La misión Pleiades está diseñada para cubrir las necesidades de los usuarios del sector defensa y civil, con un alto nivel de proactividad, para responder adecuadamente en las aplicaciones de vigilancia y gestión de crisis. Sus principales aplicaciones son: Defensa, Cartografía, Vigilancia, Agricultura, Medioambiente, Geología e Ingeniería Civil.

Pleiades ofrece imágenes con una resolución nominal de captura de 50 cm en el nadir de la banda pancromática, y 2 m en las bandas multiespectrales (4 bandas en el visible e infrarrojo cercano). El ancho de barrido es de 20 km, con una órbita casi circular, heliosincrónica, a una altura de 694 km y con el nodo descendente a las 10h 30' hora local. Su ciclo de revisita orbital es de 26 días. La mejor precisión absoluta que se podrá conseguir sin puntos de apoyo de campo será de 4,5m CE90 (error circular al 90% de probabilidad) utilizando parámetros refinados de la órbita.

### Arquitectura del satélite

Los principales aspectos del diseño del satélite se centran en la calidad de las imágenes, la agilidad en las maniobras de apuntamiento y la exactitud en la localización de las imágenes. La calidad de las imágenes depende del tamaño del instrumento de observación y su material. La agilidad de los movimientos requiere un diseño muy compacto del cuerpo del satélite, con una estructura de 1.080 kg, donde el telescopio está integrado de forma especial y los movimientos se controlan con un conjunto de 4 giróscopos del tipo CMG (Control Momentum Gyros).

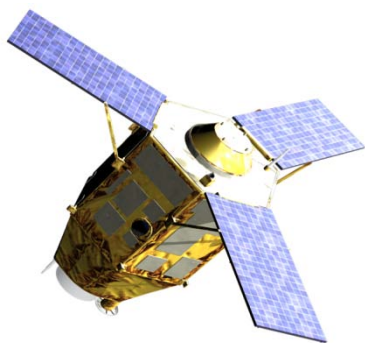


Figura 2- Cuerpo hexagonal del satélite Pleiades

El cuerpo del satélite está fabricado con forma hexagonal, tiene 3 paneles solares a 120° y 3 sistemas seguidores de estrellas (star-tracker) para optimizar la precisión en los parámetros de orientación.

### Tipo de instrumento

La solución óptica elegida es un telescopio de configuración Korsch, con un espejo principal de 650 mm de diámetro y una distancia focal de 12,9 m. Una de las principales características de Pleiades es su sistema único de imágenes, donde se capturan simultáneamente los datos pancromáticos y multiespectrales. En la captura de las imágenes pancromáticas se utiliza un sistema TDI (Time Delay Integration) para corregir el movimiento de avance de la plataforma durante la captura de las imágenes. Se han incluido 5 detectores, con 6.000 píxeles cada uno y un tamaño físico de 13 μm. (Lèbec 2.009).

La captura de la información multiespectral se realiza con 5 detectores CCD (Charged Coupled Device), de 1.500 píxeles cada uno y de 52 μm de tamaño físico por píxel. Cada juego de detectores consiste en 4 arrays lineales ensamblados, que formarán los 4 canales de color (azul, verde, rojo e infrarrojo cercano). El rango dinámico es de 12 bits por píxel, para mejorar la sensibilidad y evitar saturaciones.

Sensibilidad espectral de las bandas de Pleiades	
Banda pancromática	480-830 nm
Banda azul	430-550 nm
Banda verde	490-610 nm
Banda roja	600-720 nm
Banda NIR	750-950 nm

El plano focal está formado por 2 juegos de detectores simétricos. Para adquirir imágenes de 20 km de ancho, cada línea de vista se compone de arrays lineales consecutivo. Lo cual genera imágenes de 30.000 columnas en el canal pancromático, y 7.500 columnas en los canales multiespectrales.

### MODOS DE PROGRAMACIÓN

#### Frecuencia de revisita

Los requerimientos básicos de la misión Pleiades son ofrecer una cobertura mundial y poder acceder diariamente a cualquier punto de la Tierra. Estos requerimientos se cumplirán con 2 satélites en constelación, con un desfase de 180° en la posición de su órbita y con ángulos de visión hasta 45°. De esta forma, un objetivo a 40° de latitud geográfica, podría ser capturado con tan solo 30° de imagen oblicua.

Periodos de revisita en función del ángulo de vista		
Ángulo de inclinación	1 Satélite	2 Satélites
5°	26 días	13 días
20°	7 días	5 días
30°	5 días	4 días
45°	2 días	1 día

Para mejorar la capacidad de programación del satélite, hay 3 subidas de programación al día (lo usual son 2) desde las estaciones principales de Kiruna y Kerguelen, con Toulouse como complemento. Adicionalmente, existe la posibilidad del modo de comando directo, que permite a cualquier otra estación de recepción directa enviar optimizaciones de la programación hasta 20 minutos antes del paso sobre la estación, minimizando el periodo de tiempo entre el comando y la descarga.

#### Capacidad de adquisición

Dada la excepcional agilidad de Pleiades, es capaz de apuntar el telescopio 30° desde el nadir, en cualquier dirección de su traza (en roll o pitch) en menos de 25 segundos. Cada satélite es capaz de adquirir y entregar un equivalente de 800 imágenes de 500 km<sup>2</sup> al día. La constelación podrá capturar 1 millón de km<sup>2</sup> al día. Los patrones de captura son:

- Captura de objetivos: 20-30 imágenes por paso para variaciones angulares > 30°.
- Bloques de pasadas hasta 10.000 km<sup>2</sup> por paso. Es el modo más adecuado para grandes coberturas de ortoimágenes.

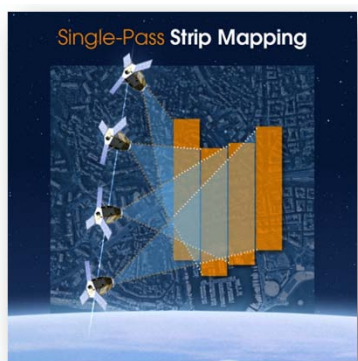


Figura 3 - Bloques de pasadas

- Captura de imágenes estéreo y triestéreo: Hasta 6.000 km<sup>2</sup> en modo estéreo, y 2.000 km<sup>2</sup> en modo triestéreo en un solo paso. Es ideal para aplicaciones cartográficas y generación de modelos de elevación. Se minimizan las zonas ocultas en áreas urbanas. Con la capacidad triestéreo se consiguen modelos de elevación más fiables y precisos. Las relaciones B/H pueden ser entre 0,15 – 0,8 para el caso estéreo, y entre 0,3-1 para el caso triestéreo (Lèbec 2.009).



Figura 4 - Captura triestéreo

- Capturas múltiples sobre un mismo objetivo. Hasta 12 imágenes tomadas durante 1' 53" (7 u 8 segundos entre adquisición). Este modo es ideal para seguimiento de objetivos móviles.

### PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y PRODUCTOS

Se han definido unos niveles clásicos de procesamiento correspondientes a datos brutos (L0) y datos corregidos radiométricamente (L1). Adicionalmente, se ha definido un producto llamado "Sensor Perfecto" y los productos de ortoimágenes y mosaicos.

Nivel	Radiometría	Geometría
L0	En bruto	Sensor
L1	Radiométrica y correcciones en el PAN	Sensor
Sensor Perfecto	Radiométrica, Fusión PAN+MS	Sensor Perfecto
Ortoimagen	Radiométrica, Fusión PAN+MS	Proyección Cartográfica
Ortomosaico	Radiométrica, Fusión PAN+MS	Proyección Cartográfica

### El producto "Sensor Perfecto"

La complejidad del plano focal de Pleiades-HR, hace que

los productos de nivel L1 sean difíciles de utilizar. Por ello, se propone un nuevo nivel de producto llamado "Nivel de Sensor", basado en el concepto de "Sensor Perfecto". El objetivo es generar una imagen como si hubiera sido capturada por un sensor de tipo barrido (push-broom), similar a Spot5 o las cámaras ADS40 de Leica-Geosystems. De manera que las imágenes puedan ser tratadas sin tener en cuenta la complejidad de la geometría del sensor real, y manteniendo al mismo tiempo su precisión original. El "Nivel de Sensor" está especialmente pensado para las operaciones y aplicaciones fotogramétricas de generación de modelos digitales de elevación y extracción de entidades 3D por técnicas estereoscópicas. Se entrega el modelo físico y el modelo de polinomios racionales, que contienen los parámetros de localización directa e inversa para poder ser utilizados con software comercial.

El producto "Sensor Perfecto" sólo tiene la corrección radiométrica inicial y las correcciones geométricas de distorsiones (dirección de vista y variaciones de alta frecuencia de actitud). No se le aplica ningún tipo de proyección. Se entregan las imágenes pancromáticas a la resolución nominal de 50 cm y las multiespectrales a la resolución de 2,0 m. También es posible entregar imágenes multiespectrales a la máxima resolución de 50 cm tras el proceso de fusión con las imágenes pancromáticas.

El concepto de "Sensor Perfecto" se define para abstraer la complejidad de la geometría del plano focal de las imágenes a nivel bruto, donde se tienen que considerar 25 productos diferentes con sus propios modelos geométricos. Lo cual proviene de la capa de detectores, compuesta por 5 arrays CCD curvos que realizan la función TDI para la captura de información pancromática, y otros 5 por cada una de las 4 bandas multiespectrales. (Delussy, 2.005)

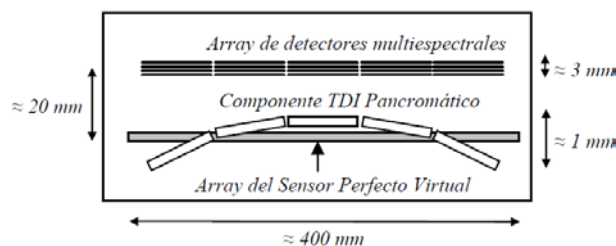


Figura 5- Plano focal y posición del array virtual del "Sensor Perfecto"

El marco de referencia geométrico de las imágenes del "Sensor Perfecto" emula la geometría de imagen de un sensor lineal de tipo "push-broom" y se sitúa muy próximo a los arrays TDI de la información pancromática. Además, el array ideal se supone que forma parte de un instrumento sin distorsiones ópticas y que va montado en una plataforma sin grandes perturbaciones en su trayectoria.

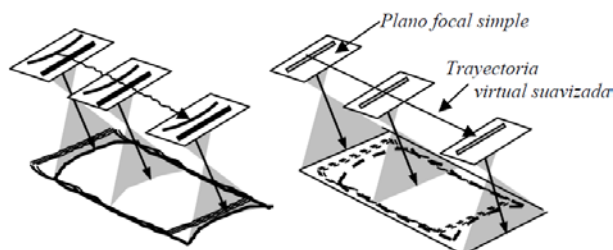
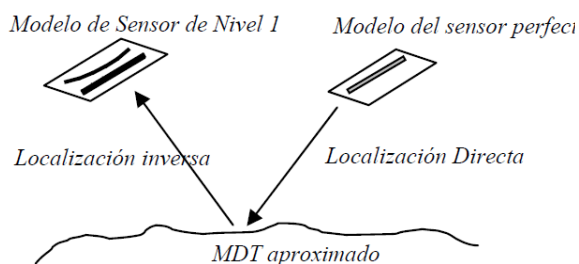


Figura 6- Geometría interna y externa del "Sensor Perfecto", antes y después de su conversión.

Las imágenes del array lineal ideal se generan a partir de imágenes en bruto L1 y el modelo de sensor riguroso. La utilización de un único Modelo de "Sensor Perfecto", común a todas las bandas (pancromática y multiespectrales), permite ofrecer productos corregidos: Las imágenes del "Sensor

Perfecto” pancromáticas y multiespectrales se podrán superponer sin desplazamientos en su posición (Delussy, 2.005).



**Figura 7** - Proceso de generación de la imagen del “Sensor Perfecto”.

La imagen en bruto se convierte a la geometría del Sensor Perfecto utilizando la información de un modelo de elevaciones aproximado. El proceso de localización directa se realiza utilizando un modelo riguroso del “Sensor Perfecto”. El impacto del proceso de generación de las imágenes del “Sensor Perfecto” supone sólo errores del orden del centímetro (Delussy, 2.005).

En el caso de productos de pares estereoscópicos de Pleiades, se entrega un conjunto de 2 imágenes apuntando el satélite hacia delante y hacia detrás. El triplete estereoscópico está formado por un conjunto de 3 imágenes adquiridas con la secuencia de vista hacia delante, nadiral y hacia detrás. Son procesados utilizando el nivel de “Sensor Perfecto”.

Con las imágenes estereoscópicas de Pleiades es posible plantearse la captura de cartografía vectorial 3D a escala 1:5.000 y Modelos Digitales de Elevación con resolución de 5 m x 5 m de paso de malla y 2 m de precisión estándar.

### El producto ortoimagen

Uno de los productos de referencia más requerido por los usuarios, es la imagen color de resolución submétrica que pueda combinarse con cartografía a escala 1:5.000 o inferiores y que tenga una determinada proyección cartográfica. En este producto los píxeles están proyectados ortogonalmente sobre la superficie del modelo digital de elevaciones. Si se utiliza un modelo digital del terreno a nivel del suelo, se tratara de una ortoimagen donde sólo los elementos a dicho nivel tendrán su posición exacta. Mientras que los elementos por encima de la superficie de referencia tendrán un desplazamiento proporcional a su altura y a su abatimiento (Fernández de Sevilla et al, 2008). Sin embargo, esta limitación de las ortofotos tradicionales, puede solventarse utilizando Modelos Digitales de Superficie, como los que se pueden obtener con la capacidad triestéreo de Pleiades para generar los productos true-ortho.

Para obtener la máxima precisión en la localización absoluta se recomienda utilizar puntos de apoyo de campo con precisión superior al tamaño de pixel y un modelo digital de elevaciones, con una resolución y precisión compatibles, como sería el caso de los modelos digitales del terreno de proyecto PNOA con 2 m de precisión estándar. De manera que la máxima precisión sería de 1 m, ya que posible obtener un error de posición del orden de la mitad del error altimétrico del modelo de elevaciones utilizado (Molina S., 2008).

### El producto ortomosaico

Los ortomosaicos están pensados para cubrir grandes áreas donde sea necesaria una cobertura continua de imágenes. Esto es posible gracias a la gran agilidad de la plataforma que puede apuntar y estabilizar en pocos segundos para adquirir pasadas adyacentes en un solo paso del satélite sobre la zona de interés. La superficie puede ser hasta 10.000 km<sup>2</sup> o incluso más, dependiendo de la longitud de las pasadas y de la relación B/H entre ellas.

Para conseguir unos resultados óptimos que permitan que el producto sea compatible con las especificaciones de los proyectos

más exigentes, como es el caso de PNOA50, se sigue el siguiente flujo de trabajo:

- Refinamiento mediante triangulación espacial de la posición a priori de las pasadas independientes. Mediante un proceso iterativo de correlación fotogramétrica, ayudado por la posición aproximada de un modelo digital de elevaciones de la zona, se consigue medir de forma automática los diversos puntos de paso homólogos entre pares de imágenes. Aplicando un método de triangulación por haces, se consigue ajustar los parámetros del modelo del “Sensor Perfecto” de cada una de las imágenes.
- Es posible mejorar y corregir el MDT existente aplicando una correlación densa en las zonas de solape de los pares de imágenes. Los resultados en bruto se filtran, y se eliminan las alturas con errores groseros, de manera que los resultados son más precisos y fiables. Finalmente se integran los nuevos datos en el modelo existente.
- Ajuste radiométrico entre las distintas escenas: A partir de las zonas de solape común, se obtienen los histogramas y se realiza un ajuste de los mismos, para ofrecer una radiometría común y unos colores naturales en función del tipo de paisaje.
- Generación de líneas de mosaico entre pasadas: En las zonas de solape siguiendo los algoritmos de mínimos cambios radiométricos y criterios de camino óptimo.
- Finalmente se realiza un control de calidad geométrico y radiométrico. Una vez aceptado, se procede a realizar la reproyección al sistema cartográfico elegido y el corte por fichero de hojas.

### Formato de los ficheros de imagen

El principal formato de imágenes será JPEG2000 (JP2). Este formato tiene compresión, que puede ser con o sin pérdida. El tipo de compresión se puede definir por el usuario. No obstante, la compresión con pérdida tiene un efecto casi imperceptible en la calidad de la imagen. El ratio de compresión también se puede configurar, el valor por defecto es 3bits/pixel/banda. El formato JP2 tiene teselas (tiles), que permiten una visualización más rápida y operaciones de búsqueda de píxeles vecinos también más ágiles. El valor por defecto para las teselas es de 4.096 x 4.096 píxeles, aunque se pueden requerir otras combinaciones. La información se puede representar en 8 o 16 bits dentro del formato JP2.

Los parámetros de georreferenciación de las imágenes y otros metadatos se incluyen en la cabecera del fichero utilizando etiquetas GML (Geographic Markup Language), tanto para las ortoimágenes, los mosaicos o el producto “Sensor Perfecto”.

Una imagen pancromática, de 50 cm de resolución, de un tamaño de 20 km x 20 km (40.000x40.000 píxeles) en formato JP2, tendrá un tamaño en disco de 1.472 MBytes para 8 bits con compresión sin pérdida. Mientras que incluyendo compresión con pérdida su tamaño será de 736 MBytes. Para imágenes PAN+MS de 3 bandas los tamaños serían 4.415,99 MBytes sin pérdida y 2.207,99 con pérdida. Para 4 bandas el tamaño es 5.887,99 MBytes sin pérdida y 2.943,99 MBytes utilizando compresión con pérdida.

### CONCLUSIONES

La misión Pleiades tiene un doble uso civil y militar, que permite satisfacer las necesidades de cada sector y recuperar la inversión del programa. Su segmento terreno está diseñado para ofrecer una alta disponibilidad gracias a la redundancia de sus centros.

El diseño del sistema formador de imágenes y la arquitectura de Pleiades ofrecen una solución equilibrada entre



resolución submétrica y la mayor cobertura superficial por escena (20 km x 20 km) entre los satélites de su clase. Junto a una capacidad de revisita diaria cuando esté la constelación completa y una alta precisión sin puntos de apoyo en campo. Es reseñable su agilidad en las maniobras, permitiendo capturar objetivos dispersos en un solo paso y la posibilidad de tomar imágenes estéreo y triestéreo.

Gracias al concepto del “Sensor Perfecto”, el manejo y procesamiento de imágenes Pleiades se simplifica, facilitando su uso en aplicaciones fotogramétricas y manteniendo a su vez la precisión original de los datos.

La capacidad estereoscópica permite obtener cartografía 3D a gran escala y generar modelos de elevación de alta densidad y precisión, que pueden aplicarse a la generación de cartografía básica a escala 1:5.000 o en proyectos más específicos de ingeniería civil en cualquier parte de la Tierra. Adicionalmente, siguiendo procedimientos rigurosos de orientación y generación de ortoimágenes, es posible abarcar grandes extensiones del territorio y conseguir productos compatibles con las especificaciones más exigentes, como pueden ser las del proyecto PNOA 50cm.

Pleiades no sólo es un sistema para la generación de píxeles y coberturas ráster, sino que sus datos son capaces de satisfacer la necesidad de información tridimensional.

## **BIBLIOGRAFÍA**

BAILLARIN, S. et al., 2010. *Pleiades-HR imaging systems: Ground processing and products performances, few months before launch*. ISPRS Commission VI, WG VI/4.

CNES, 2.011. <http://smc.cnes.fr/PLEIADES/>

DELUSSY, F., KUBIK, F., GRESLOU, D., PASCAL, V., GIGORD, P., CANTOU, J. 2.005. *Pleiades-HR image systems products and quality. Pleiades-HR image systems products and geometry accuracy*. CNES.

LEBÈC, L. 2.009. *Qualité Images PLEIADES-HR*. CNES.

MOLINA, S. 2008. *Jornadas Técnicas del Plan Nacional de Ortofotografía*. Departamento de fotogrametría de TRAGSATEC.

VALBUENA R. y FERNÁNDEZ DE SEVILLA, T. 2008. *Lidar and true-orthorectification of infrared aerial imagery of high Pinus sylvestris forest in mountainous relief*. SILVILASER 2.008 Edimburgo, UK.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor quiere agradecer a Charlotte Gabriel-Robez, jefa de producto de Pleiades en Astrium GEO-Information Services, la documentación facilitada.