

Alamus, R.; Tardà, A.; Pipia, L.; Perez, F. Explotación de datos hiperespectrales aeroportados como sensores de oportunidad: captura, procesado y aplicaciones

# Explotación de datos hiperespectrales aeroportados como sensores de oportunidad: captura, procesado y aplicaciones

Alamus, Ramón <sup>1</sup> Tardà, Anna <sup>1</sup> Pipia, Luca <sup>1</sup> Perez, Fernando <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, España

ORCID: Alamus 0000-0003-0292-5640 Tardà 0000-0003-2360-6542 Pipia 0000-0003-0759-4422

Perez 0000-0003-2913-403X

Correspondencia: [ramon.alamus@icgc.cat](mailto:ramon.alamus@icgc.cat) [anna.tarda@icgc.cat](mailto:anna.tarda@icgc.cat) [luca.pipia@icgc.cat](mailto:luca.pipia@icgc.cat) [fernando.perez@icgc.cat](mailto:fernando.perez@icgc.cat)

## RESUMEN

Las imágenes hiperespectrales aerotransportadas suelen estar infrautilizadas debido a la complejidad de su procesado y a los costes de adquisición. El Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) ha implementado la captura de datos hiperespectrales VNIR (Visible and Near Infra-Red) y LWIR (Long Wave Infra-Red) como sensores de oportunidad en vuelos LiDAR y fotogramétricos. Desde 2022 se han obtenido amplias coberturas en Catalunya con distintas resoluciones y múltiples revisitas. Estos datos han demostrado un alto potencial en aplicaciones urbanas, forestales y ambientales, y constituyen una base clave para futuras misiones hiperespectrales satelitales como CHIME.



**Palabras clave:** hiperespectral, observación de la tierra, aeroportado, VNIR, LWIR

Fecha de recepción: 17 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 17 febrero 2026

# Explotación de datos hiperespectrales aeroportados como sensores de oportunidad: captura, procesado y aplicaciones

Alamus, Ramón <sup>(1)</sup>, Tardà, Anna <sup>(1)</sup>, Pipia, Luca <sup>(1)</sup>, Perez, Fernando <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, España.

 0000-0003-0292-5640, ramon.alamus@icgc.cat ;  0000-0003-2360-6542, anna.tarda@icgc.cat.

 0000-0003-0759-4422, luca.pipia@icgc.cat ;  0000-0003-2913-403X, fernando.perez@icgc.cat.

**Resumen:** Las imágenes hiperespectrales aeroportadas suelen estar infrutilizadas debido a la complejidad de su procesado y a los costes de adquisición. El *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* (ICGC) ha implementado la captura de datos hiperespectrales VNIR (*Visible and Near Infra-Red*) y LWIR (*Long Wave Infra-Red*) como sensores de oportunidad en vuelos LiDAR y fotogramétricos. Desde 2022 se han obtenido amplias coberturas en Catalunya con distintas resoluciones y múltiples visitas. Estos datos han demostrado un alto potencial en aplicaciones urbanas, forestales y ambientales, y constituyen una base clave para futuras misiones hiperespectrales satelitales como CHIME.

**Palabras clave:** hiperespectral, observación de la tierra, aeroportado, VNIR, LWIR

## ***Exploitation of airborne hyperspectral data as opportunity sensors: capture, processing and applications***

**Abstract:** Airborne hyperspectral imagery is often underutilized due to the complexity of its processing and acquisition costs. The Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) has implemented the capture of VNIR (Visible and Near Infra-Red) and LWIR (Long Wave Infra-Red) hyperspectral data as opportunity sensors on LiDAR and photogrammetric flights. Since 2022, extensive coverage has been acquired across Catalonia at varying resolutions and with multiple revisits. This data has demonstrated strong potential for urban, forestry, and environmental applications, and constitute a key foundation for future satellite hyperspectral missions such as CHIME.

**Keywords:** hyperspectral, Earth observation, airborne, VNIR, LWIR

## 1. INTRODUCCIÓN

Las capacidades de las imágenes hiperespectrales aeroportadas a menudo no son utilizadas en todo su potencial, ya sea por la complejidad en el tratamiento de los datos, la falta de viabilidad económica en la captura y procesado o la disponibilidad de equipos y aeronaves, estas últimas ocupadas en proyectos fotogramétricos de más prioridad.

El *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* (ICGC) dispone de varios sensores hiperespectrales aeroportados; dos AISA Eagle II en el rango espectral VNIR (Visible and Near Infra-Red) y un TASI (Thermal Airborne Spectrographic Imager) en LWIR (Long Wave Infra-Red) (Fig. 1.). El Instituto acumula una larga trayectoria de operaciones con sensores hiperespectrales aeroportados en diversas aplicaciones (Pipia *et al.*, 2010; Tardà *et al.* 2011; Pérez-Aragüés *et al.* 2013; Nadal *et al.* 2017; Alamús *et al.*, 2017, 2018).

El AISA Eagle II es un sensor hiperespectral VNIR de barrido (*pushbroom*) con un campo de visión (FOV) de 38°, fabricado por SPECIM (SPECIM, s.f.). Adquiere

hasta 1024 píxeles en la dimensión espacial y puede configurarse para adquirir un máximo de 260 bandas simultáneas en el dominio espectral (rango espectral de 400–1000 nm).

El TASI de ITRES© (Itres© Company, s.f.) es también un sensor hiperespectral de barrido con un FOV de 40° que opera en la región espectral del infrarrojo térmico (TIR). Adquiere 600 píxeles espaciales y, nominalmente, 32 bandas espectrales para proporcionar una cobertura continua en el rango de longitudes de onda 8–11,5 µm.

Las principales características de estos instrumentos están recogidas en la Tabla 1.

Estos instrumentos se han instalado, en diferentes configuraciones, en los dos aviones de la flota del ICGC y se han operado como sensores de oportunidad. Por oportunidad, entenderemos que, en el marco de otros proyectos, los sensores hiperespectrales son operados simultáneamente a los sensores prioritarios utilizando las ventanas fotogramétricas del avión que quedan libres.

**Tabla 1.** Principales características de los sensores hiperespectrales del ICGC.

	AISA	TASI
FOV[°]	38	40
No. píxeles en FOV	512 / 1024	600
Rango espectral [µm]	0,4-1,0	8,0-11,5
No. bandas	Conf. 260	32
GSD [m] @ 2500 m	1,7	3,0

A modo de ejemplo, en vuelos de cobertura LiDAR se han operado un sensor AISA junto con el TASI, o en vuelos de cobertura de ortofotografía un sensor AISA.



**Figura 1.** Imagen de los sensores hiperespectrales AISA y TASI, instalados para su operativa.

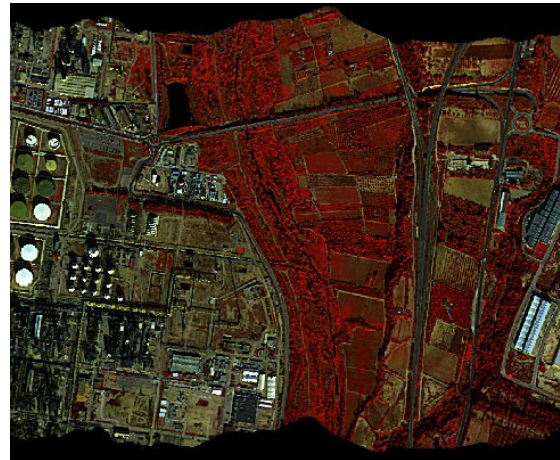
Así se obtienen coberturas hiperespectrales, reduciendo los costes de vuelo, pero en un entorno condicionado a la configuración de proyecto del sensor principal (época de captura u orientación de las pasadas, por ejemplo). Este hecho a veces implica que el vuelo no ofrezca condiciones óptimas para las configuraciones hiperespectrales. A modo de ejemplo, parámetros como:

- *el tamaño de píxel o GSD* (Ground Sampling Distance), queda determinado por la altura de vuelo requerida por el sensor principal
- *la orientación de las pasadas*, típicamente de este a oeste en vuelos fotogramétricos no es siempre la mejor para configuraciones de sensor *pushbroom*, donde se prefiere volar con el Sol en la cola
- *la elevación solar*. Los vuelos LiDAR, al ser éste un sensor activo, se pueden ejecutar en rangos temporales que incluyan elevaciones solares por debajo de 30°.
- *la época de vuelo*. Los vuelos de cobertura suelen realizarse en un marco temporal relativamente amplio, mayor del deseado para, por ejemplo, estudiar procesos fenológicos concretos.

Aun así, estos vuelos de oportunidad permiten capturar coberturas amplias del terreno de muy alta resolución espectral que raramente se llevarían a cabo como un proyecto específico.

## 2. REQUERIMIENTOS Y CAPTURA DE DATOS

Los datos hiperespectrales captados serán procesados y archivados para ulterior proceso hasta niveles L1C y L2A. El nivel L1C, ortoimagen de radiancias captada por el sensor, corresponde a la corrección radiométrica, a partir de la calibración de laboratorio, y corrección geométrica, la cual se ha realizado a partir de un DSM y teniendo en cuenta la detección de oclusiones, con objeto de mantener la mayor fidelidad geométrica en cubiertas en altura (tejados) y copas de árboles. El nivel L2A corresponde al mismo producto más la corrección atmosférica añadida y la magnitud calculada es la reflectancia o emisividad, según el caso. En los sensores VNIR, se realiza una estimación *in-scene* de aerosoles seleccionando píxeles de vegetación densa y del contenido de vapor de agua columnar aplicando el modelo ADPA (Schläpfer, 1998), a partir de una *look-up table* atmosférica generada mediante simulaciones atmosféricas de ModTran5.0 (Berk *et al.*, 2005). En el caso LWIR, se aplica el algoritmo TES (Temperature and Emissivity Separation) (Gillespie A.R, 1998) a partir de perfiles atmosféricos NCEP (National Centers for Environmental Prediction), teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas superficiales extraídas de la red de estaciones meteorológicas XEMA (Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques) disponibles. Las pasadas así procesadas se almacenan en formato Geotiff junto con sus metadatos auxiliares en una base de datos.



**Figura 2.** Imagen AISA, 1,5 m, 260 bandas, nivel de proceso L2A, previa al mosaico general de Cataluña (Provincia de Tarragona).

Hasta la fecha se han captado más de 1500 de pasadas (alrededor de 3000 imágenes entre productos L1C i L2A), principalmente a resoluciones espaciales de 1,5 m y 3,5 m, cubriendo gran parte de Cataluña desde 2022 hasta el presente (Fig. 3.). Algunas zonas han sido revisitadas en diversas ocasiones, y también se han captado zonas de menor extensión a diferentes resoluciones para proyectos específicos.



**Figura 3.** Recubrimiento actual de imágenes hiperespectrales (AISA y TASI) desde 2022 a la actualidad en Cataluña.

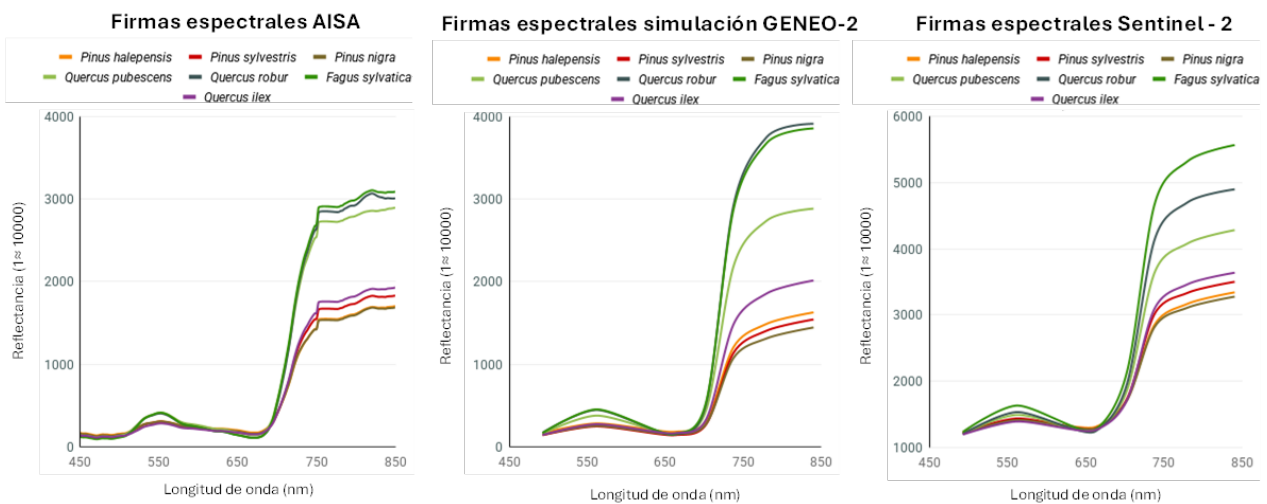
En el caso VNIR se dispone de datos con 260 bandas espectrales en el rango de 400 a 1000 nm, tanto en resoluciones de 1,5 como 3,5 m todos con niveles de

procesado L1C, en radiancias, y L2A, en reflectancias (Fig. 2.).

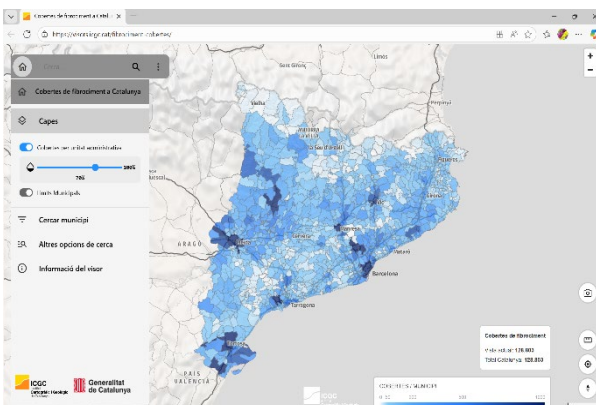
En LWIR se dispone de datos con 32 bandas espectrales en el rango de 8,0 a 11,5  $\mu\text{m}$  en resoluciones de 1,5 m. En este caso los productos L1C continúan siendo radiancias mientras que el producto L2A contiene emisividades y temperatura superficial.

### 3. APLICACIONES Y VALOR AÑADIDO

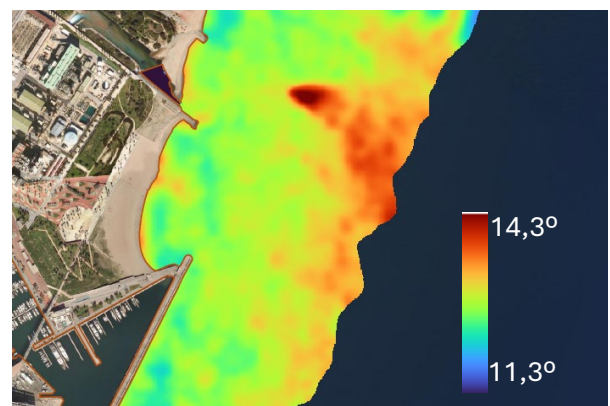
Los usos de estos datos generados desde el ICGC han sido múltiples. Los datos hiperespectrales VNIR y LWIR (reflectancias y emisividades respectivamente) captados simultáneamente a los datos LiDAR se han empleado para inventariar cubiertas en altura candidatas a contener fibrocementos que pueden contener amianto. La Figura 5 muestra el visor de cubiertas de fibrocementos en Cataluña elaborado partiendo de los datos hiperespectrales, suplementados con otros cuando no ha sido factible disponer de los mismos. En una muestra de control, del 8,5% de Cataluña, heterogénea y aleatoria se ha realizado una supervisión por fotointerpretación mostrando que el nivel de acierto es del 89.5%.



**Figura 4.** Firmas espectrales de las masas forestales según sensores: hiperespectral AISA, simulaciones futura misión GENE0-2 y Sentinel-2.



**Figura 5.** Imagen del portal de consulta de cubiertas en altura de fibrocimento en Cataluña (<https://visors.icgc.cat/fibrociment-cobertes/>).



**Figura 6.** Anomalia tèrmica en el emisario del Besos, Barcelona.

Cabe añadir también que los datos hiperespectrales VNIR han sido muy adecuados para el análisis en la mejora de la identificación de masas forestales con bandas *Red-Edge* de alta resolución simulando datos del futuro sistema satelital GENE0-02 (estrategia Cataluña Espacio 2030), permitiendo analizar sus potenciales prestaciones y en casos de uso elaborados por el ICGC (Fig. 4.).

En la actualidad, un trabajo en curso analiza la detección de surgencias de agua dulce en zonas de costa a partir de imágenes térmicas (Fig. 6.)

Los datos hiperespectrales VNIR y LWIR aportan un valor añadido clave frente a los multiespectrales y bolométricos porque proporcionan firmas espectrales continuas y de alta resolución que permiten identificar materiales y estados biofísicos con precisión química, separar correctamente temperatura y emisividad en el rango térmico, caracterizar minerales y vegetación de forma específica, y obtener parámetros físicos cuantitativos con menor incertidumbre; en cambio, los multiespectrales ofrecen solo información general con bandas anchas y los bolométricos integran la radiación sin capacidad de distinguir composición ni propiedades superficiales.

#### 4. VALORACIONES FINALES

En el contexto actual y futuro, los datos hiperespectrales abren nuevas oportunidades a las aplicaciones de observación de la Tierra para estudiar con mayor precisión el comportamiento de los materiales en las zonas urbanas, las diferencias espectrales de la vegetación en los bosques y en la agricultura, como se ha venido demostrando en los trabajos realizados en el ICGC.

Hay que destacar que estos estudios hiperespectrales con sensores aerotransportados sirven y servirán de experiencia acumulada (generación de modelos de transformación de los datos en variables biofísicas o índices o selección de bandas espectrales, entre otras) para los futuros proyectos hiperespectrales satelitales como la misión CHIME de la Agencia Espacial Europea para los años 2028-2030.

Por último, el acceso a los datos hiperespectrales presentados en esta contribución será gestionado por el ICGC bajo petición de los interesados.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

A la estrategia Cataluña Espacio 2030, por darnos la posibilidad de acceder a las prestaciones radiométricas y geométricas de la carga útil principal y poder simular así imágenes GENE0\_02 con el sensor AISA.

Al Máster en Geoinformación de la Universidad Autónoma de Barcelona, por el proyecto de final de máster conjunto que permitió estudiar y comparar las masas forestales en diferentes configuraciones de sensores espectrales, y el proyecto de detección de surgencias.

#### 6. REFERENCIAS

- Alamús, R., Barà, S., Corbers, J., Escollet, J., Palà, V., Pipia, L., Tardà, A. (2017): Ground-based hyperspectral analysis of the urban nightscape. *ISPRS. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, 16-26.
- Alamús, R., Pérez, F., Pipia, L., and Corbera, J. (2018): Urban sustainable ecosystems assessment through airborne earth observation: lessons learned, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-1, 5–10, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-1-5-2018>.
- Berk, A. *et al.* (2005). MODTRAN 5: A reformulated Atmospheric Band Model with Auxiliary Species and Practical Multiple Scattering Options: Update, *Proceedings of the SPIE*, Vol. 5806, pp.662-667.
- Chávez, P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24, 459–479.
- Schläpfer, D., Borel, C. C., Keller, J., & Itten, K. I. (1998). Atmospheric precorrected differential absorption technique to retrieve columnar water vapor. *Remote Sensing of Environment*, 65(3), 353-366.
- Gillespie, A. R., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothorn, J. S., Hook, S. J., & Kahle, A. B. (1998) "A Temperature and Emissivity Separation Algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)" *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4), 1113–1126
- Itres© Company: <https://www.itres.com/>
- Nadal, A., Alamús, R., Pipia, L., Ruiz, A., Corbera, J., Cuerva, E., Rieradevall, J., Josa, A. (2017): Urban planning and agricultura: Methodology for assessing the rooftop greenhouse potential of non-residential areas using airborne sensors. *Science of the Total Environment*, vol. 601-602, 493-507. Ed. Elsevier.
- Pérez-Aragüés, F., Tardà, A., Alamús, R., Moré, G., Cea, C., Palà, V., Corbera, J., Pons, X. (2013): Intercalibración de sensores AISA y CASI. XV Congreso de la AET. Madrid.
- Pipia, L., Pérez, F., Tardà, A., Martínez, L., Palà, V., Arbiol, R. (2010): Thermal Airborne Spectrographic Imager for Temperature and Emissivity Retrieval. 3rd International Symposium on Recent Advances in Quantitative Remote Sensing (RAQRS III). Torrent.
- SPECIM: <https://www.specim.com/>
- Tardà, A., Palà, P., Arbiol, R., Pérez, F., Viñas, O., Pipia, L., Martínez, L. (2011): Detección de la iluminación exterior urbana nocturna con el sensor aerotransportado CASI 550. 9a Setmana Geomàtica Internacional. Barcelona.
- Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (XEMA): <https://www.meteo.cat/observacions/xema/>