

Gutiérrez de la Cámara Ara, Ó.; Muñoz Sánchez, F.; Muela Pillajo, J.; Moncholi Estornell, A.; Gómez Giraldez, P.; Gómez del Río, M.; Peón García, J.; Jiménez Michavila, M.; Díaz-Delgado, R.; Cendrero-Mateo, M.; Campos Acosta, J.  
Intercomparación espectral, radiométrica y de ángulo sólido “indoor” de los espectrorradiómetros FloX en el proyecto SpaFLEX

# Intercomparación espectral, radiométrica y de ángulo sólido “indoor” de los espectrorradiómetros FloX en el proyecto SpaFLEX

Gutiérrez de la Cámara Ara, Óscar<sup>1</sup> Muñoz Sánchez, Felix<sup>1</sup> Muela Pillajo, Jimmy A.<sup>1</sup> Moncholi Estornell, Adrián<sup>2</sup> Gómez Giraldez, Pedro<sup>3</sup> Gómez del Río, Miguel<sup>4</sup> Peón García, Juan José<sup>1</sup> Jiménez Michavila, Marcos<sup>1</sup> Díaz-Delgado, Ricardo<sup>3</sup> Cendrero-Mateo, M<sup>a</sup> Pilar<sup>2</sup> Campos Acosta, Joaquín<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

<sup>2</sup> Universidad de Valencia

<sup>3</sup> Estación Biológica de Doñana

<sup>4</sup> Instituto de Óptica

ORCID: Gutiérrez de la Cámara Ara 0000-0003-2555-9292 Muñoz Sánchez 0000-0002-6421-8725 Muela Pillajo 0009-0002-9524-5483 Moncholi Estornell 0000-0002-8832-2594 Gómez Giraldez 0000-0002-1247-7557 Gómez del Río 0000-0003-1415-2307 Peón García 0000-0001-7551-2236 Jiménez Michavila 0000-0002-6852-2732 Díaz-Delgado 0000-0002-0460-4616 Cendrero-Mateo 0000-0001-5887-7890 Campos Acosta 0000-0001-6527-1440

Correspondencia: [gutierrezcao@inta.es](mailto:gutierrezcao@inta.es) [munozs@inta.es](mailto:munozs@inta.es) [jmuepil@inta.es](mailto:jmuepil@inta.es) [adrian.moncholi@uv.es](mailto:adrian.moncholi@uv.es) [pedro.gomez@ebd.csic.es](mailto:pedro.gomez@ebd.csic.es) [m.g.delrio@csic.es](mailto:m.g.delrio@csic.es) [jpeogar@inta.es](mailto:jpeogar@inta.es) [jimenezmm@inta.es](mailto:jimenezmm@inta.es) [rdiaz@ebd.csic.es](mailto:rdiaz@ebd.csic.es) [m.pilar.cendrero@uv.es](mailto:m.pilar.cendrero@uv.es) [joaquin.campos@csic.es](mailto:joaquin.campos@csic.es)

## RESUMEN

La correcta caracterización espectral y radiométrica de los espectrorradiómetros de campo es fundamental para asegurar la calidad y la trazabilidad de las mediciones utilizadas en las actividades de calibración y validación (Cal/Val) de la misión FLEX-S3. En el proyecto SpaFLEX se han realizado diversas intercomparaciones instrumentales, entre ellas ensayos en condiciones de laboratorio (“indoor”) con dos espectrorradiómetros FloX (JB-022 y JB-060), ampliamente utilizados para la observación de la fluorescencia inducida por el Sol en vegetación. El objetivo principal fue evaluar su comportamiento bajo condiciones controladas, identificar posibles diferencias entre instrumentos y comprobar su coherencia respecto a medidas de referencia trazables. La evaluación espectral se llevó a cabo mediante lámparas de descarga en gas a baja presión, que permitieron analizar la exactitud en longitud de onda y detectar posibles desplazamientos en la respuesta espectral. Para la parte radiométrica se empleó una esfera integradora de 1 metro de diámetro como fuente homogénea de radiancia e irradiancia, previamente calibrada con un espectrorradiómetro ASD FieldSpec® 3 con trazabilidad a los patrones nacionales, garantizando así la validez de las mediciones obtenidas. Los resultados permitieron identificar diferencias entre los instrumentos, relacionadas tanto con su respuesta espectral y radiométrica como con aspectos geométricos vinculados al ángulo sólido irradiado. Estas discrepancias son clave para determinar la adecuación de la calibración vigente y, en caso necesario, aplicar acciones correctoras antes de las campañas de campo. La realización de intercomparaciones periódicas refuerza la confianza en los datos obtenidos y contribuye a la armonización de las mediciones de fluorescencia y variables radiométricas en el Plan Español de Cal/Val de FLEX-S3.




**Palabras clave:** *Intercomparación radiométrica, Caracterización espectral, Trazabilidad metrológica*

Fecha de recepción: 17 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 18 febrero 2026

# Intercomparación espectral, radiométrica y de ángulo sólido “indoor” de los espectrorradiómetros FloX en el proyecto SpaFLEX

Gutiérrez de la Cámara Ara, Óscar <sup>(1)</sup>, Muñoz Sánchez, Felix <sup>(1)</sup>, Muela Pillajo, Jimmy A. <sup>(1)</sup>, Moncholi Estornell, Adrián <sup>(2)</sup>, Gómez Giraldez, Pedro <sup>(3)</sup>, Gómez del Rio, Miguel <sup>(4)</sup>, Peón Garcia, Juan José <sup>(1)</sup>, Jiménez Michavila, Marcos <sup>(1)</sup>, Díaz-Delgado, Ricardo <sup>(3)</sup>, Cendrero-Mateo, M<sup>a</sup> Pilar <sup>(2)</sup>, Campos Acosta, Joaquín <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.

 0000-0003-2555-9292, gutierrezcao@inta.es ;  0000-0002-6421-8725, munozsf@inta.es  
 0009-0002-9524-5483, jmuepil@inta.es



<sup>(7)</sup> Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.

 0000-0001-7551-2236, jpeogar@inta.es ;  0000-0002-6852-2732, jimenezmm@inta.es

<sup>(2)</sup> Universidad de Valencia

 0000-0002-8832-2594, adrian.moncholi@uv.es ;  0000-0001-5887-7890, m.pilar.cendrero@uv.es

<sup>(3)</sup> Estación Biológica de Doñana

 0000-0002-1247-7557, pedro.gomez@ebd.csic.es ;  0000-0002-0460-4616, rdiaz@ebd.csic.es

<sup>(4)</sup> Instituto de Óptica

 0000-0003-1415-2307, m.g.delrio@csic.es ;  0000-0001-6527-1440, joaquin.campos@csic.es

**Resumen:** La correcta caracterización espectral y radiométrica de los espectrorradiómetros de campo es fundamental para asegurar la calidad y la trazabilidad de las mediciones utilizadas en las actividades de calibración y validación (Cal/Val) de la misión FLEX-S3. En el proyecto SpaFLEX se han realizado diversas intercomparaciones instrumentales, entre ellas ensayos en condiciones de laboratorio (“indoor”) con dos espectrorradiómetros FloX (JB-022 y JB-060), ampliamente utilizados para la observación de la fluorescencia inducida por el Sol en vegetación. El objetivo principal fue evaluar su comportamiento bajo condiciones controladas, identificar posibles diferencias entre instrumentos y comprobar su coherencia respecto a medidas de referencia trazables. La evaluación espectral se llevó a cabo mediante lámparas de descarga en gas a baja presión, que permitieron analizar la exactitud en longitud de onda y detectar posibles desplazamientos en la respuesta espectral. Para la parte radiométrica se empleó una esfera integradora de 1 metro de diámetro como fuente homogénea de radiancia e irradiancia, previamente calibrada con un espectrorradiómetro ASD FieldSpec® 3 con trazabilidad a los patrones nacionales, garantizando así la validez de las mediciones obtenidas. Los resultados permitieron identificar diferencias entre los instrumentos, relacionadas tanto con su respuesta espectral y radiométrica como con aspectos geométricos vinculados al ángulo sólido irradiado. Estas discrepancias son clave para determinar la adecuación de la calibración vigente y, en caso necesario, aplicar acciones correctoras antes de las campañas de campo. La realización de intercomparaciones periódicas refuerza la confianza en los datos obtenidos y contribuye a la armonización de las mediciones de fluorescencia y variables radiométricas en el Plan Español de Cal/Val de FLEX-S3.

**Palabras clave:** Intercomparación radiométrica, caracterización espectral, trazabilidad metrológica

## ***Indoor Spectral, Radiometric, and Solid Angle Intercomparison of FloX Spectroradiometers within the SpaFLEX Project***

**Abstract:** Accurate spectral and radiometric characterization of field spectroradiometers is essential to ensure the quality and traceability of the measurements used in the calibration and validation (Cal/Val) activities of the FLEX-S3 mission. Within the SpaFLEX project, several instrumental intercomparison activities have been conducted, including indoor laboratory tests with two FloX spectroradiometers (JB-022 and JB-060), widely used for observing Sun-induced fluorescence in vegetation. The main objective was to evaluate their performance under

controlled conditions, identify potential differences between instruments, and assess their coherence with traceable reference measurements. Spectral evaluation was performed using low pressure gas-discharge lamps, which enabled the analysis of wavelength accuracy and the detection of possible shifts in the spectral response. For the radiometric assessment, a 1-meter integrating sphere was used as a uniform source of radiance and irradiance. This sphere had been previously calibrated with an ASD FieldSpec® 3 spectroradiometer traceable to national radiometric standards, ensuring the validity of the measurements obtained. The results allowed us to identify differences between the instruments, related to their spectral and radiometric responses, as well as to geometric factors associated with the irradiated solid angle. These discrepancies are key to determining whether the current calibration is adequate and, if necessary, applying corrective actions before field campaigns. Conducting periodic intercomparisons strengthens confidence in the measurements and contributes to the harmonization of fluorescence and radiometric data within of the Spanish Cal/Val Plan for FLEX-S3.

**Keywords:** Radiometric intercomparison, spectral characterization, metrological traceability

## 1. INTRODUCCIÓN

La medición de la fluorescencia inducida por el sol (SIF) se ha consolidado como una herramienta clave para evaluar la actividad fotosintética y el estado fisiológico de la vegetación mediante técnicas de teledetección pasiva. Su relevancia científica se fundamenta en la capacidad de vincular esta magnitud con la monitorización de la dinámica de la biosfera, incluyendo los procesos de intercambio de carbono, lo que abre oportunidades para mejorar la comprensión del cambio climático a través de la observación de la Tierra.

En este contexto, la comunidad científica y la industria están desarrollando instrumentación específica que requiere de muy alta resolución espectral, elevada sensibilidad y baja incertidumbre. Ejemplos representativos de estos sensores son el *Fluorescence Box* (FloX), el *Piccolo Doppio* y el *Chlorophyll Fluorescence Sensor* (cFL) de Headwall Photonics, frecuentemente utilizados en campañas científicas, así como el sistema aeroportado HyPlant (*Hyperspectral Plant Imaging System*), desarrollado como prototipo precursor de la misión FLEX (*Fluorescence Explorer*). Esta misión tiene como finalidad medir la fluorescencia desde el espacio.

La correcta caracterización espectral y radiométrica de esta instrumentación es fundamental para garantizar la calidad y la trazabilidad de las mediciones utilizadas en actividades de calibración y validación (Cal/Val). Existen marcos normativos consolidados, en particular para laboratorios de ensayo y calibración como la ISO/IEC 17025 en el ámbito metrológico (ISO/IEC, 2017), y guías específicas para observación de la Tierra como las recomendaciones del *Quality Assurance Framework for Earth Observation* (QA4EO) dentro de GEOSS (*Global Earth Observation System of Systems*) (QA4EO, 2010). Estas referencias establecen la necesidad de implementar procedimientos sistemáticos de intercomparación para garantizar la trazabilidad de las medidas y la interoperabilidad entre grupos de investigación y equipos técnicos. Iniciativas recientes, como los ensayos de intercomparación dentro de la red NetOPS entre espectrorradiómetros y paneles de referencia (Jiménez *et al.*, 2024), evidencian el interés

creciente de la comunidad en disponer de protocolos homogéneos y reproducibles.

El presente estudio tiene como objetivo desarrollar y aplicar un procedimiento de intercomparación espectral y radiométrica entre espectrorradiómetros utilizados para la medición de SIF. El propósito es evaluar la incertidumbre entre sistemas, cuantificar discrepancias y sesgos instrumentales, y establecer una base de trazabilidad metrológica robusta para actividades futuras de Cal/Val asociadas a la medición de SIF. Este trabajo se enmarca en el proyecto SpaFLEX, cuyo objetivo es implementar el protocolo nacional de calibración y validación asociado a la misión FLEX-S3 de la Agencia Espacial Europea, que incluirá el espectrómetro de muy alta resolución FLORIS a bordo del satélite Earth Explorer 8 (Drusch *et al.*, 2017; Coppo *et al.*, 2017).

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Los espectrorradiómetros FloX (JB Hyperspectral, s.f.) presentan una arquitectura óptica diseñada para la adquisición autónoma o remota de ciclos repetitivos de radiancia ascendente y de irradiancia descendente. El sistema integra dos espectrorradiómetros complementarios: uno de amplio rango espectral (*FULL*, 400 nm – 1000 nm) con resolución moderada ( $FWHM \geq 1$  nm) y otro específico para fluorescencia (*FLUO*, 650 nm – 800 nm) con muy alta resolución espectral ( $FWHM \leq 0,3$  nm) y elevado rango dinámico ( $SNR \sim 1000:1$ ). El diseño incorpora un conmutador de fibra que permite alternar las mediciones entre una entrada de fibra óptica desnuda (radiancia) y otra con detector con corrección de coseno (irradiancia). Todos los elementos se alojan en una caja robusta y resistente, lo que permite la observación continua durante largos periodos de tiempo a la intemperie, típicamente instalada en torres de observación sobre zonas de interés.

En el marco del proyecto SpaFLEX participaron dos sistemas FloX: el FloX JB-022 del Laboratorio de Observación de la Tierra de la Universidad de Valencia (LEO-UV) y el FloX JB-060 del Laboratorio de SIG y Teledetección de la Estación Biológica de Doñana (LAST-EBD). Ambos formaron parte de la intercomparación realizada en marzo de 2025 en el Área de Sistemas de Teledetección del INTA (AST-INTA).

La esfera integradora LabSphere CSTM-USS-4000 (*Custom Uniform Source System – Uniform Source Sphere*), con un diámetro interno de 102 cm, está recubierta de *Spectrafect®*, un material altamente reflectante. La esfera se ilumina mediante un conjunto de lámparas halógenas modelo IHLS-DM-150 (*Internal Halogen Light Sources – Direct Mount*), cada una alimentada por una fuente estabilizada en corriente LPS200 (*Lamp Power Supply*). El sistema dispone de diez lámparas etiquetadas con las letras “A” a “J”, que proporcionan una radiación uniforme y estable en el puerto de salida de 20 cm de diámetro (Fig. 1) (Labsphere, s.f.).



Figura 1. Ensayo de intercomparación.

## 2.1. Intercomparación espectral

Para validar la calibración espectral de los sistemas FloX, tanto en modo radiancia como en irradiancia, se emplearon lámparas de descarga en gas a baja presión (argón, hidrógeno y helio) con picos espectrales bien definidos. Estas proporcionaron referencias distribuidas a lo largo del rango espectral de los espectrorradiómetros FULL y FLUO.

La Ecuación 1 expresa la desviación espectral,  $d_j$ . El primer término corresponde al centroide espectral calculado a partir de los niveles digitales  $nd_i$  y su longitud de onda asociada  $\lambda_i$ , alrededor de la longitud de onda pico de referencia  $\lambda_j^{REF}$ .

El criterio de conformidad establece que  $d_j$  debe ser inferior a la incertidumbre expandida estimada, con valores de 0,25 nm para los espectros FLUO y 1,27 nm para los espectros FULL.

$$d_j = \left| \left( \frac{\sum(nd_i \lambda_i)}{\sum nd_i} - \lambda_j^{REF} \right) \right| < u \quad (1)$$

## 2.2. Intercomparación radiométrica

Para la validación radiométrica en radiancia e irradiancia se empleó la esfera USS-4000 con una configuración de cuatro lámparas (“D”, “F”, “H” y “J”) operando a 6 A.

En las mediciones de radiancia, las fibras ópticas desnudas de los espectrorradiómetros se colocaron alineadas con el centro del puerto de salida de la esfera, a 5 cm del plano de la apertura.

Para las mediciones de irradiancia, se emplearon los detectores con corrección coseno alineados con el centro del puerto a distancias de 30 cm, 50 cm y 70 cm. Estas distancias permiten evaluar el comportamiento radiométrico del sistema en tres niveles de intensidad y bajo tres ángulos sólidos distintos. La relación entre irradiancia y radiancia de la esfera viene dada por la Ecuación 2 (McCluney, 2014), con  $R=10$  cm, que proporciona valores de referencia de 0,31, 0,12 y 0,06 estereorradianes para las respectivas distancias. La

Ecuación 3 cuantifica la desviación relativa del ángulo sólido.

$$\Omega_d^{esf} = E_d / L_{esf} = \frac{\pi}{1 + \left(\frac{d}{R}\right)^2} \quad (2)$$

$$d_\lambda(\Omega) = \left| 100 \cdot \frac{\Omega_d^{esf} |_\lambda - \Omega_d^{esf} |_\lambda^{REF}}{\Omega_d^{esf} |_\lambda^{REF}} \right| \quad (3)$$

Para establecer el criterio de conformidad se utilizaron las desviaciones relativas en radiancia e irradiancia según las Ecuaciones 4–5:

$$d_\lambda(L) = \left| 100 \cdot \frac{L_\lambda - L_\lambda^{REF}}{L_\lambda^{REF}} \right| < u \quad (4)$$

$$d_\lambda(E) = \left| 100 \cdot \frac{E_\lambda - E_\lambda^{REF}}{E_\lambda^{REF}} \right| < u \quad (5)$$

La esfera USS-4000 (“DFHJ”) fue calibrada utilizando el espectrorradiómetro ASD FieldSpec® 3 (Malvern Panalytical Ltd., S/N16474) calibrado en octubre de 2024 por el Instituto de Óptica (IO-CSIC), garantizando su trazabilidad a los patrones nacionales en radiancia e irradiancia (Fig. 2) (Malvern Panalytical, s.f.).



Figura 2. Montaje de espectrorradiómetro ASD FieldSpec® 3 midiendo la esfera integradora Labsphere CSTM-USS-4000.

## 3. RESULTADOS

En la Figura 3 se muestran los resultados de la desviación espectral obtenidos para el FloX JB-022 y el FloX JB-060. En ambos casos, los valores registrados en los canales FLUO y FULL cumplen el criterio de conformidad, al situarse por debajo del valor de la incertidumbre expandida correspondiente,  $u$ .

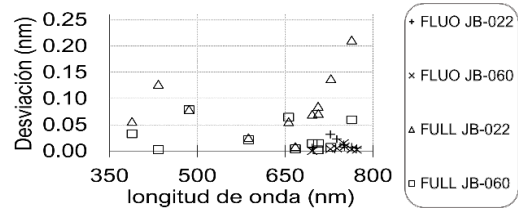


Figura 3. Desviación espectral.

La desviación del ángulo sólido de los espectrorradiómetros para cada instrumento y canal a distintas distancias mostradas en la Tabla 1 fueron muy superiores a lo esperable. De forma coherente con estos resultados, las desviaciones radiométricas resultaron no conformes.

Estos resultados motivaron el envío de los instrumentos al fabricante para su inspección y recalibración, así como la realización de una investigación técnica orientada a

identificar el origen y las posibles causas de la pérdida de calibración. Las acciones correctivas permitieron recuperar las prestaciones de los sistemas y restablecer la confianza en su calibración y trazabilidad, posibilitando su uso posterior en torres de observación y en las campañas de campo programadas en el marco del proyecto SpaFLEX. Además, se prevé repetir el ensayo de intercomparación en 2026 con el fin de validar nuevamente las mediciones de los espectrorradiómetros y verificar la estabilidad de su calibración tras el proceso de reacondicionamiento.

**Tabla 1.** Desviación relativa del ángulo sólido irradiado para cada espectrorradiómetro y canal a distintas distancias d.

| Instrumento | Canal | d     |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
|             |       | 30 cm | 50 cm | 70 cm |
| FLOX JB-060 | FLUO  | 50.1% | 36.9% | 33.5% |
| FLOX JB-060 | FULL  | 65.7% | 55.7% | 53.0% |
| FLOX JB-022 | FLUO  | 63.7% | 62.8% | 62.0% |
| FLOX JB-022 | FULL  | 57.5% | 57.0% | 54.7% |

#### 4. CONCLUSIONES

Las intercomparaciones constituyen un componente esencial para demostrar la coherencia y la trazabilidad de diferentes espectrorradiómetros utilizados en observación de la Tierra. Estos ejercicios permiten identificar discrepancias instrumentales, evaluar incertidumbres y verificar que todos los sistemas remiten a un mismo estándar de referencia.

Los ensayos realizados muestran que los sistemas FloX presentan una buena consistencia espectral, cumpliendo el criterio de conformidad definido para la calibración espectral. Sin embargo, las diferencias observadas tanto en la intercomparación radiométrica como en la desviación del ángulo sólido evidencian variaciones instrumentales relevantes que fueron corregidas antes de las siguientes campañas del proyecto SpaFLEX. En el caso particular de los sistemas FloX, la desviación del ángulo sólido se revela además como un indicador útil para diagnosticar la coherencia entre las entradas de radiancia e irradiancia y el funcionamiento del conmutador de fibra.

Asimismo, los resultados ponen de manifiesto la relevancia de las intercomparaciones periódicas como herramienta indispensable para garantizar la calidad metrológica y la fiabilidad de las mediciones empleadas en actividades de Cal/Val.

#### 5. PERSPECTIVAS FUTURAS

La integración sistemática del análisis del ángulo sólido en futuras campañas de Cal/Val de FLEX-S3 permitirá evaluar la coherencia entre las entradas de fibra y verificar el correcto funcionamiento de los detectores con corrector coseno bajo distintos ángulos sólidos. Asimismo, la repetición del ensayo de intercomparación prevista para 2026 permitirá validar la estabilidad de la calibración de los espectrorradiómetros tras el reacondicionamiento.

#### 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España y la Agencia Estatal de Investigación a través del proyecto SpaFLEX (PID2022-137022OB-C31 y PCI2023-145955-2).

El autor Ricardo Díaz-Delgado se encontraba afiliado a Estación Biológica de Doñana durante la realización de este trabajo. Actualmente está adscrito a Agencia Espacial Española. Su dirección de contacto actual es: ricardo.diaz@aee.gob.es

#### 7. REFERENCIAS

- International Organization for Standardization. (2017). ISO/IEC 17025:2017 – General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. <https://www.iso.org/standard/66912.html>
- Quality Assurance Framework for Earth Observation. (2010). QA4EO-QAEO-GEN-DQK-001: A guide to comparisons. <http://qa4eo.org>
- Jiménez, M., Gutiérrez de la Cámara, Ó., Aragonés, D., Peón, J., Muñoz, F., Schmidt, T., Pereira, D., Sánchez, Á., Muñoz, M. J., Cruz, J. A., Talone, M., & Martín, M. P. (2024). Metodología de inter-comparación entre espectrorradiómetros y paneles de referencia. En I. Caballero *et al.* (Eds.), XX Congreso de la Asociación Española de Teledetección (pp. 517–518). Universidad de Cádiz. Disponible en <http://www.aet.org.es/?q=congresos>
- Drusch, M., Moreno, J., Del Bello, U., Franco, R., Goulas, Y., Huth, A., Kraft, S., Middleton, E. M., Miglietta, F., Mohammed, G., & Rascher, U. (2017). The Fluorescence Explorer (FLEX) mission concept—ESA’s Earth Explorer 8. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(3), 1273–1284. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2621820>
- Coppo, P., Taiti, A., Pettinato, L., Francois, M., Taccola, M., & Drusch, M. (2017). Fluorescence Imaging Spectrometer (FLORIS) for ESA FLEX mission. *Remote Sensing*, 9(7), 649. <https://doi.org/10.3390/rs9070649>
- JB Hyperspectral. (s.f.). FloX. <https://www.jb-hyperspectral.com/products/flox/>
- Labsphere. (s.f.). Integrating sphere systems: USS-4000. Recuperado de [http://host.web-print-design.com/labsphere/products/integrating\\_sphere\\_systems/uss4000.htm](http://host.web-print-design.com/labsphere/products/integrating_sphere_systems/uss4000.htm)
- McCluney, R. (2014). Introduction to radiometry and photometry (2.ª ed.). Artech House.
- Malvern Analytical. (s.f.). FieldSpec range – Product support. Recuperado de <https://www.malvernpanalytical.com/es/support/product-support/asd-range/fieldspec-range>