

Introducción a la Investigación Astrofísica

Máster de Astrofísica



Curso 2012-2013
Universidad de La Laguna

PROYECTO OTELO: OBTENCIÓN DE UN CATÁLOGO DE OBJETOS CON LÍNEAS DE EMISIÓN

Marina Ramón Pérez



Directores:

Jordi Cepa

Ángel Bongiovanni

Ana María Pérez García

ÍNDICE

- Introducción
- El proyecto OTELO
- Reducción
- Astrometría
- Extracción de las fuentes
- Catálogo preliminar de objetos emisores
- Conclusiones
- Perspectivas

INTRODUCCIÓN

El estudio de objetos con líneas de emisión

- Objetos débiles y lejanos
- Galaxias Ly α , QSO, AGN...
- Galaxias con formación estelar, a alto z , evolución galáctica...



Galaxia Activa Centaurus A



Quásar 3C 273



Nebulosa Planetaria K 4-55

Algunas líneas espectrales importantes:

$\text{Ly}\alpha$ (1215 Å)

[OII] (3727 Å)

$\text{H}\beta$ (4861 Å)

[OIII] (5007 Å)

$\text{H}\alpha$ (6563 Å)

[NII] (6584 Å)



Extinción

Temperatura

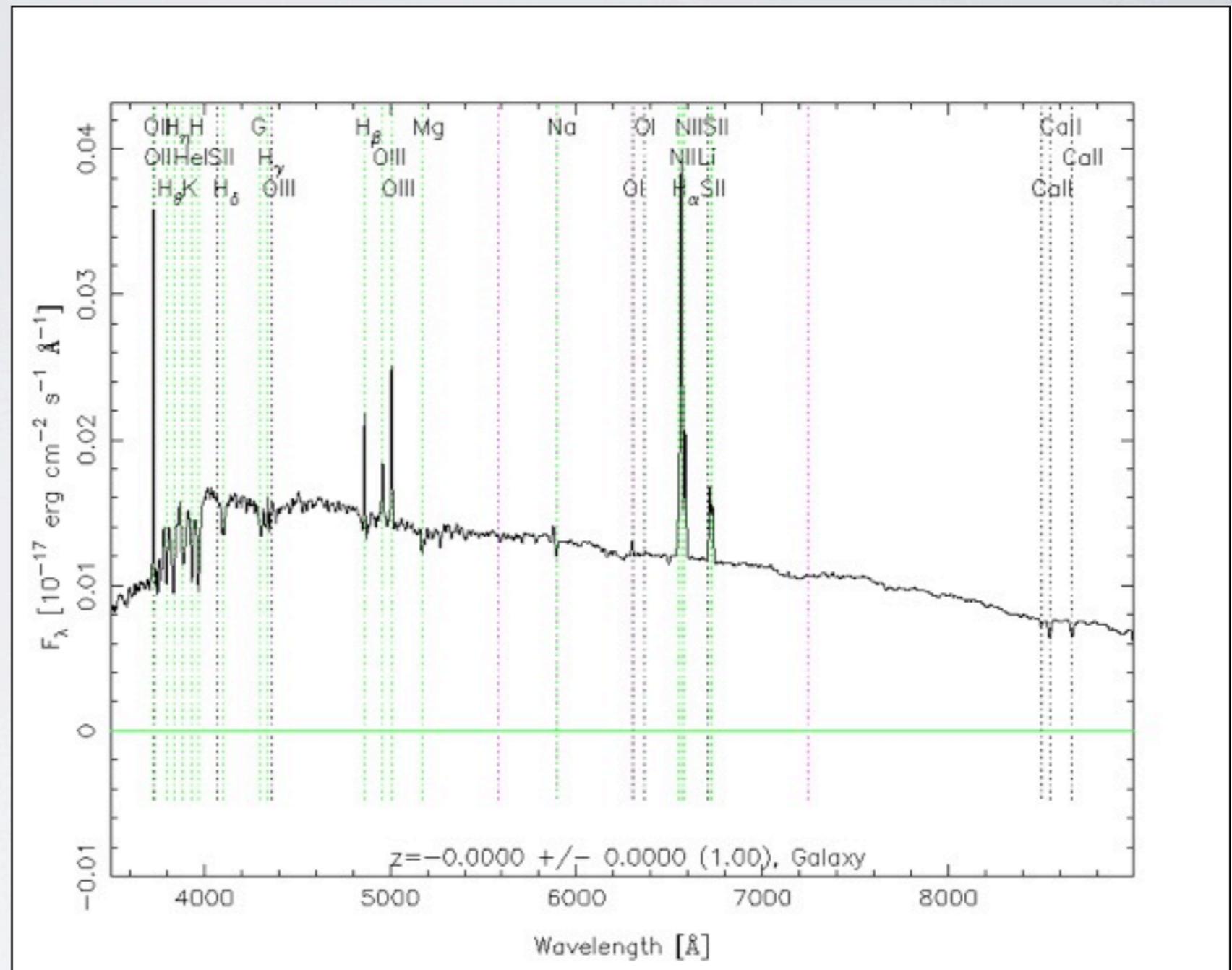
Composición

Densidad electrónica

Abundancias químicas

Tasa de formación estelar

...



Espectro de una galaxia con líneas de emisión (SDSS)

Clasificación espectral de galaxias

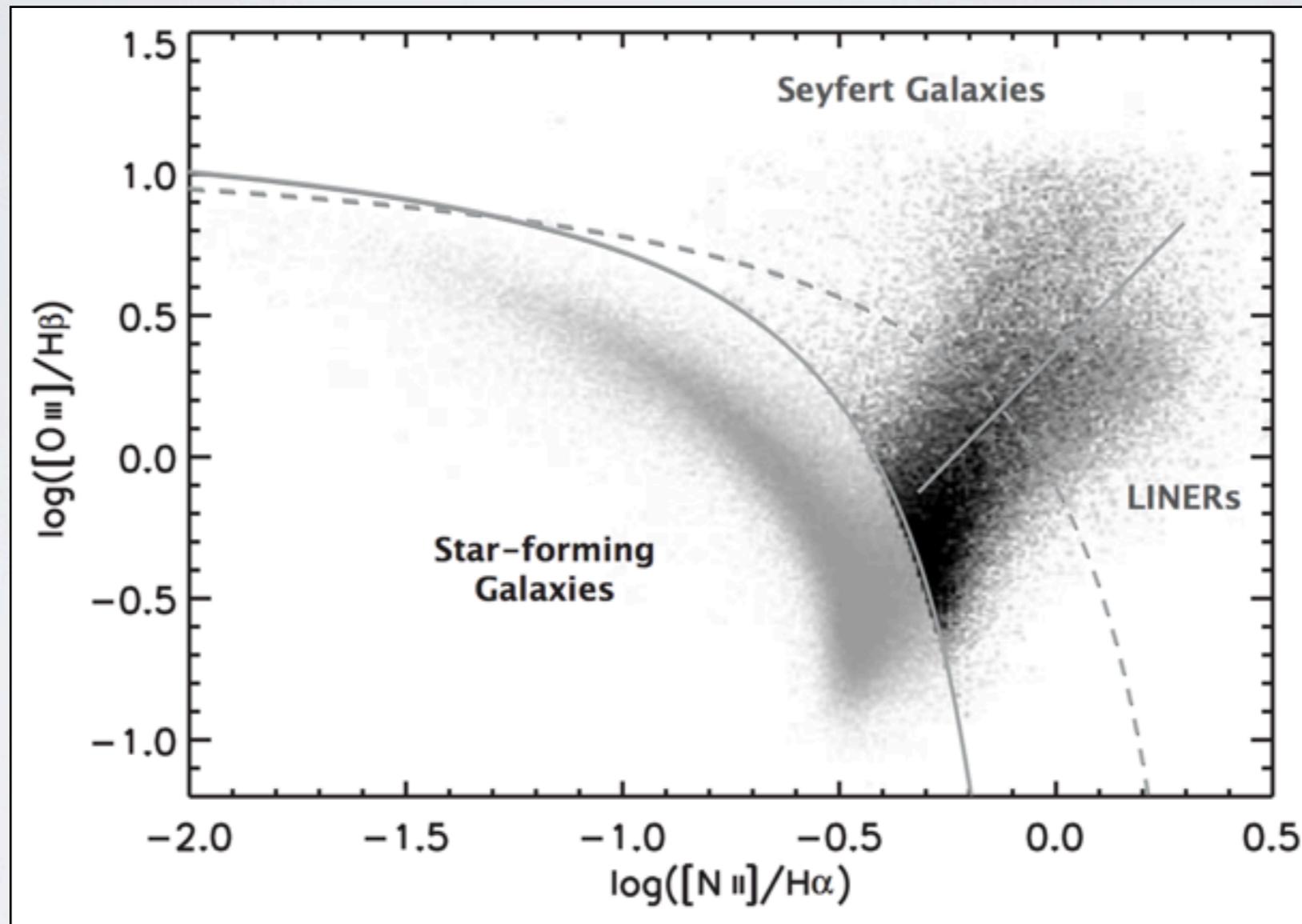


Diagrama BPT (SDSS)

Algunos resultados recientes

Descubrimiento de un doble núcleo activo (AGN) en una galaxia a $z = 0.7$

Ausencia de emisión $\text{Ly}\alpha$ intensa a $z = 7$ en el campo GOODS-S

Morfología de galaxias $\text{Ly}\alpha$ a $z = 3.11$

Función de luminosidad de $\text{H}\alpha$ a $z = 0.24$ a partir de imagen del *SDF*

Funciones de luminosidad y tasas de formación estelar a $z = 0.07 - 1.47$ de emisores en banda estrecha

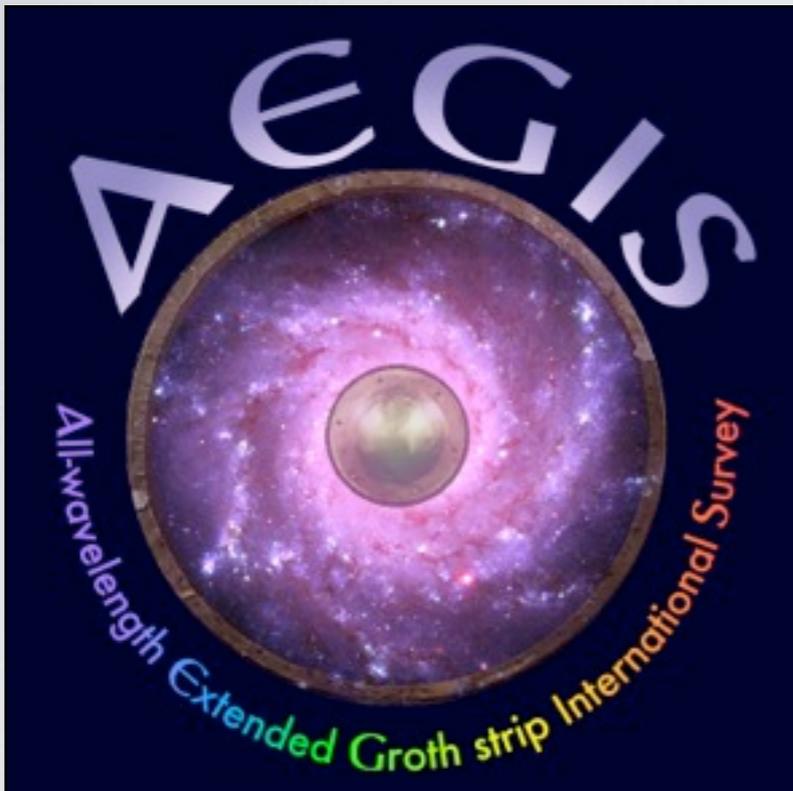
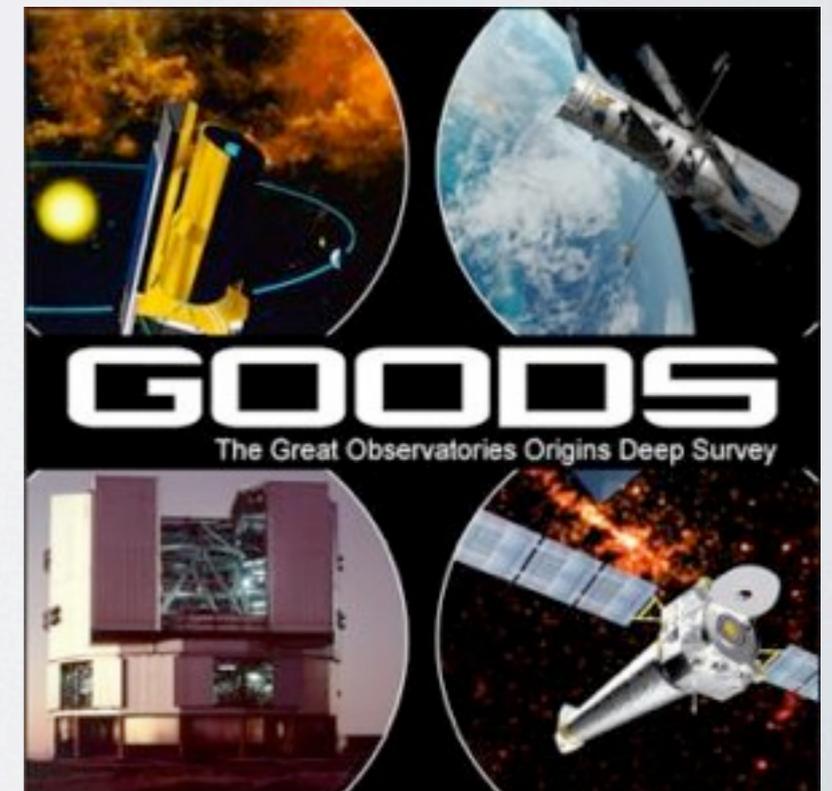
Evolución de la formación estelar desde $z = 1.1$

Extinción y trazadores de formación estelar a partir de líneas de emisión

Poblaciones estelares de galaxias con emisión de $[\text{OII}]$

Formación estelar a $z = 2.2$ a partir de galaxias con emisión $\text{H}\alpha$

Agrupamiento de AGN que emiten en rayos X a $z \sim 1$



Técnicas para la detección de objetos con líneas de emisión

Filtros de banda estrecha / sintonizables

Espectroscopía

Técnicas para la detección de objetos con líneas de emisión

Filtros de banda estrecha / sintonizables

Espectroscopía



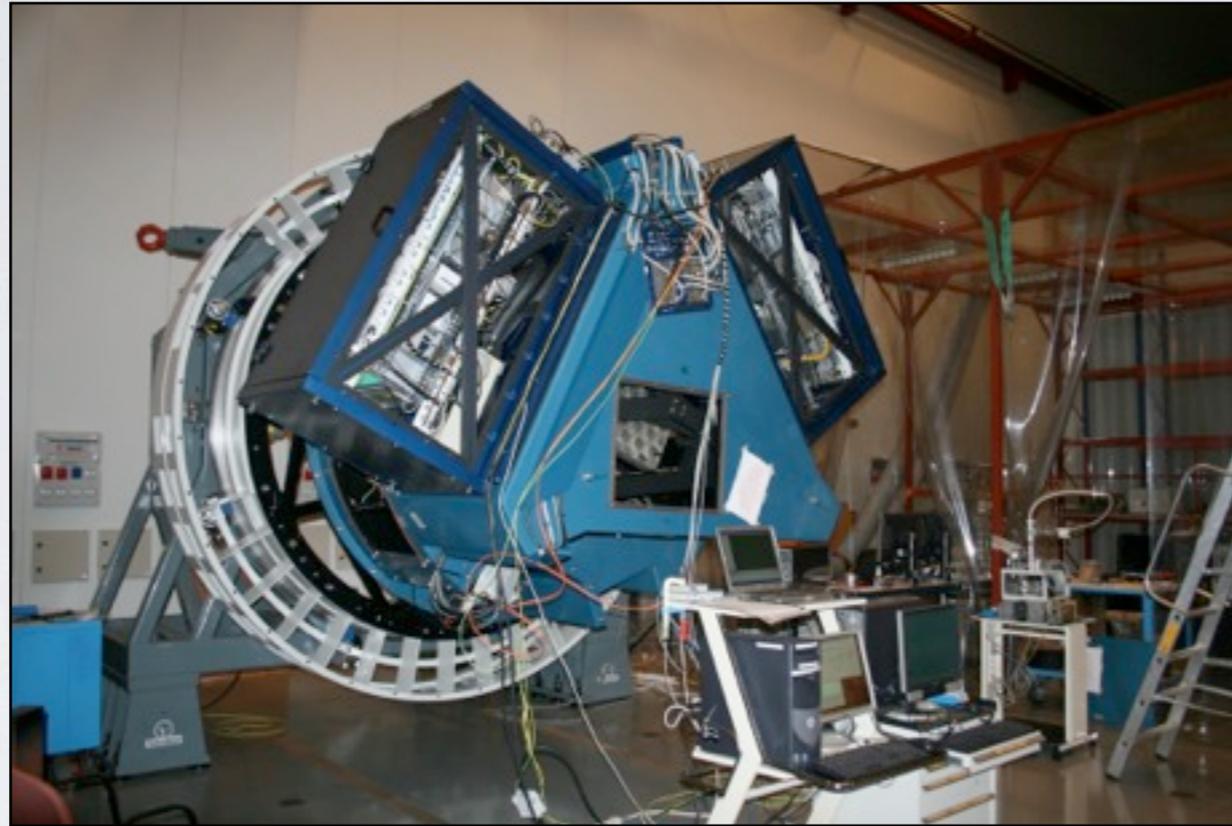
Cobertura espectral
Resolución espectral



Adquisición y reducción de los datos
Exploración más profunda
Resolución espacial
Menor contaminación del cielo

OSIRIS y sus filtros sintonizables

Optical System for Imaging and low-Intermediate-Resolution Integrated Spectroscopy

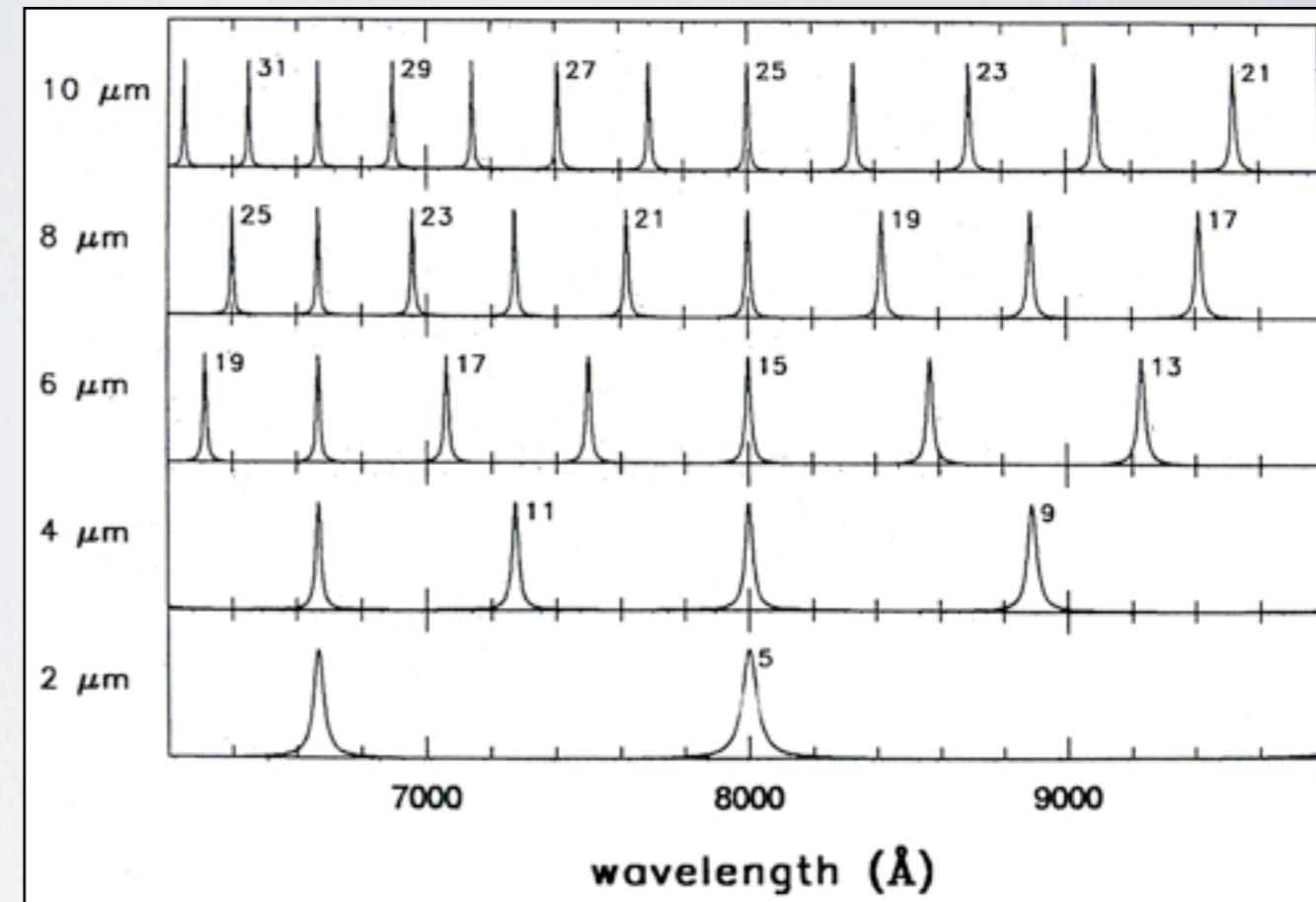


Instrumento OSIRIS del GTC

- Principal instrumento del Gran Telescopio de Canarias
- Cámara y espectrógrafo de baja e intermedia resolución
- Rango visible (365-1000 nm)
- Campo de visión 8.6×8.6 arcmin
- Alta eficiencia
- Filtros sintonizables

Filtros sintonizables

- Interferómetro Fabry-Pérot de baja resolución
- Rango azul (365-671 nm) y rojo (651-934.5 nm)
- Espectro de transmisión: función de Airy
- Sintonización precisa de la longitud de onda central de transmisión (λ) y de la anchura ($\delta\lambda$)



Perfiles de transmisión de un filtro sintonizable (función de Airy)

$$\lambda = \frac{2\mu L \cos \theta}{m} \quad \delta\lambda = \frac{\lambda(1 - R)}{m\pi R^{1/2}}$$

Telescopio de gran diámetro:
GTC (10.4 m)

Filtros sintonizables:
OSIRIS

Telescopio de gran diámetro:
GTC (10.4 m)



Alta capacidad colectora

Filtros sintonizables:
OSIRIS



Espectroscopía de baja resolución
en un campo de visión extenso

Telescopio de gran diámetro:
GTC (10.4 m)



Alta capacidad colectora

Filtros sintonizables:
OSIRIS



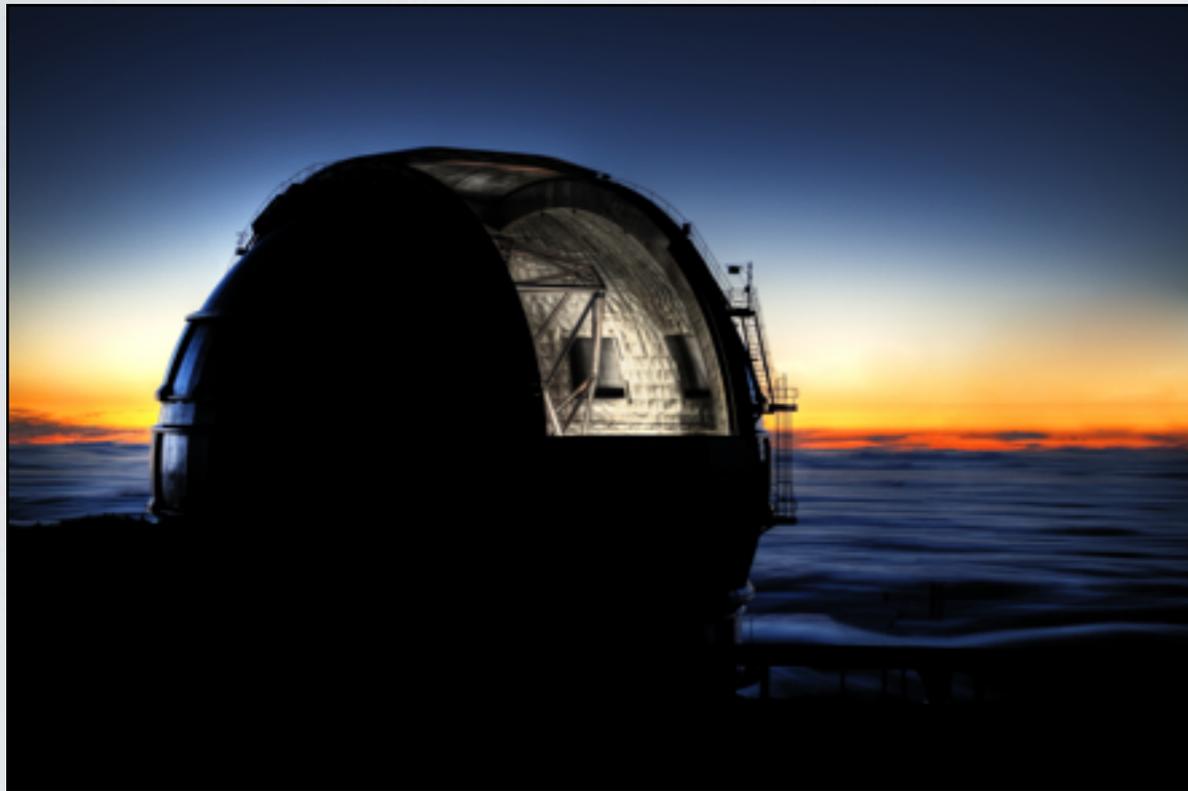
Espectroscopía de baja resolución
en un campo de visión extenso



Cartografiado OTELO

OSIRIS Tunable Emission Line Object

EL PROYECTO OTELO



Gran Telescopio de Canarias (La Palma)

Objetivo: detección de objetos con líneas de emisión

Región del cielo: ~ 0.1 grados cuadrados

Técnica: muestreo tomográfico del intervalo espectral
cada 6 \AA , con anchura a media altura de 12 \AA



Separación de $H\alpha$ (6563 \AA) y $[NII]$ (6584 \AA)



Estimación de tasas de formación estelar (flujo de $H\alpha$)
y de metalicidades (método $N2$)

Expectativas

Flujo de completitud: $\sim 8 \times 10^{-18}$ erg/cm²/s

Altos desplazamientos al rojo ($\sim 0.24 - 6.7$)

Cartografiado en emisión más amplio y profundo

Alto número de detecciones

Realización y publicación de un catálogo de
objetos emisores

Expectativas

Espectroscopía en el NIR

Cartografiados SHARDS, AEGIS, con ACS...

Imagen en el FIR
(PEP)

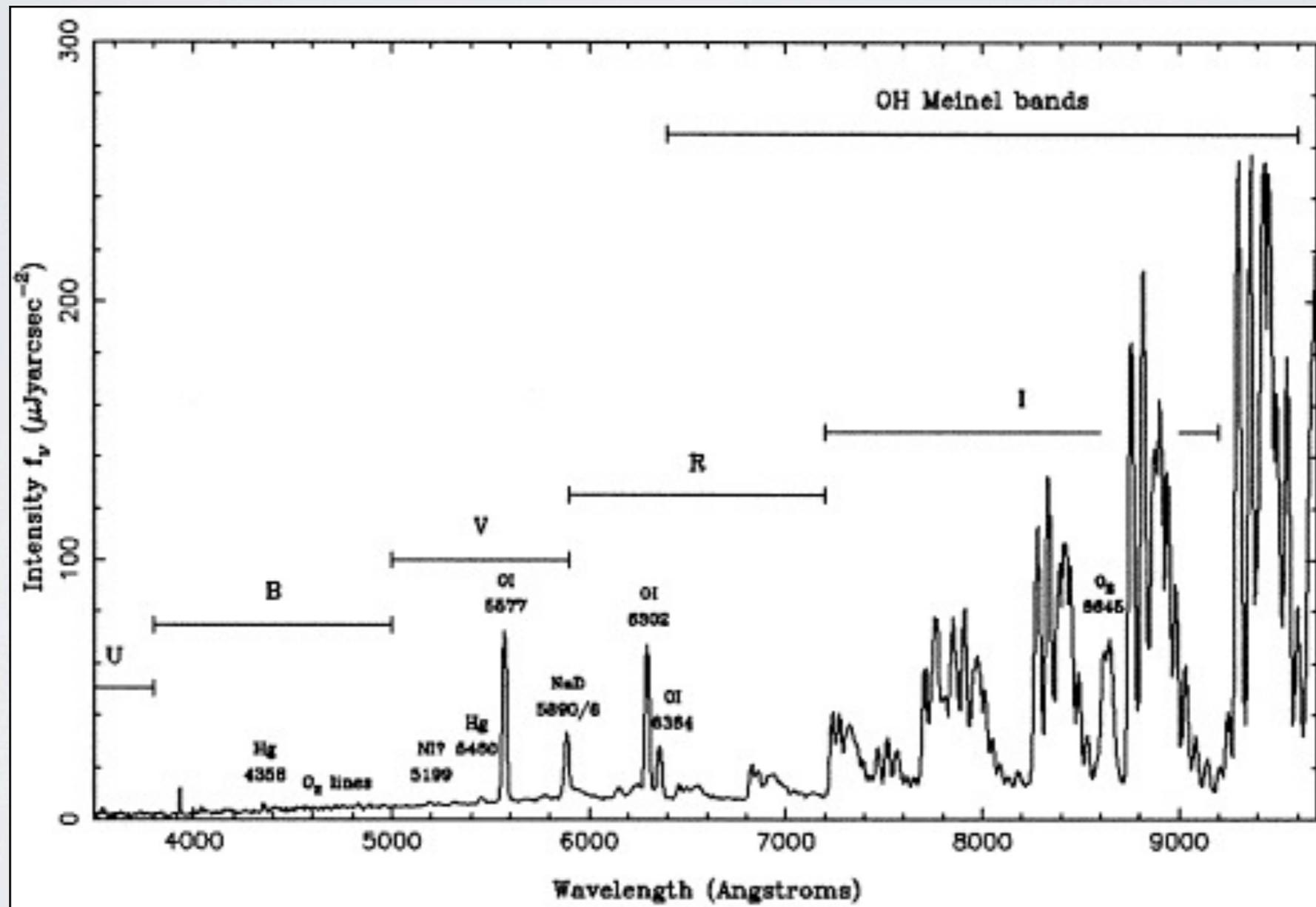
Flujo de completitud: $\sim 8 \times 10^{-18}$ erg/cm²/s
Altos desplazamientos al rojo ($\sim 0.24 - 6.7$)
Cartografiado en emisión más amplio y profundo
Alto número de detecciones
Realización y publicación de un catálogo de
objetos emisores

Cartografiado en banda
ancha (BVRI)

Espectroscopía multi-objeto (GTC)

Intervalo espectral de OTELO: centrado en 9200 Å

Ventana en el espectro de la atmósfera (líneas de emisión telúricas débiles, menor contaminación atmosférica)



Espectro del cielo

Líneas de emisión esperadas con OTELO

Línea	<Redshift>
H α	0.40
[OIII]	0.83
H β	0.89
[OII]	1.46
Ly α	6.55

- Apuntado 1 de OTELO: Campo Extendido de Groth (EGS)

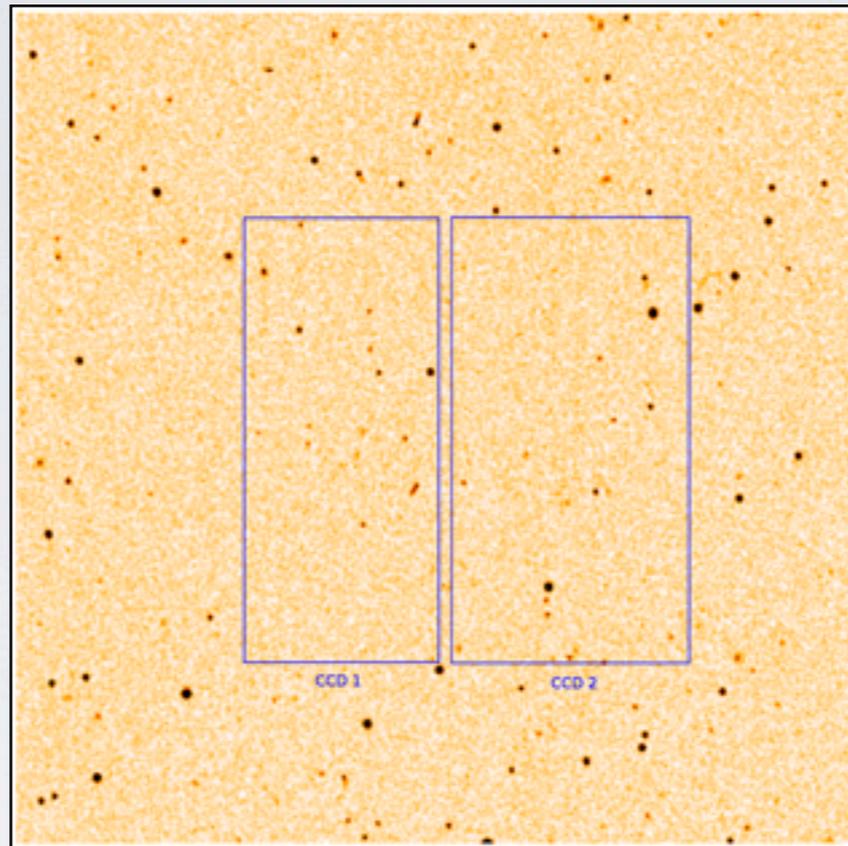
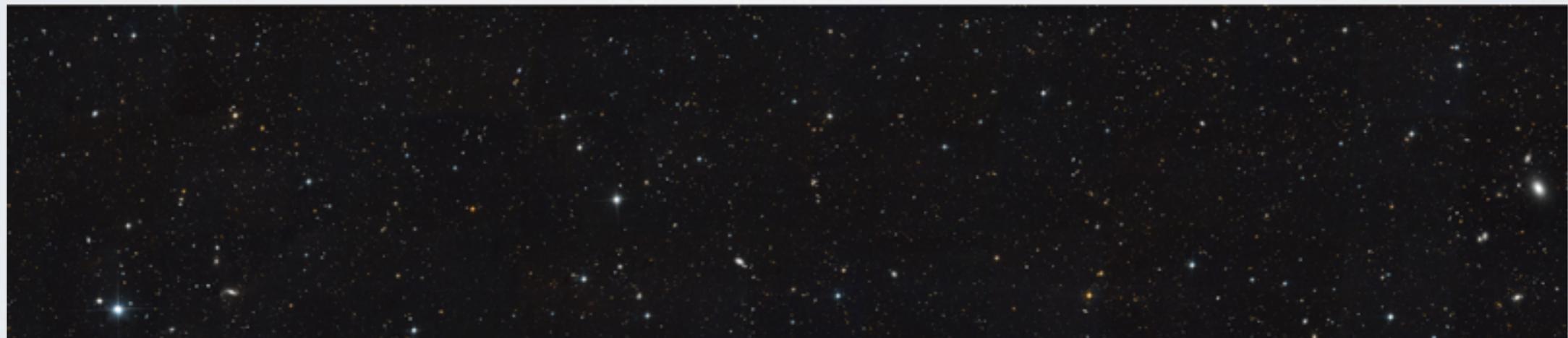


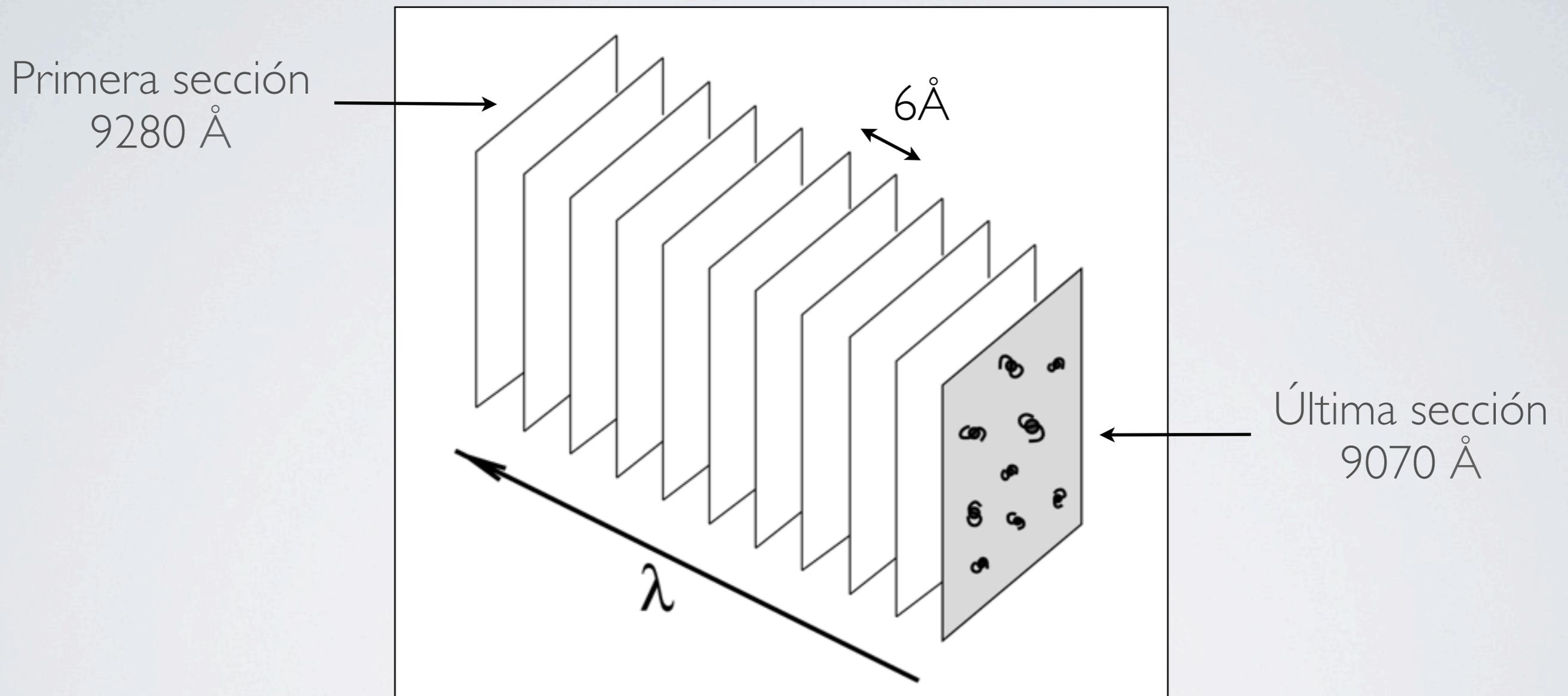
Imagen 15 x 15 arcmin centrada en EGS



Campo Extendido de Groth (imagen del telescopio espacial Hubble)

- Apuntado 2 de OTELO: Agujero de Lockman

Técnica tomográfica por secciones

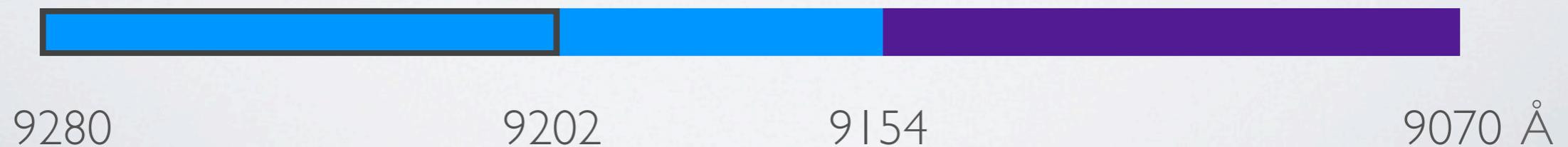


Cada sección consta de 6 imágenes con diferente *dithering*

Observaciones del apuntado 1

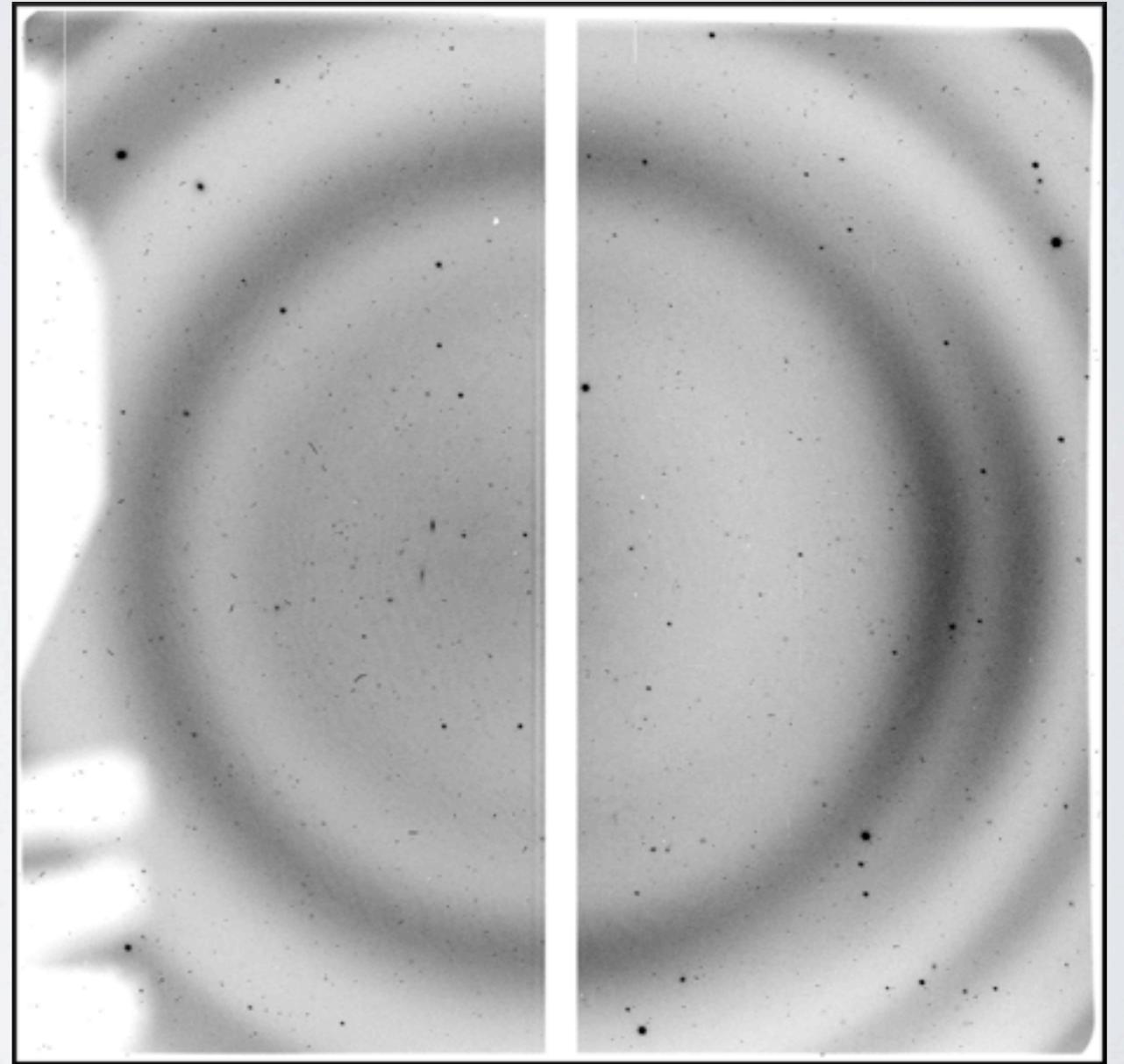
Año	Rango espectral (Å)	Nº de secciones útiles
2010	9280 - 9250	6
2011	9244 - 9208	5
2012	9202 - 9196	0
2013	9220 - 9154	11
Futuro	hasta 9070	
		36

-  Trabajo Fin de Máster
-  Observado
-  Planificado



Descripción de los datos

Imagen en bruto obtenida con
los filtros sintonizables de OSIRIS
(colores invertidos)



Descripción de los datos

Ocultamiento debido a elementos del sistema (rueda de filtros, espejo plano doblador del haz...)

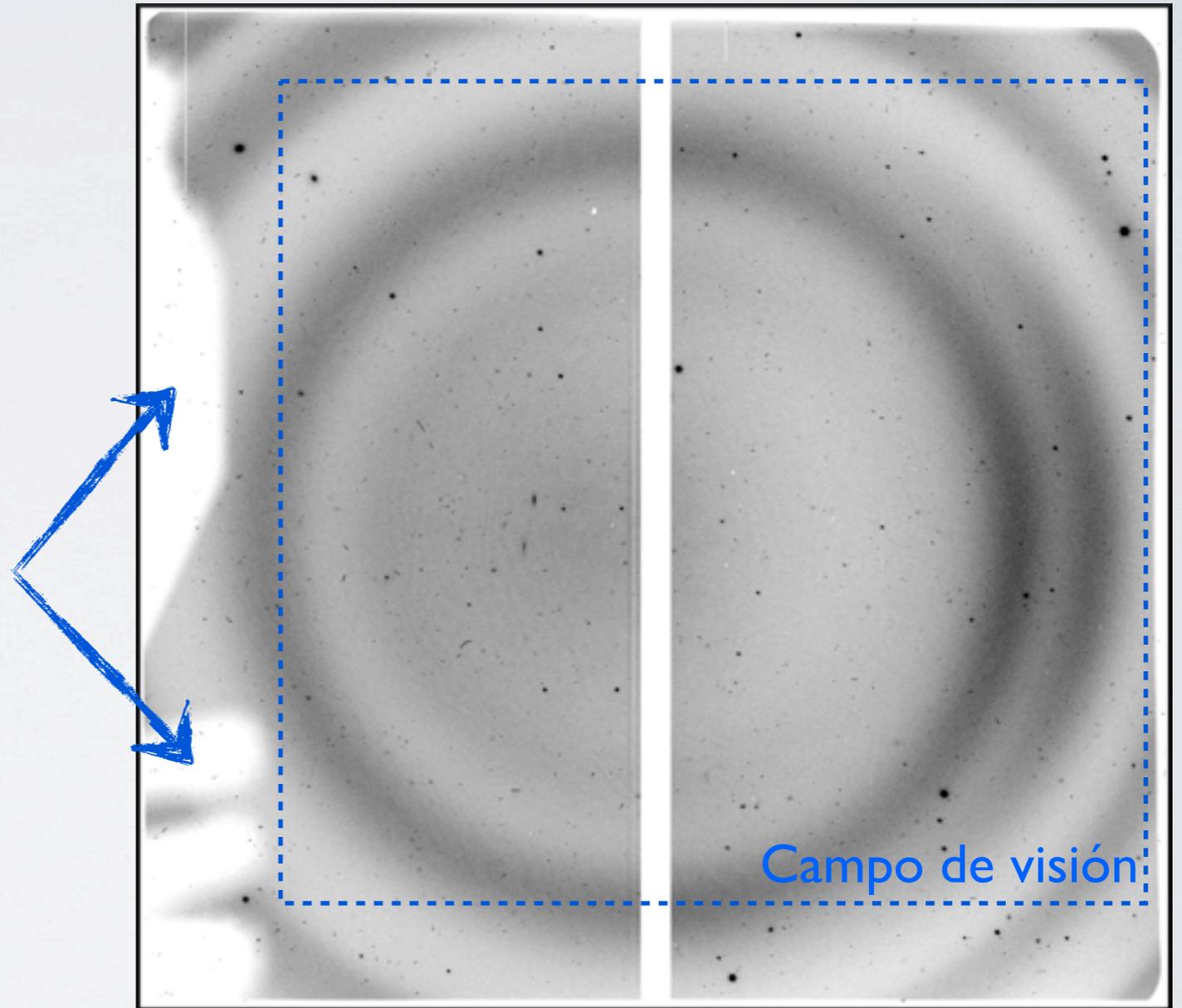


Imagen en bruto obtenida con los filtros sintonizables de OSIRIS (colores invertidos)

Descripción de los datos

Centro óptico

Lugar del detector al que llegan los rayos de luz que entran sin desviación en el filtro sintonizable ($\theta = 0$)

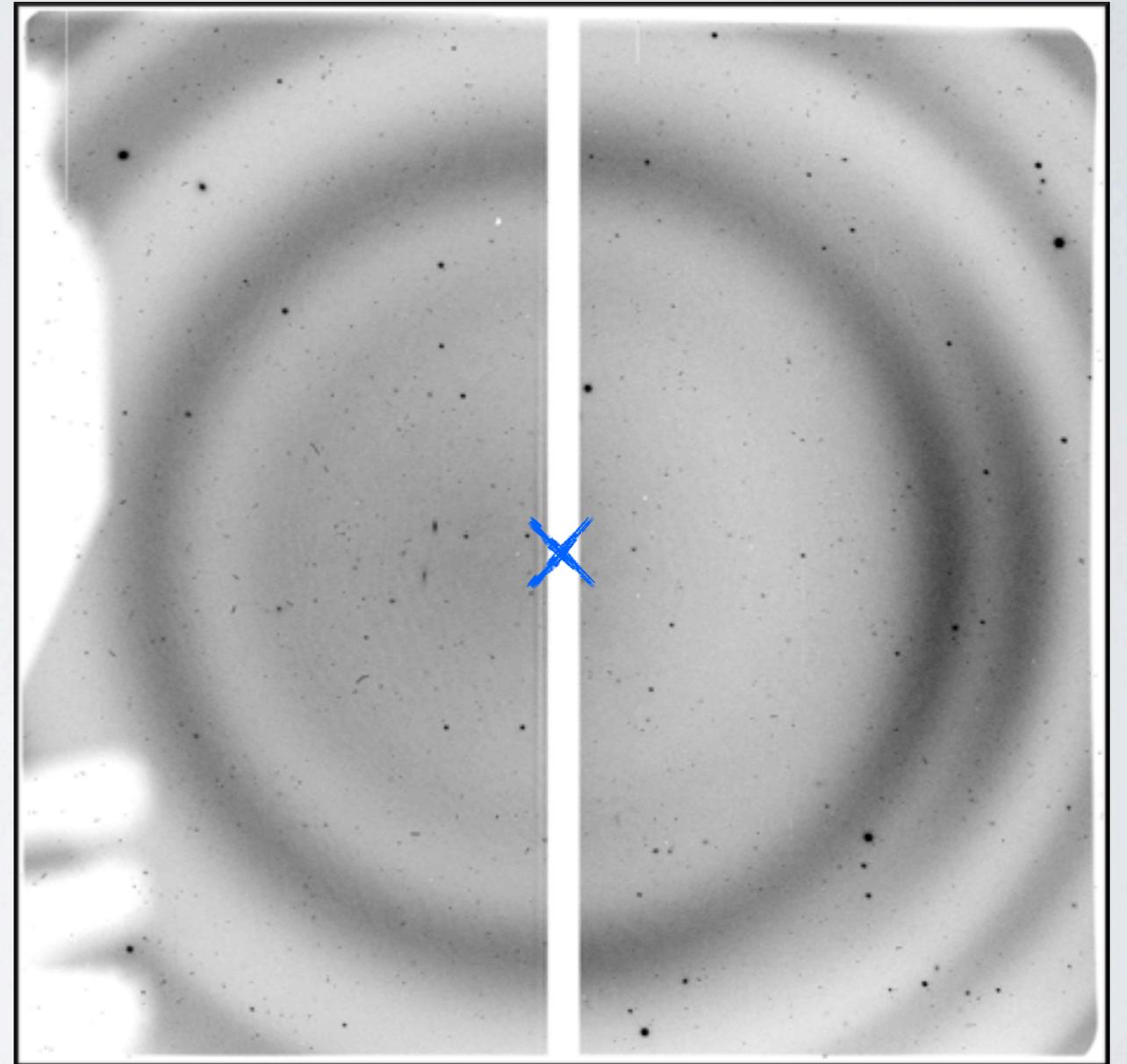


Imagen en bruto obtenida con los filtros sintonizables de OSIRIS (colores invertidos)

Descripción de los datos

Gradiente radial en
longitud de onda

Anillos: bandas espectrales
de OH emitidas por el cielo

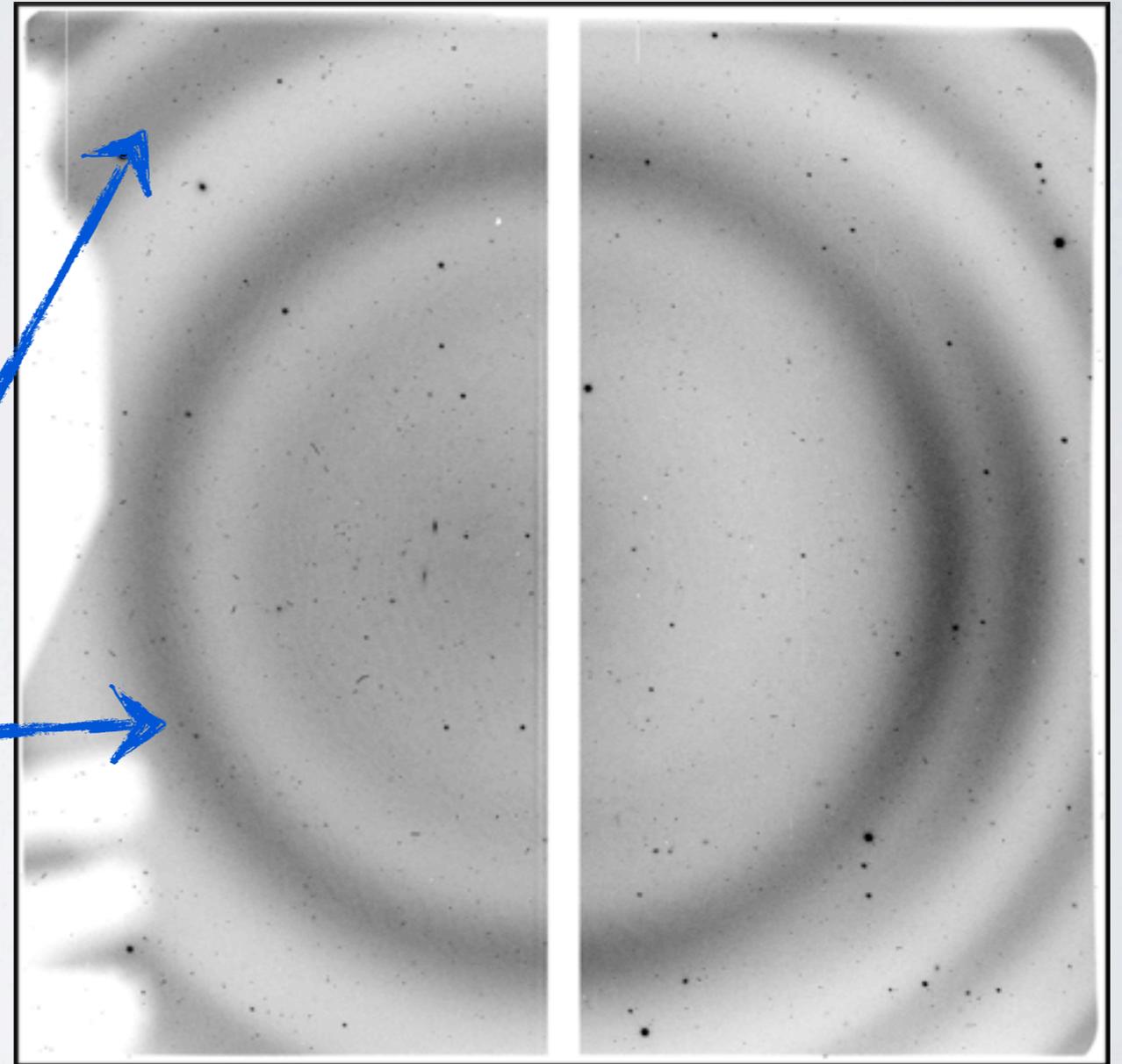


Imagen en bruto obtenida con los filtros
sintonizables de OSIRIS (colores invertidos)

Descripción de los datos

Fantasma

Objetos espurios que aparecen en posiciones simétricas a objetos brillantes respecto al centro óptico, consecuencia de las múltiples reflexiones de la luz

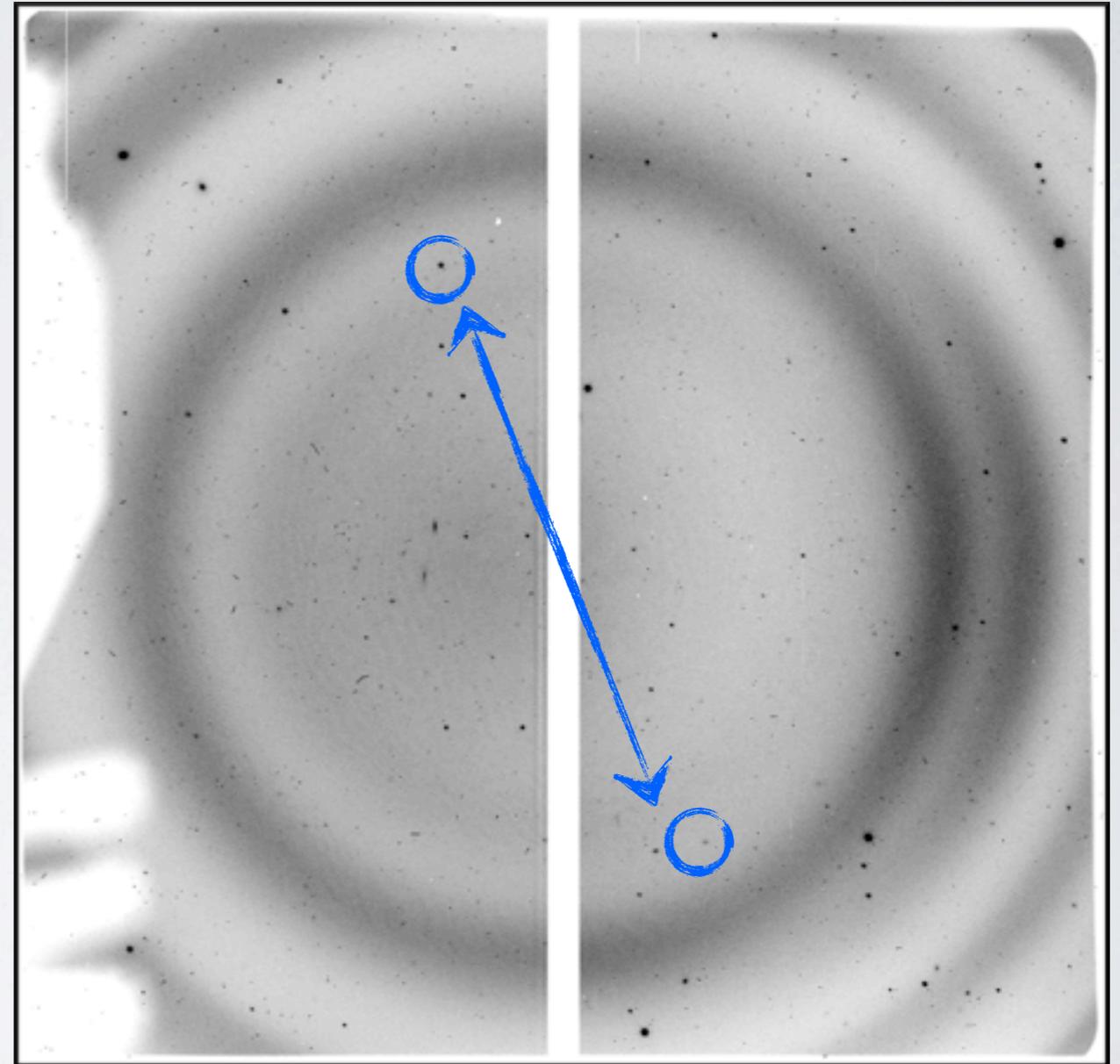


Imagen en bruto obtenida con los filtros sintonizables de OSIRIS (colores invertidos)

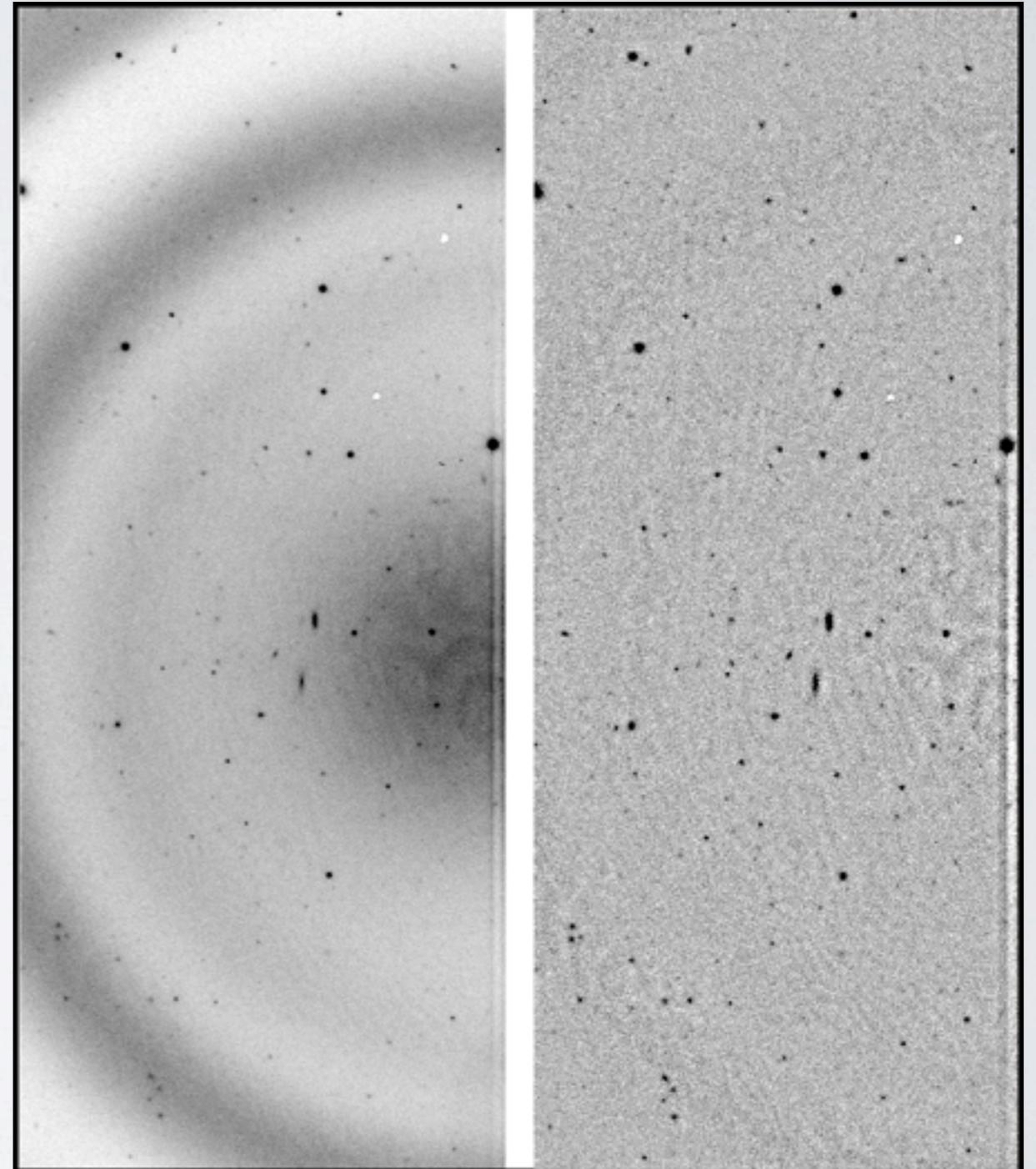
REDUCCIÓN

Software: **IRAF** y **TFRed**

- Corrección de cero electrónico (*overscan*)
- Eliminación de rayos cósmicos (**L.A. Cosmic**)
- Recorte de las imágenes
- Corrección de la respuesta espacial (construcción de un *superflat*)

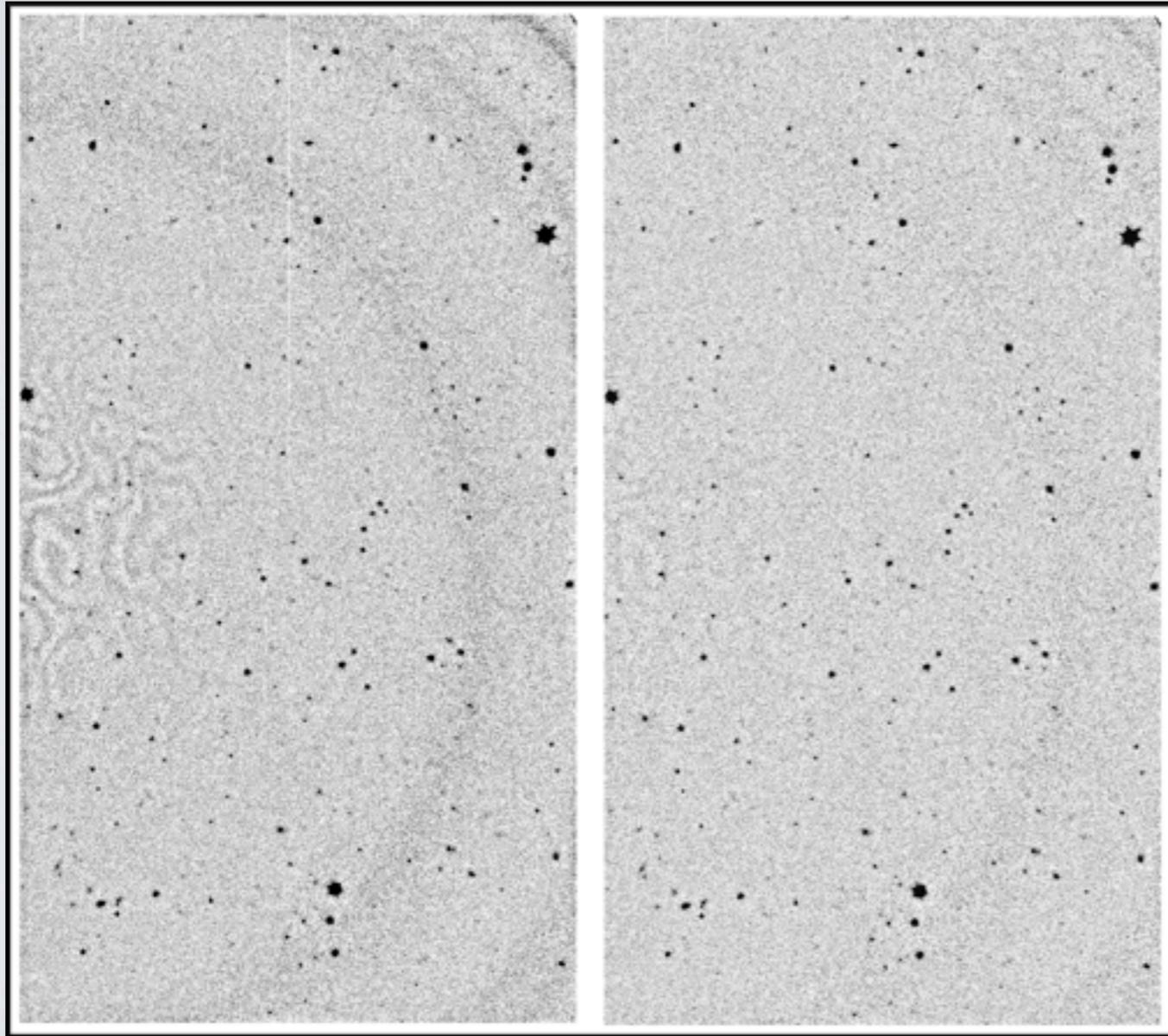
Sustracción de los anillos de cielo

- Contribución aditiva
- Tareas **objmask**, **imsurfit** y **tringSub3**
- Doble iteración
- Residuos en algunas imágenes



Antes y después de la sustracción de los anillos

Eliminación de las franjas de interferencia



Antes y después de la eliminación de las franjas de interferencia

- Efecto importante en fotometría de banda estrecha
- Contribución aditiva
- Tareas **objmask** y **rmfringe**
- Doble iteración

ASTROMETRÍA

Objetivo: dotar a las imágenes de coordenadas ecuatoriales celestes precisas (RA, DEC)



Alineación de las imágenes
Calibración en longitud de onda
Eliminación de fantasmas
Comparación con otros catálogos

...

Detección de objetos

Tarea **daofind**

Número de detecciones por imagen: 70-200

Detección de objetos

Tarea **daofind**

Número de detecciones por imagen: 70-200



Tarea **ccxymatch**

Catálogo de CFHTLS del campo EGS

Emparejamiento de objetos

Detección de objetos

Tarea **daofind**

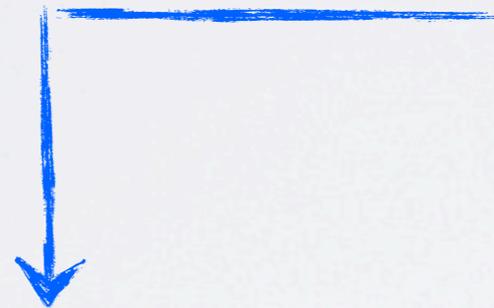
Número de detecciones por imagen: 70-200



Tarea **ccymatch**

Catálogo de CFHTLS del campo EGS

Emparejamiento de objetos



Tarea **ccmap**

Ajuste de orden 4 con términos cruzados

Ajuste astrométrico

Errores en la astrometría:

Interno:

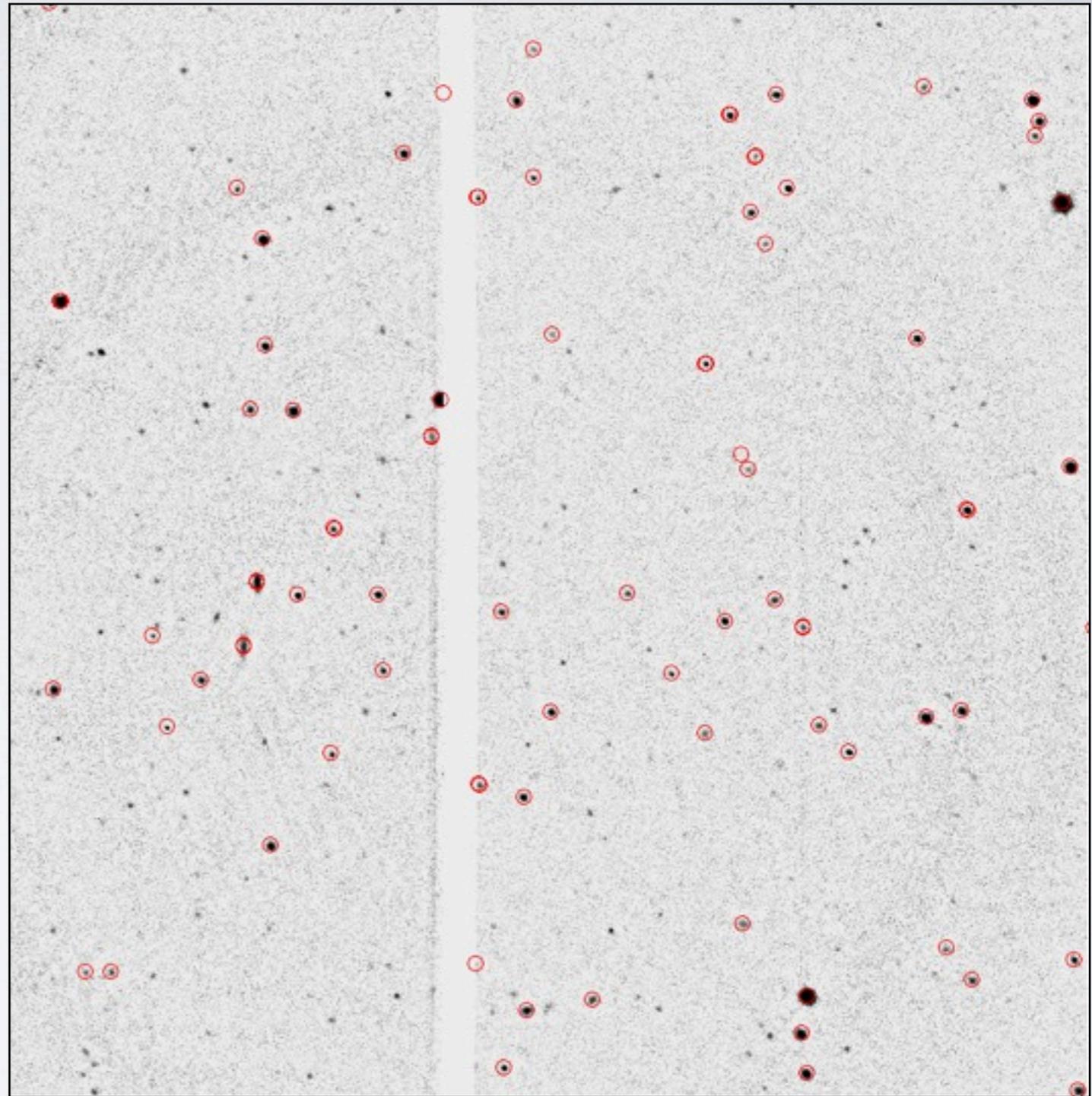
$\sim 0.06'' - 0.09''$

(0.24 - 0.35 píxeles)

Catálogo externo:

$< 0.2''$

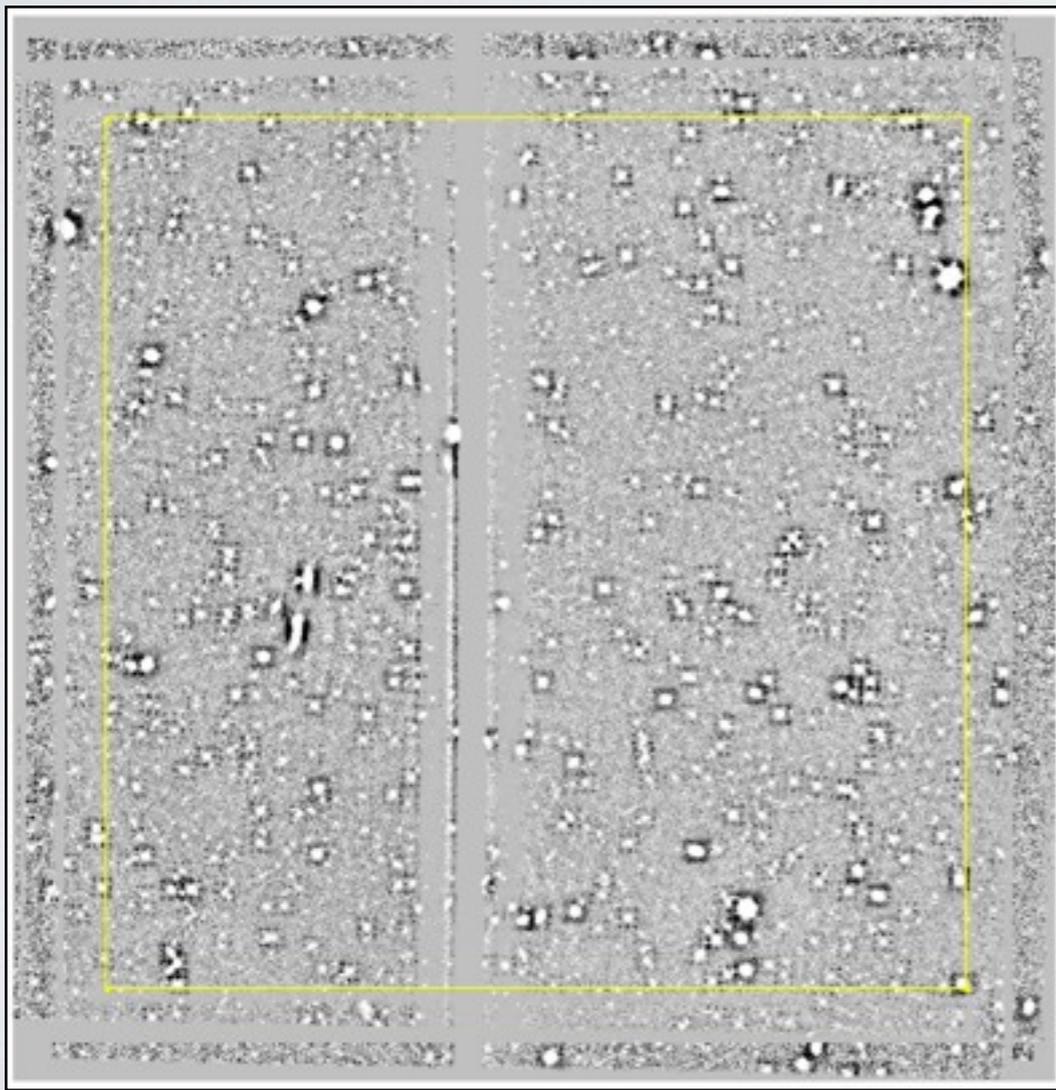
(< 0.78 píxeles)



Mosaico final construido con la tarea `mscimage` y superposición del catálogo de SDSS

EXTRACCIÓN DE LAS FUENTES

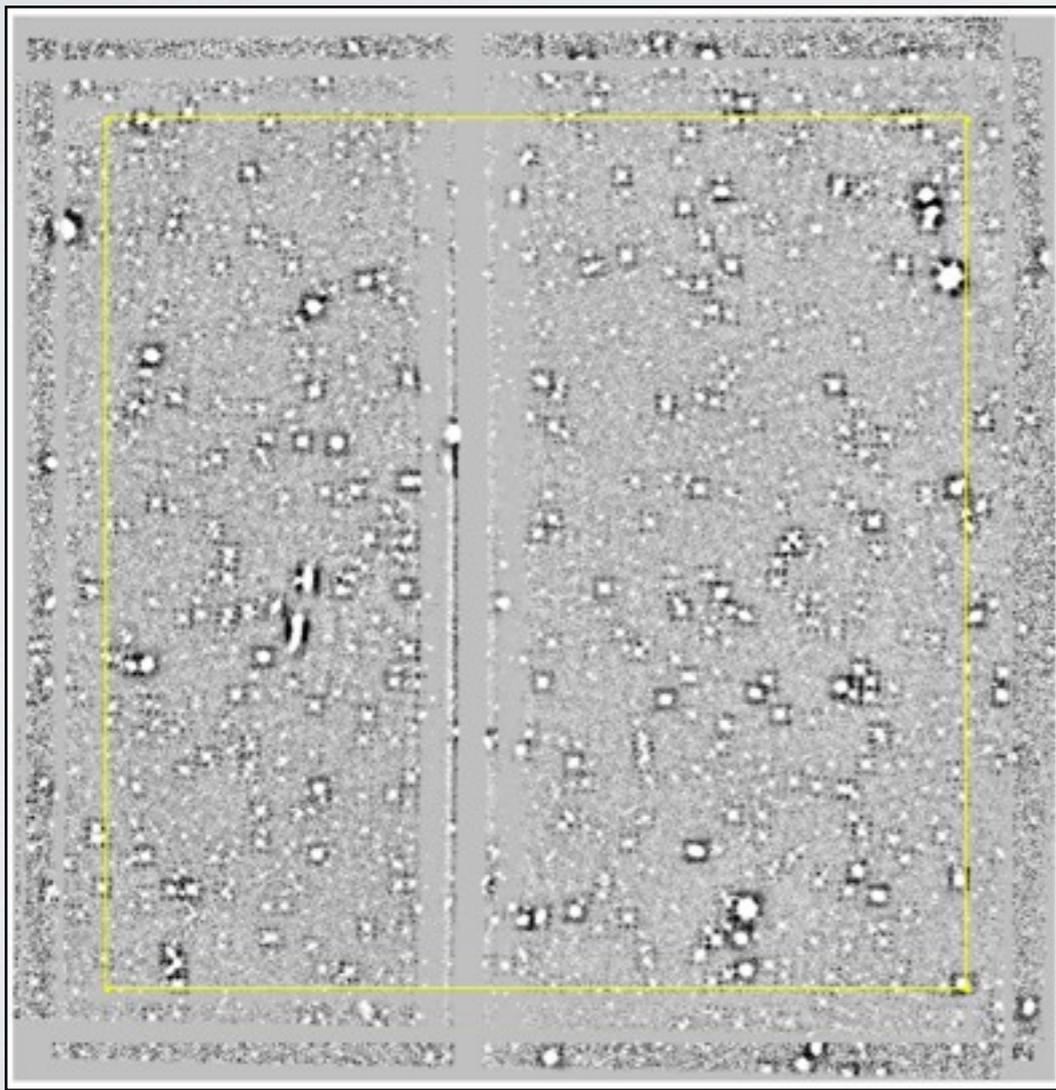
Preparación de las imágenes



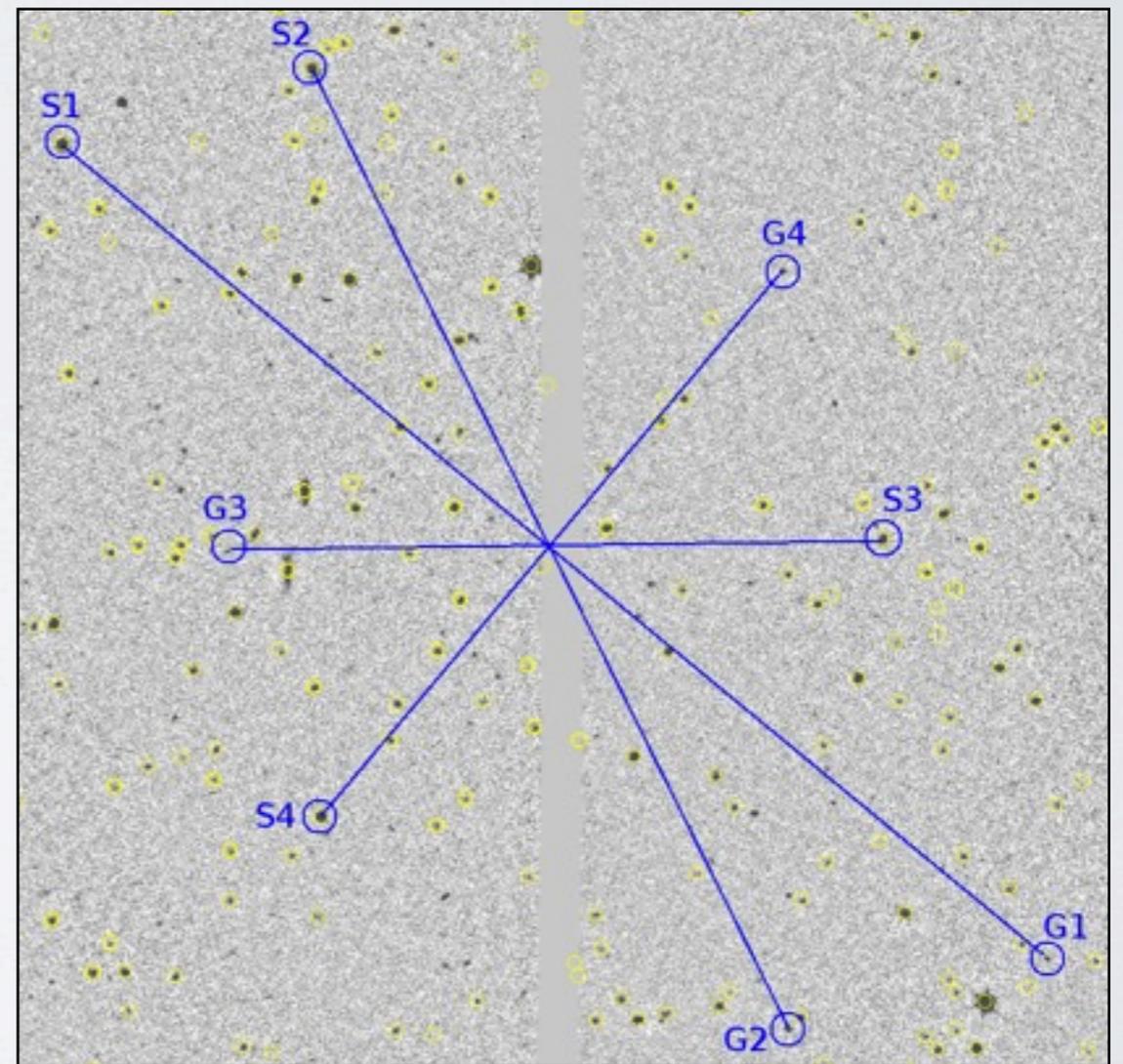
Construcción de imagen profunda

EXTRACCIÓN DE LAS FUENTES

Preparación de las imágenes



Construcción de imagen profunda

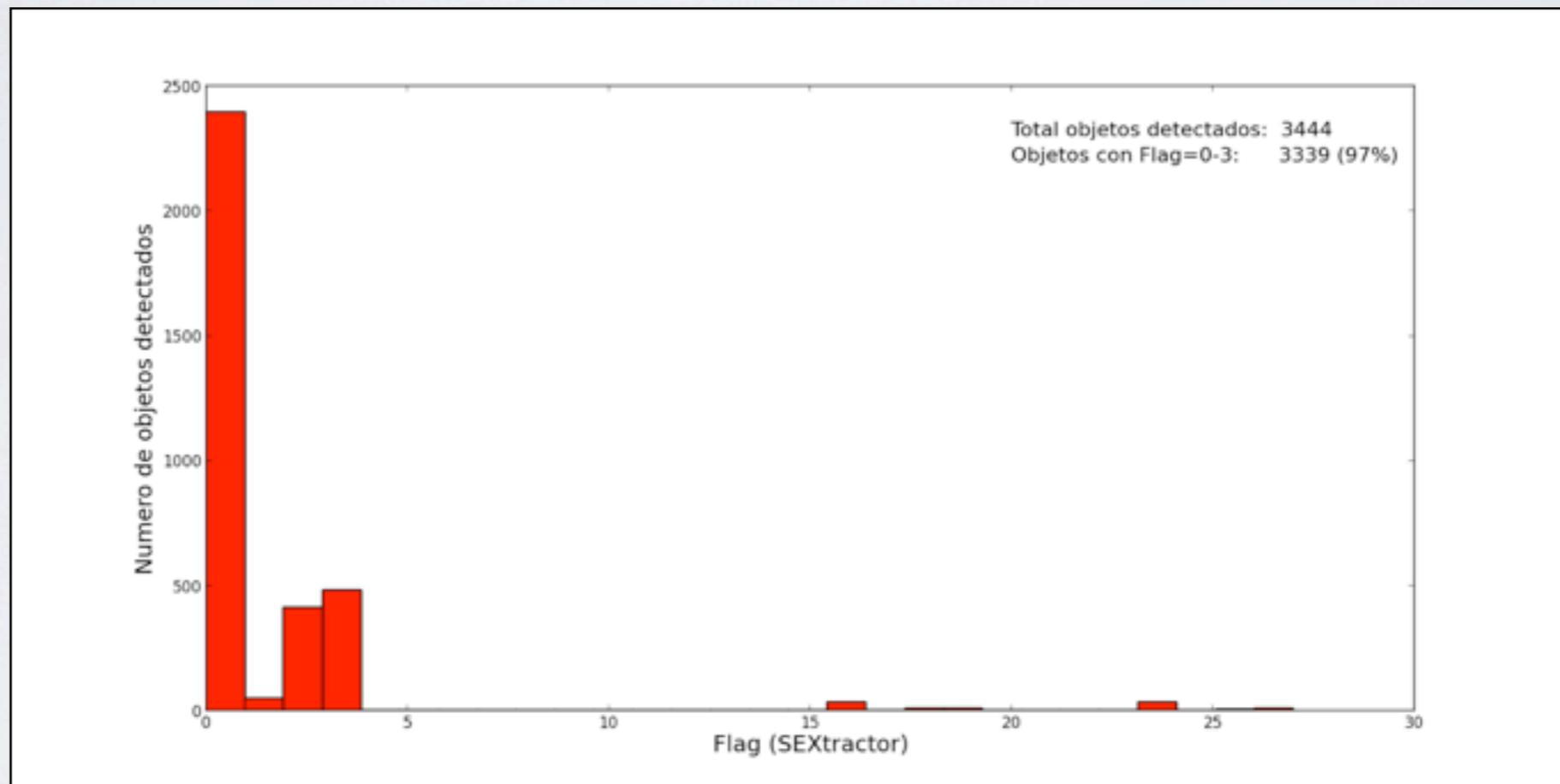


Determinación del centro óptico

Parámetros de extracción

Software: **SEXtractor** (modo dual)

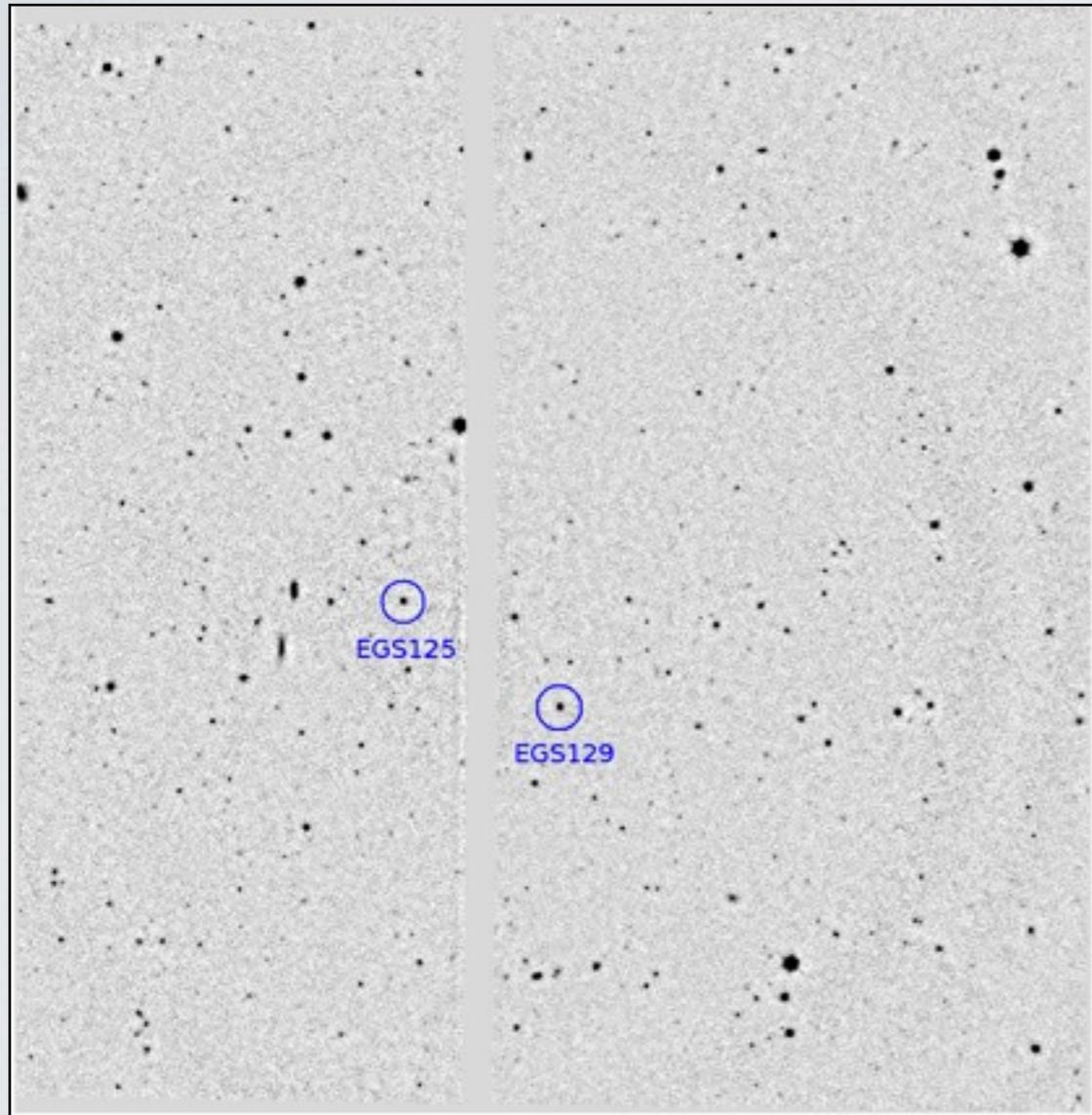
Parámetros: umbral de detección, área mínima de detección y umbral de análisis.



3444 fuentes detectadas

Primer catálogo de fuentes en bruto: 3339 fuentes

Calibración en longitud de onda



$$\lambda = \lambda_c - 5.04r^2 + a_3(\lambda)r^3$$
$$a_3(\lambda) = 6.17808 - 1.6024 \times 10^{-3}\lambda + 1.0215 \times 10^{-7}\lambda^2$$

Estándares espectrofotométricas en el campo

Calibración en flujo

- Conversión del flujo medido, de ADU a unidades físicas:

$$F_m = \frac{gK(\lambda)E_\gamma}{t \cdot A_{tel}} F_{ADU} \quad [\text{erg/s/cm}^2]$$

Calibración en flujo

- Conversión del flujo medido, de ADU a unidades físicas:

$$F_m = \frac{gK(\lambda)E_\gamma}{t \cdot A_{tel}} F_{ADU} \quad [\text{erg/s/cm}^2]$$

- Aproximación a la respuesta espectral del filtro sintonizable:

$$T(\lambda) = \left(1 + 4 \left[\frac{\lambda - \lambda_c}{\delta\lambda} \right]^2 \right)^{-1}$$

Calibración en flujo

- Conversión del flujo medido, de ADU a unidades físicas:

$$F_m = \frac{gK(\lambda)E_\gamma}{t \cdot A_{tel}} F_{ADU} \quad [\text{erg/s/cm}^2]$$

- Aproximación a la respuesta espectral del filtro sintonizable:

$$T(\lambda) = \left(1 + 4 \left[\frac{\lambda - \lambda_c}{\delta\lambda} \right]^2 \right)^{-1}$$

- Flujos integrados de las estrellas de calibración (convolución de sus flujos reales con la función de transmisión):

$$F = \int F_r(\lambda) T(\lambda) \cdot d\lambda$$

Calibración en flujo

- Conversión del flujo medido, de ADU a unidades físicas:

$$F_m = \frac{gK(\lambda)E_\gamma}{t \cdot A_{tel}} F_{ADU} \quad [\text{erg/s/cm}^2]$$

- Aproximación a la respuesta espectral del filtro sintonizable:

$$T(\lambda) = \left(1 + 4 \left[\frac{\lambda - \lambda_c}{\delta\lambda} \right]^2 \right)^{-1}$$

- Flujos integrados de las estrellas de calibración (convolución de sus flujos reales con la función de transmisión):

$$F = \int F_r(\lambda) T(\lambda) \cdot d\lambda$$

- Eficiencia del sistema:

$$\epsilon = \frac{F_m}{F}$$

Calibración en flujo

- Conversión del flujo medido, de ADU a unidades físicas:

$$F_m = \frac{gK(\lambda)E_\gamma}{t \cdot A_{tel}} F_{ADU} \quad [\text{erg/s/cm}^2]$$

- Aproximación a la respuesta espectral del filtro sintonizable:

$$T(\lambda) = \left(1 + 4 \left[\frac{\lambda - \lambda_c}{\delta\lambda} \right]^2 \right)^{-1}$$

- Flujos integrados de las estrellas de calibración (convolución de sus flujos reales con la función de transmisión):

$$F = \int F_r(\lambda) T(\lambda) \cdot d\lambda$$

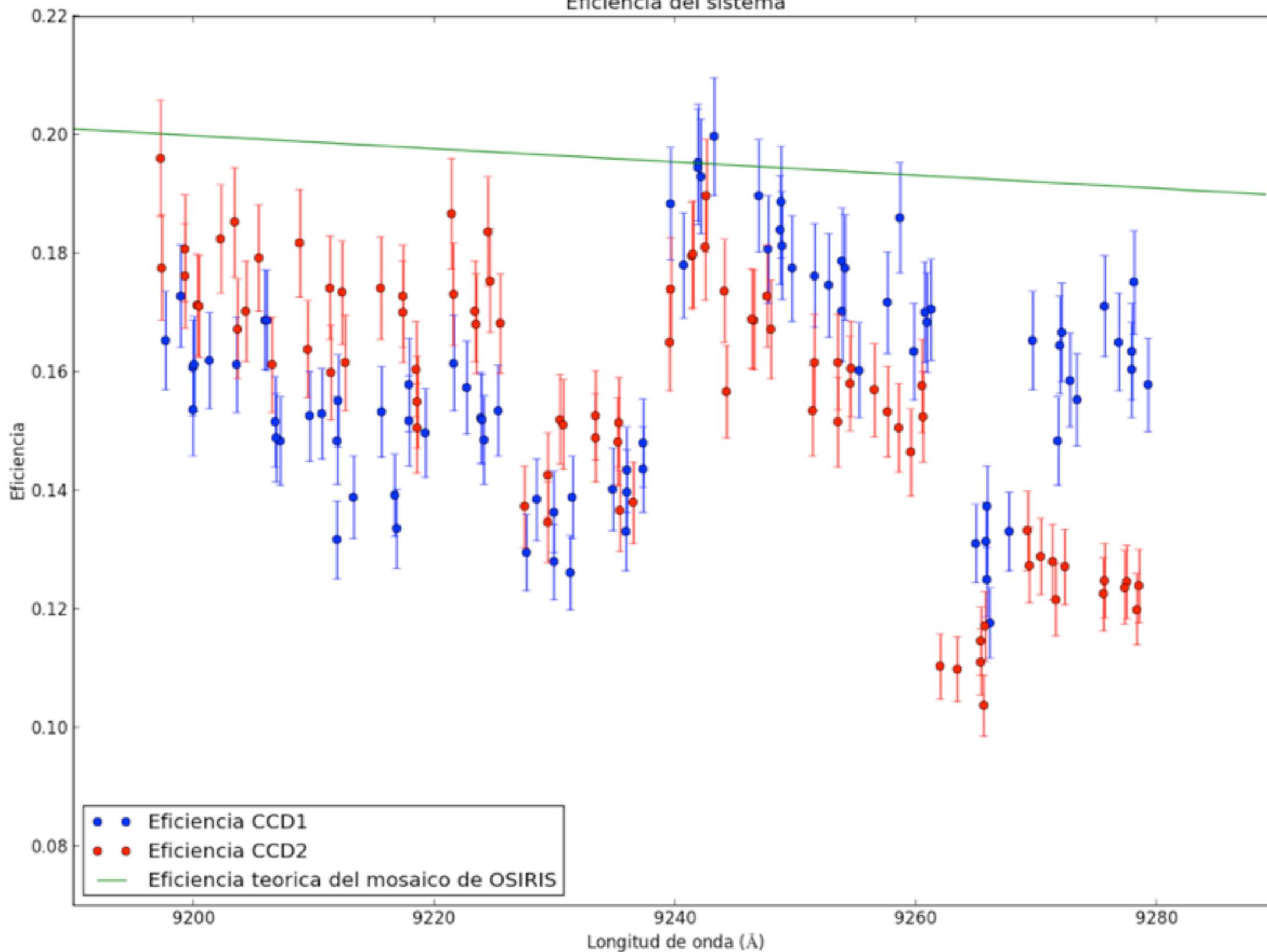
- Eficiencia del sistema:

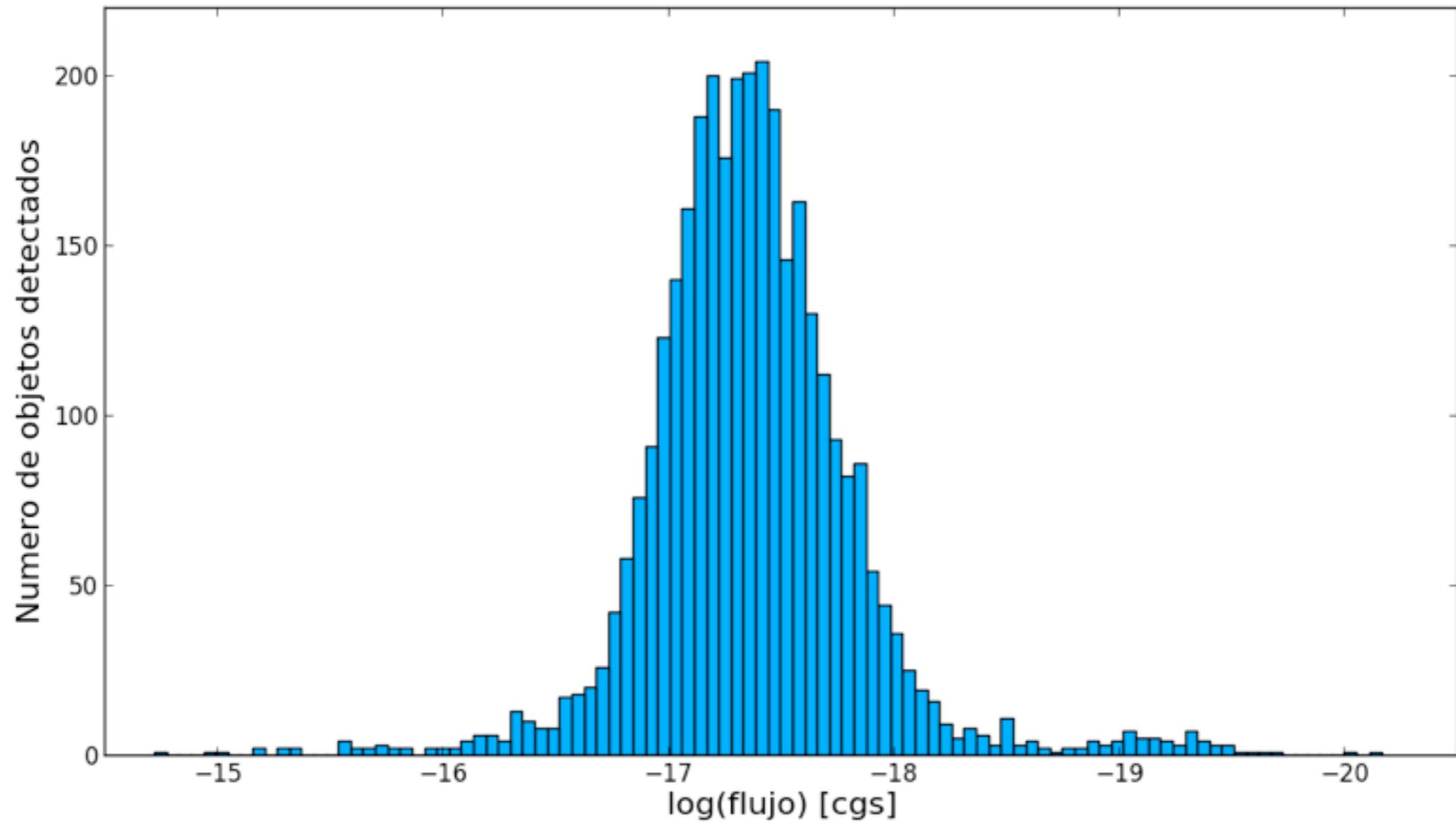
$$\epsilon = \frac{F_m}{F}$$

- Conversión del flujo medido en ADU al flujo real en unidades físicas:

$$F = \frac{F_m}{\epsilon} = \frac{gK(\lambda)E_\gamma}{t \cdot A_{tel} \cdot \epsilon} F_{ADU} \quad [\text{erg/s/cm}^2]$$

Eficiencia del sistema





Flujo de completitud: $\sim 5 \times 10^{-18}$ erg/cm²/s

Flujo límite: 1.27×10^{-18} erg/cm²/s (3σ)

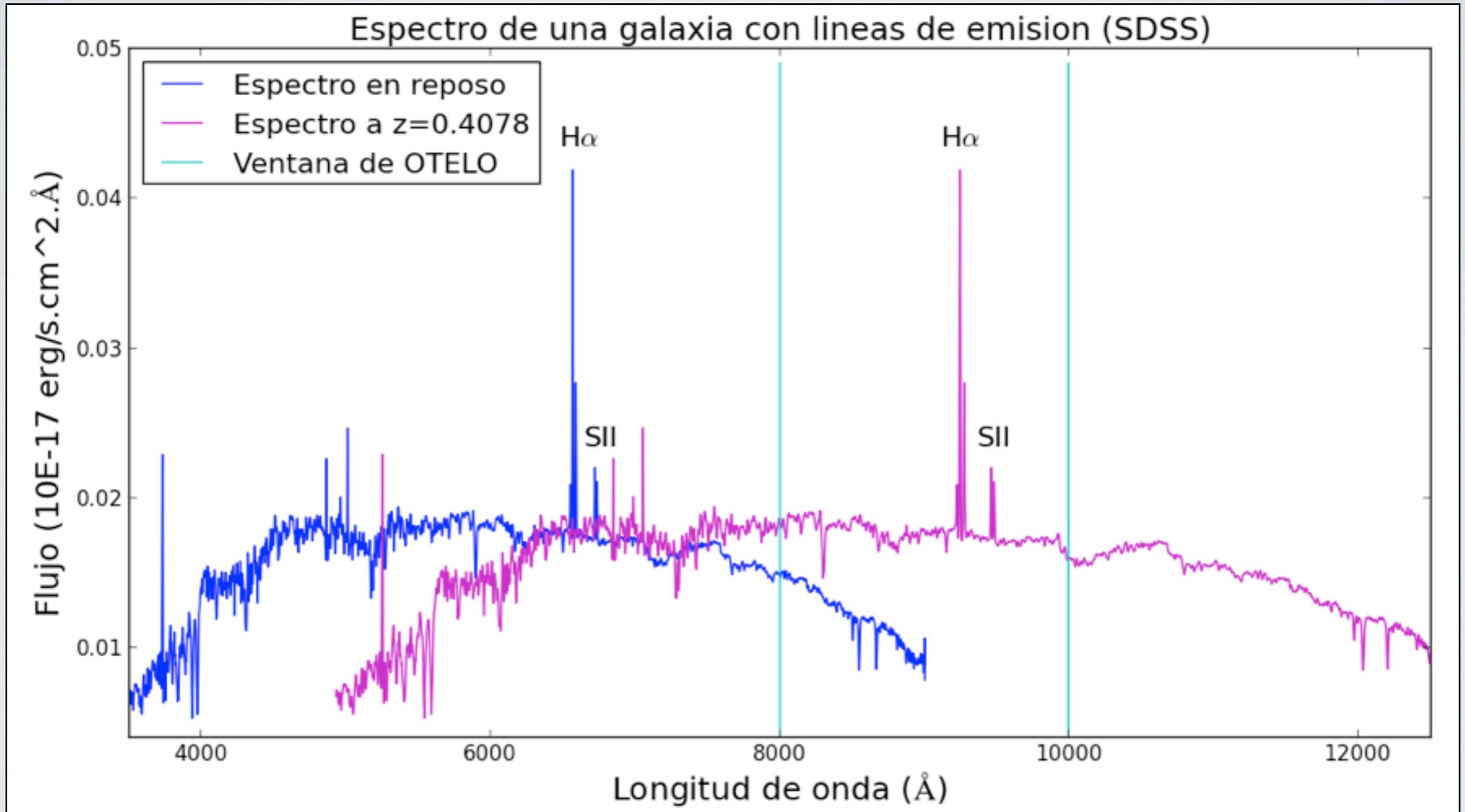
CATÁLOGO PRELIMINAR

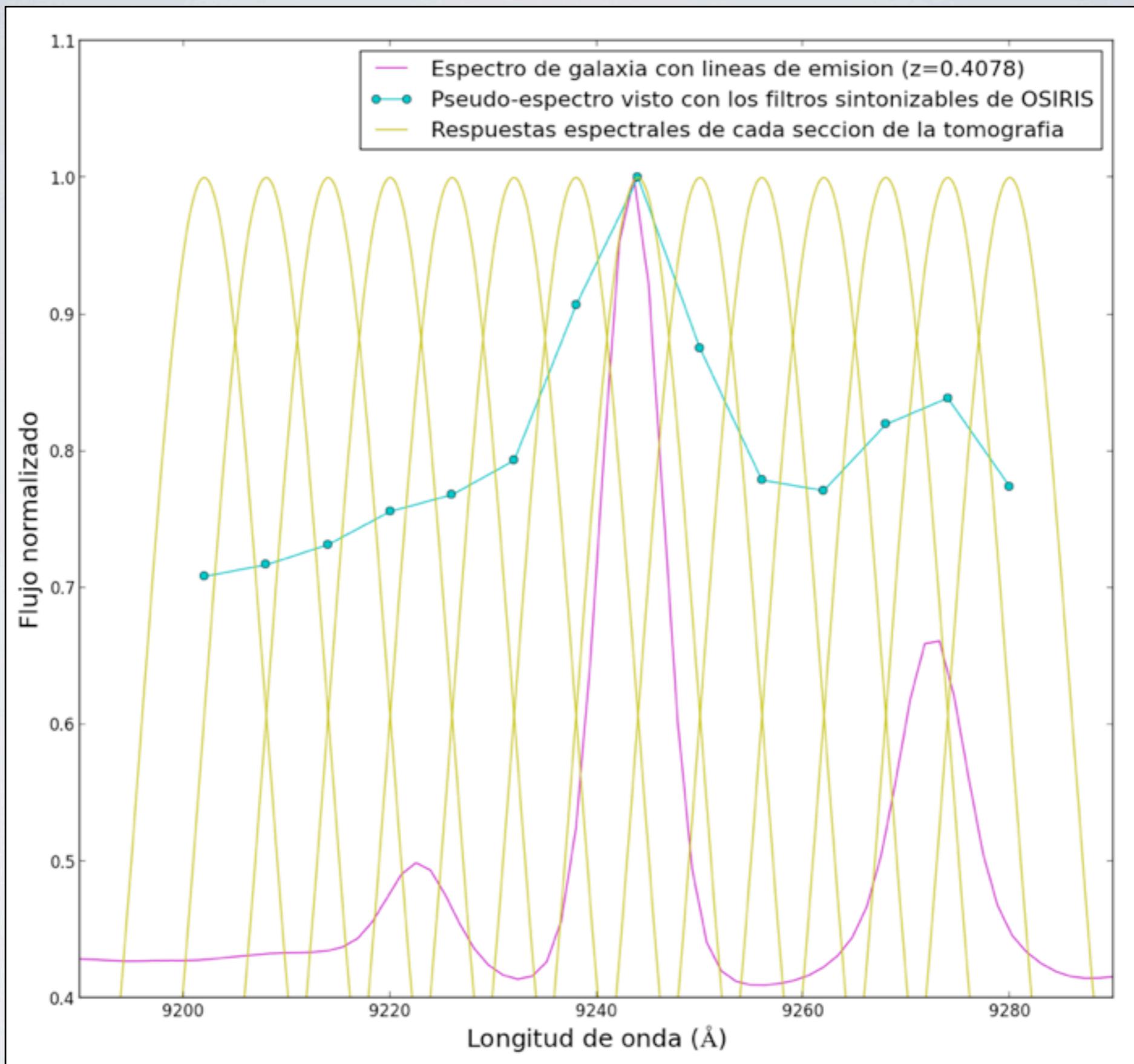
- Generación de pseudo-espectros de todas las fuentes detectadas
- Reconocimiento de máximos en los pseudo-espectros
- Generación de un catálogo de objetos emisores

¿Qué es un pseudo-espectro?

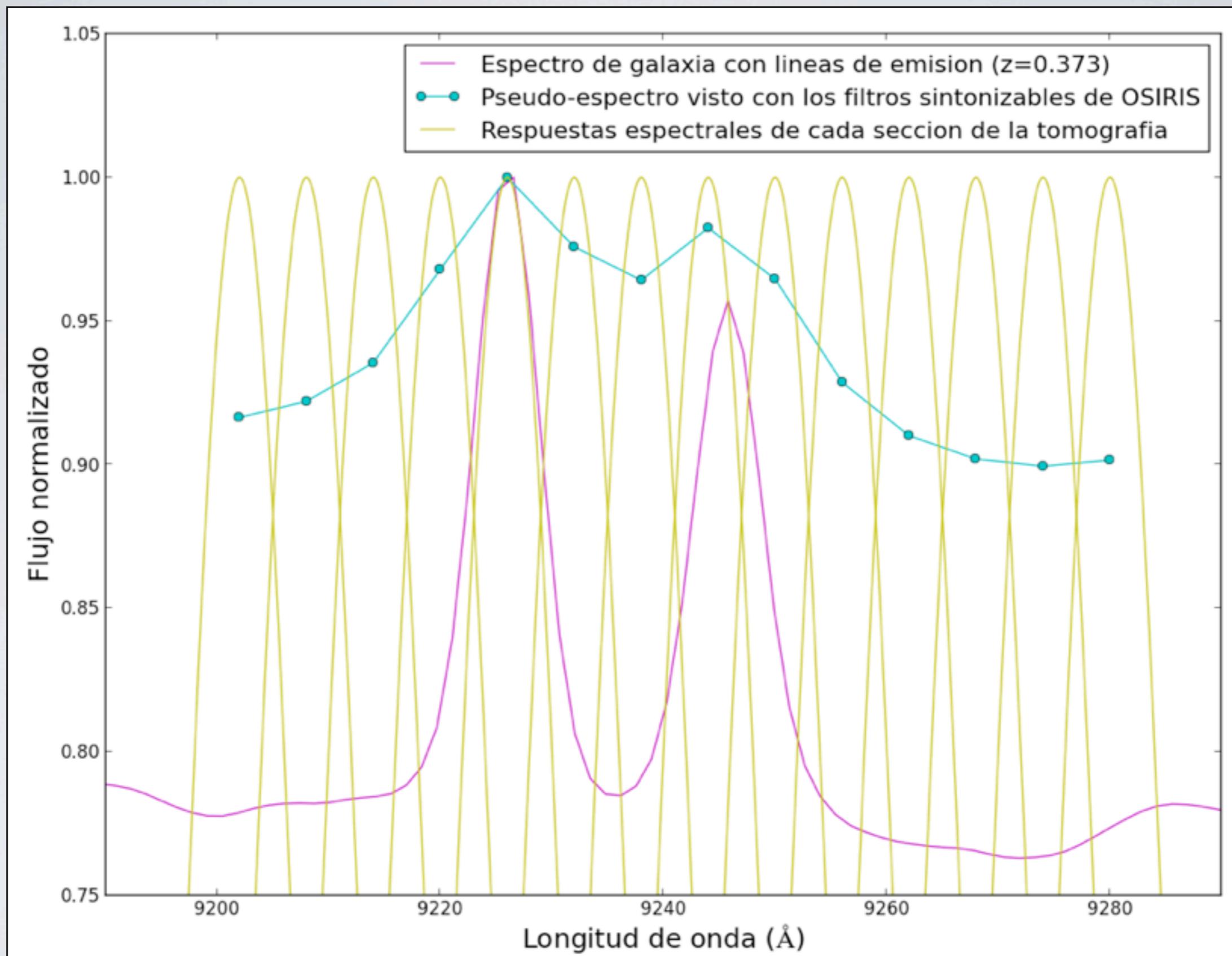
Cada punto de un pseudo-espectro corresponde al flujo integrado del objeto en una sección, es decir, al resultado de la convolución entre su espectro y la respuesta del filtro sintonizable. Estos flujos se obtienen mediante fotometría de apertura para cada imagen. A diferencia de un espectro usual, un pseudo-espectro no es continuo y debe ser deconvolucionado antes de poder ser analizado.

Ejemplos teóricos



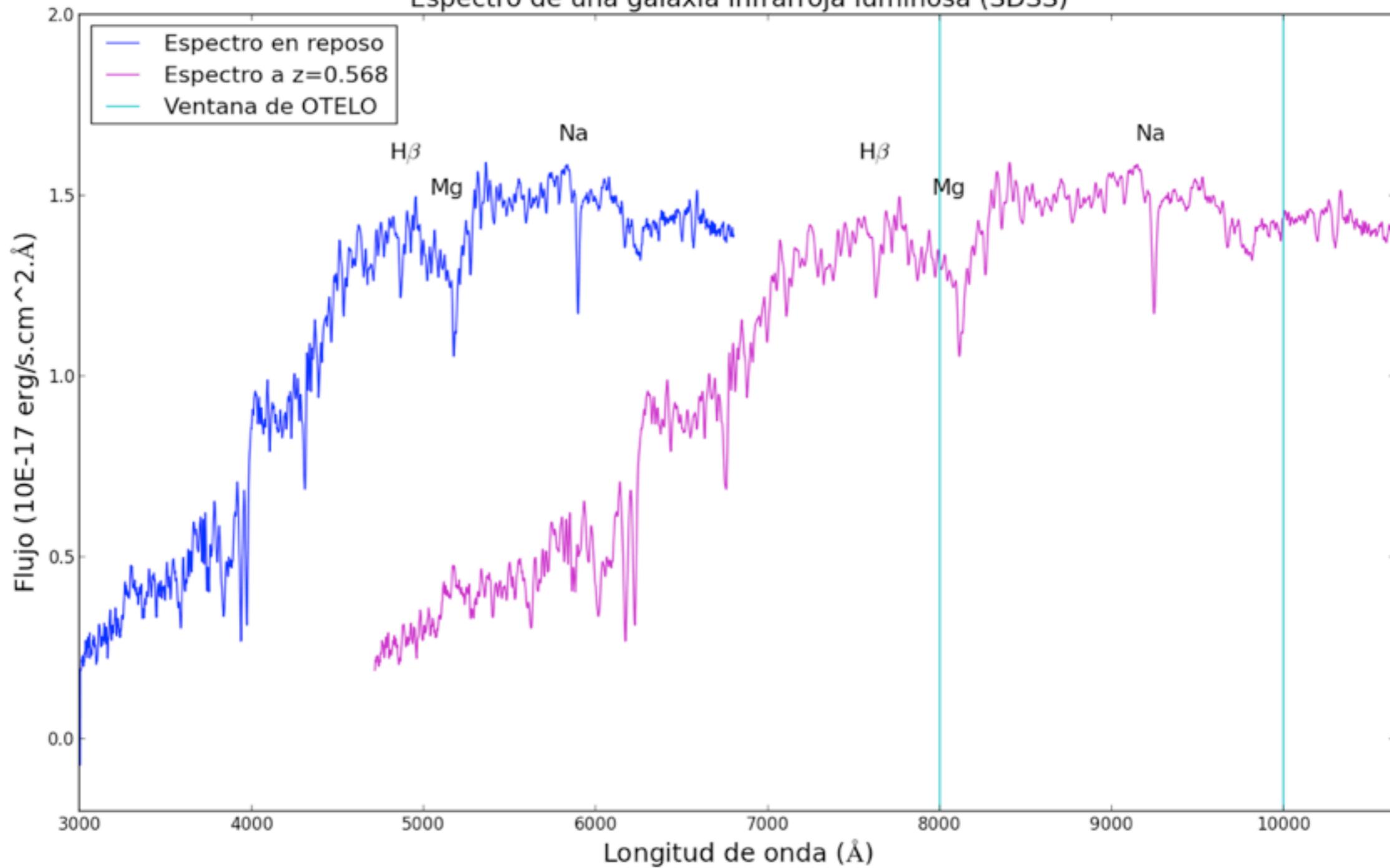


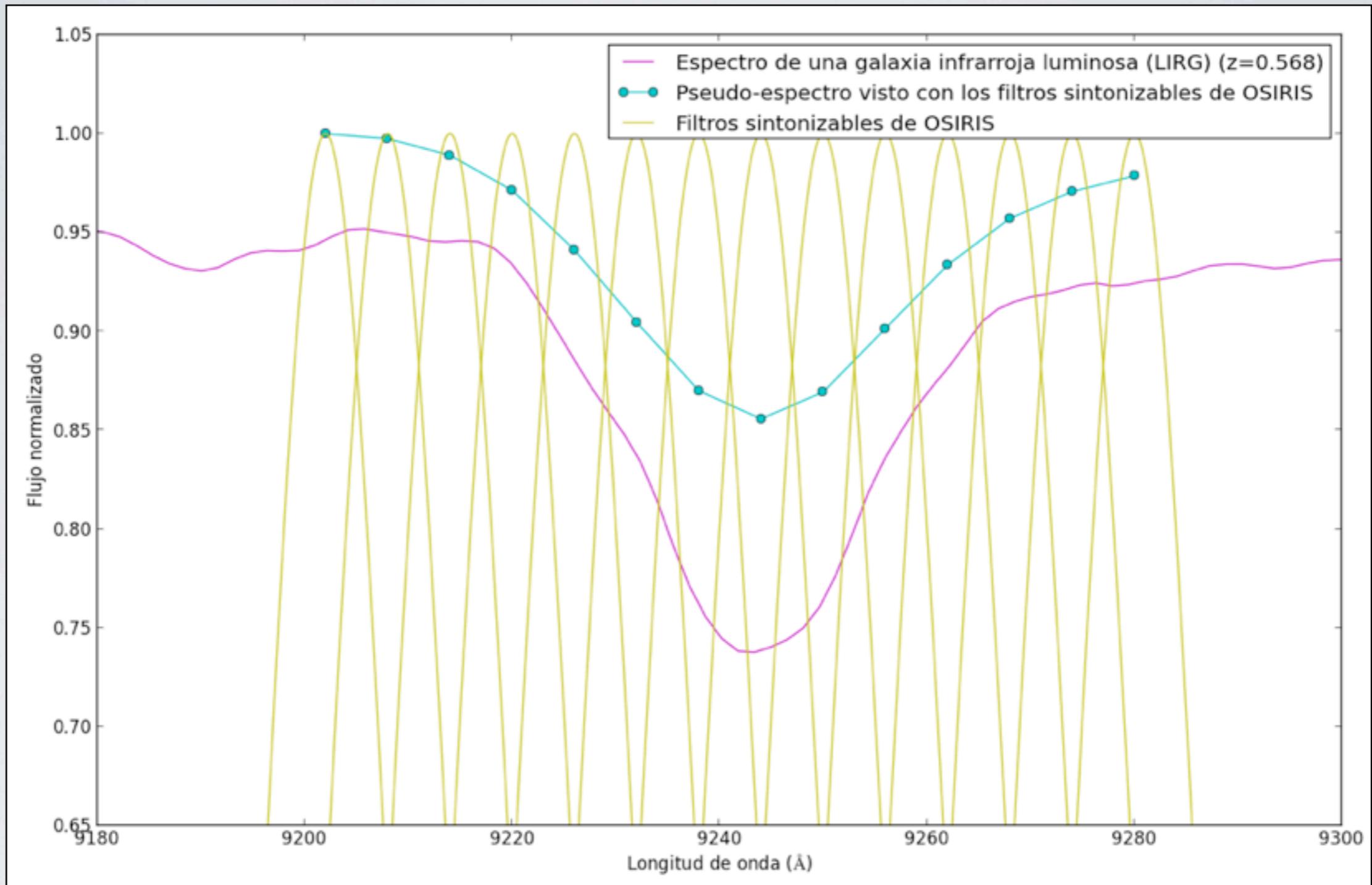
Línea central: H α (6563 Å)
Líneas laterales: NII (6554 y 6584 Å)



Doblete de [SII] (6716 y 6730 Å)

Espectro de una galaxia infrarroja luminosa (SDSS)

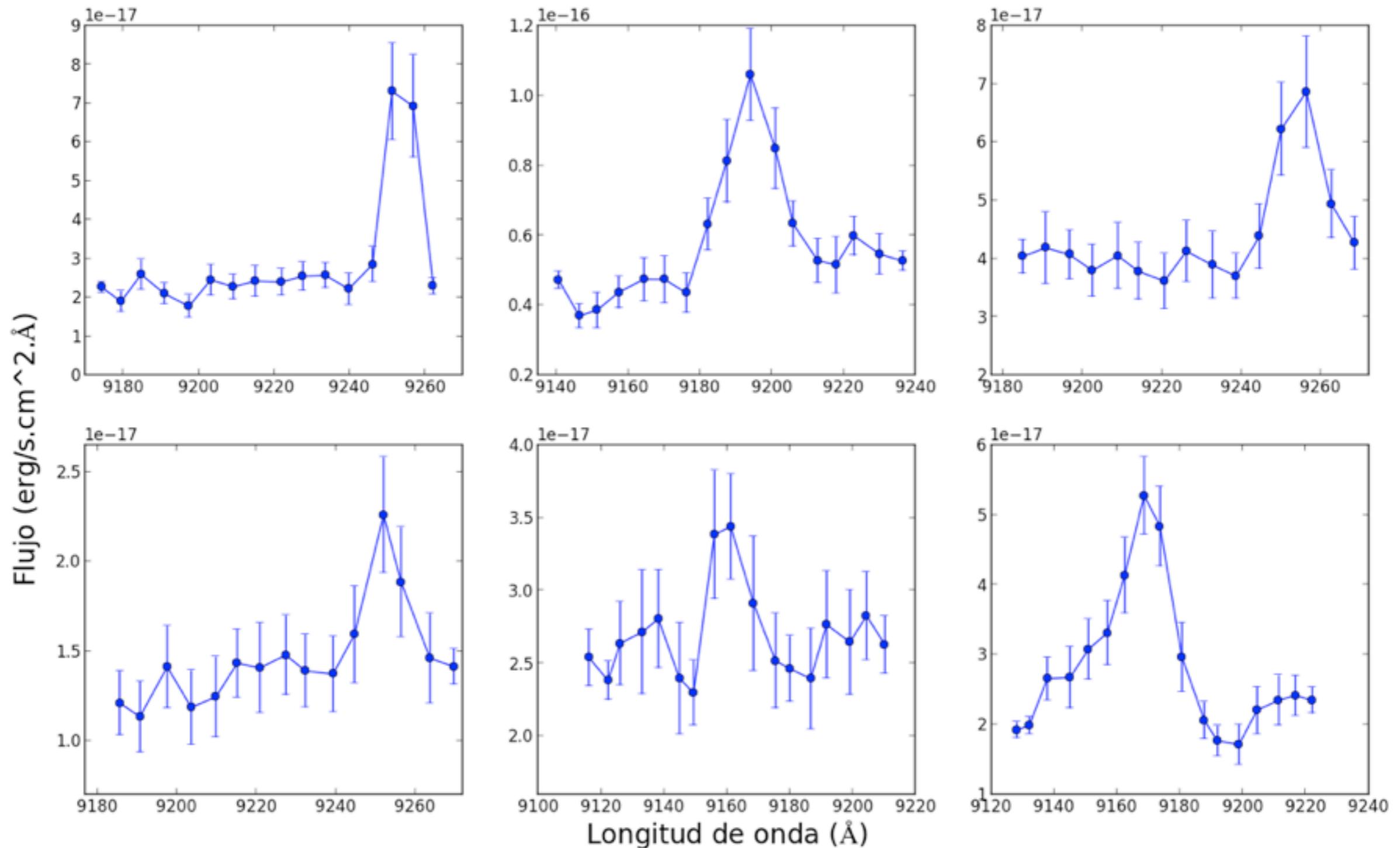




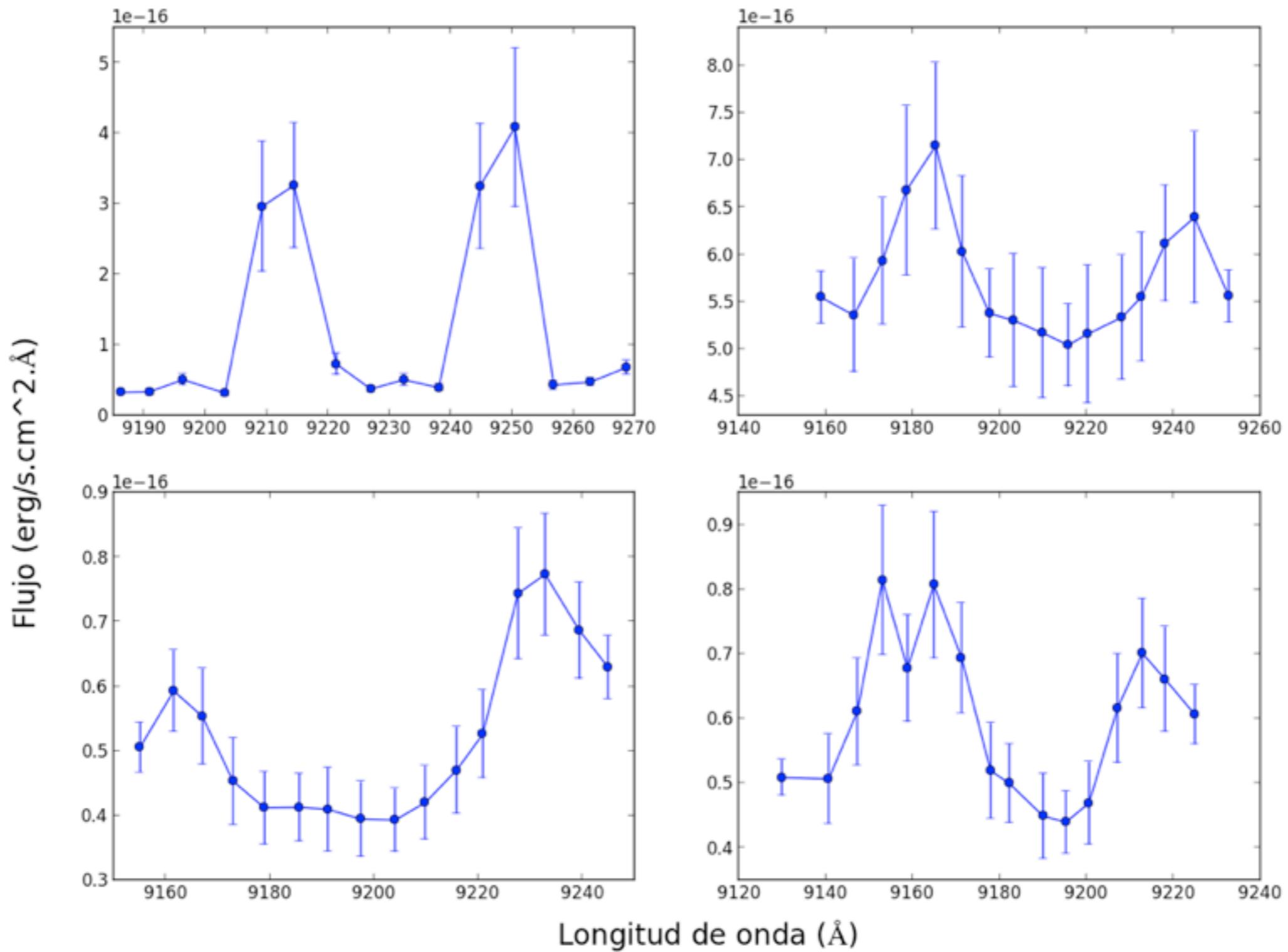
Línea de absorción de Na (5895 \AA)

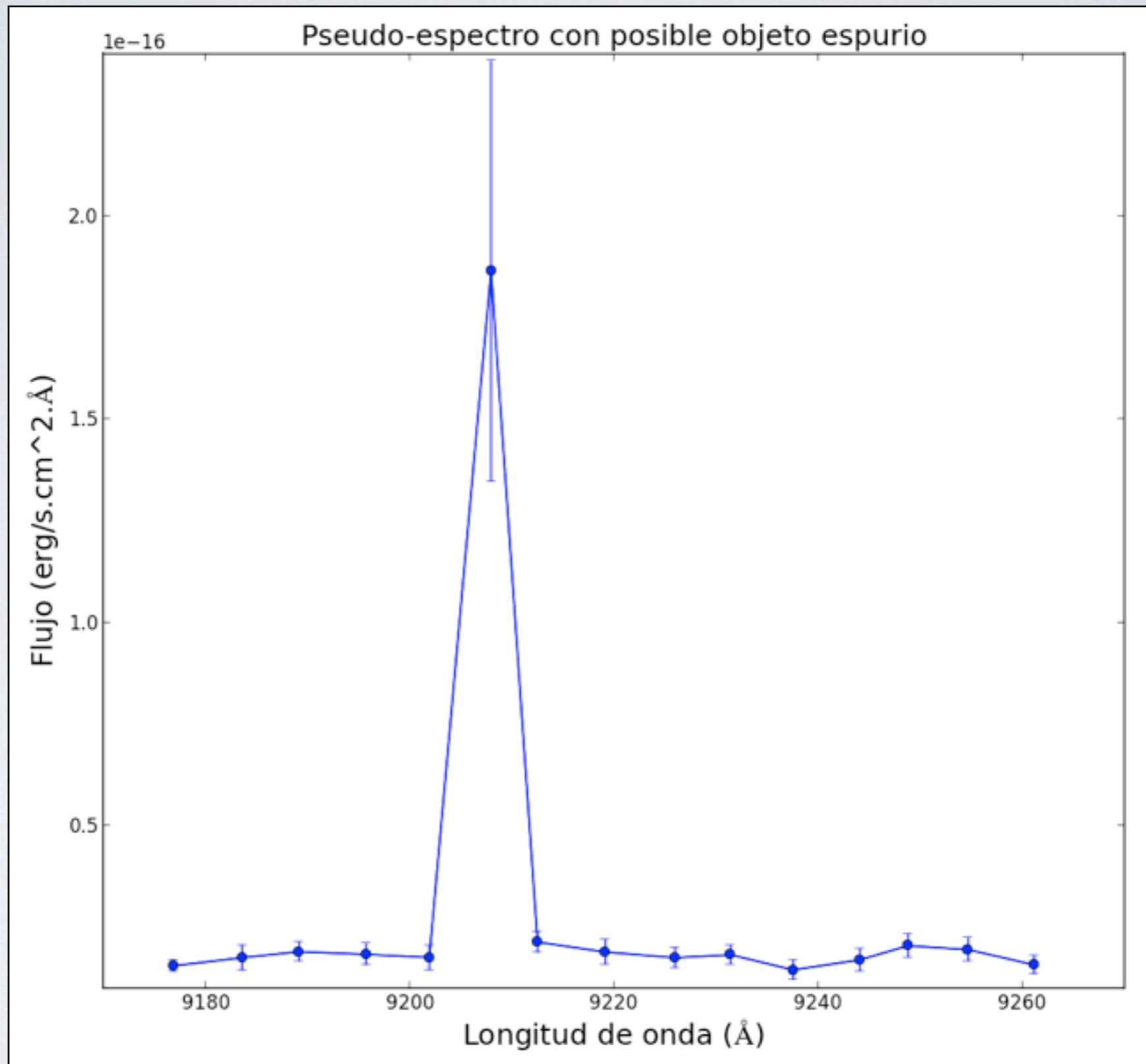
Ejemplos de pseudo-espectros obtenidos

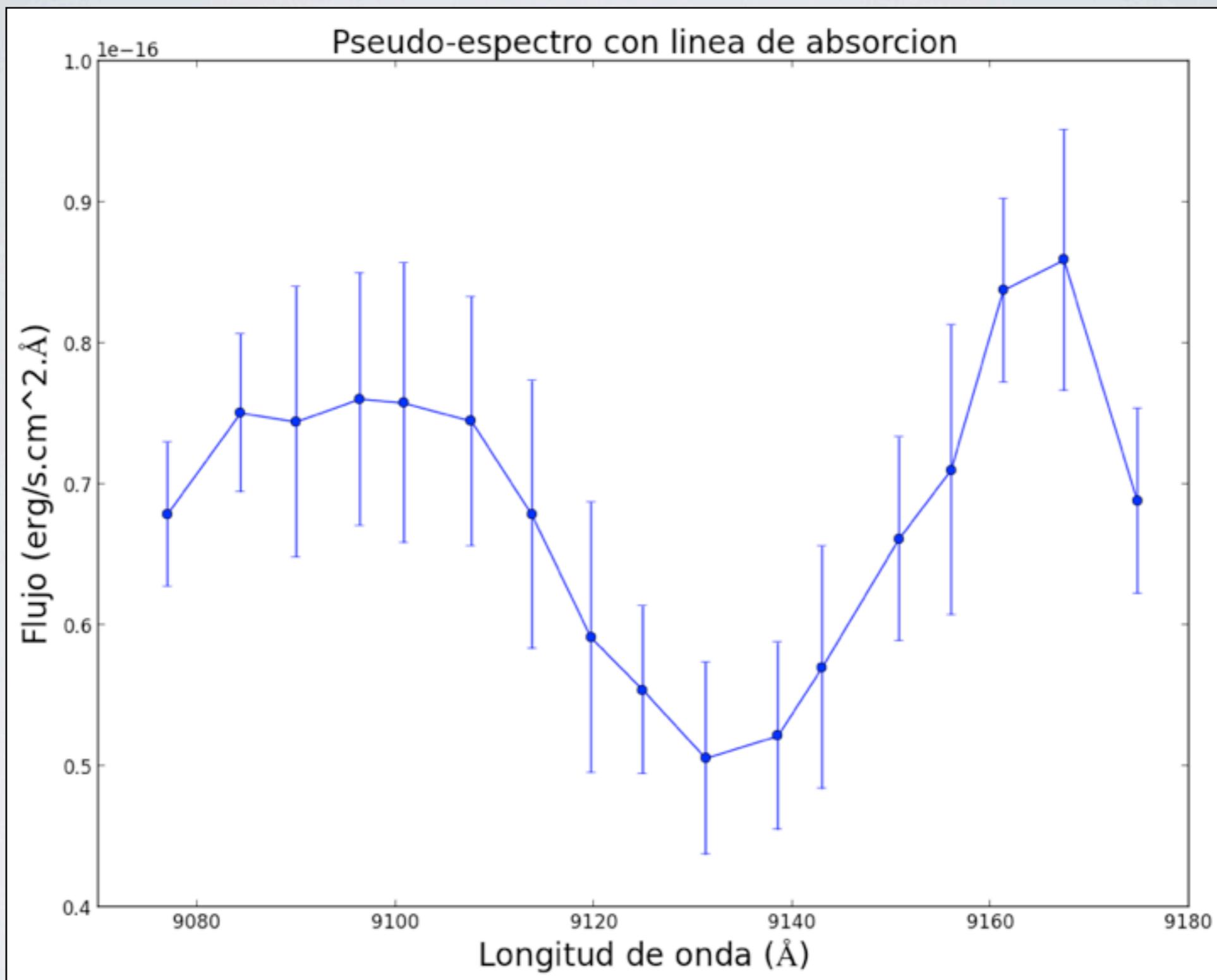
Pseudo-espectros con líneas de emisión



Pseudo-espectros con doble linea de emision



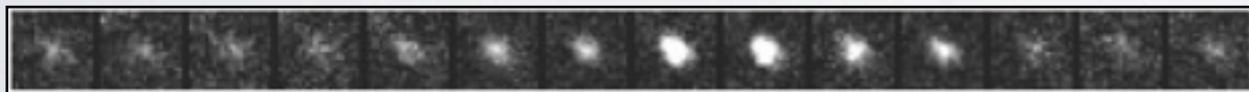
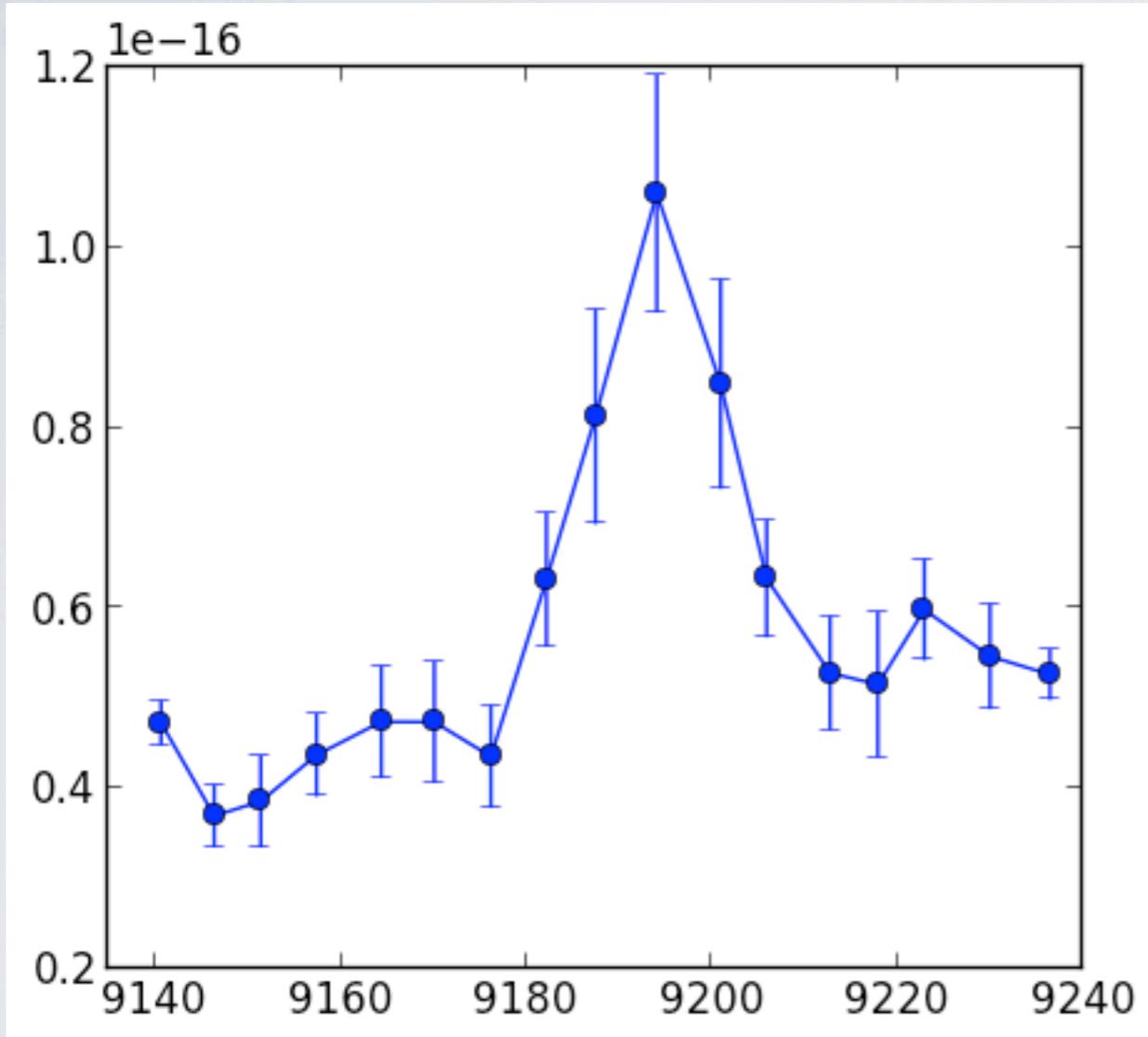




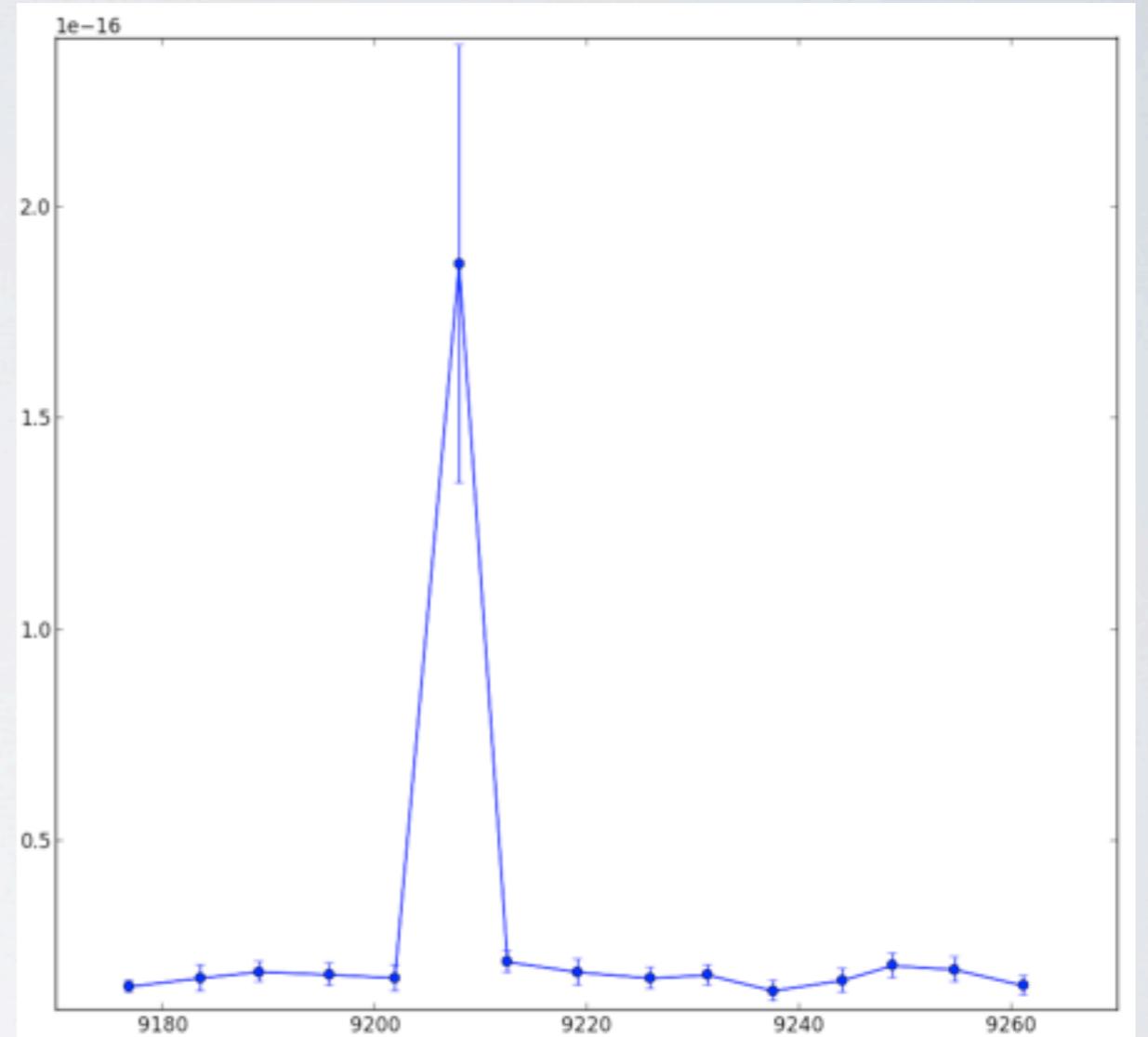
Extracción de candidatos

- 619 candidatos a objetos emisores, de los 3339 totales (18% del total)
- ~130 detecciones falsas (objetos espurios) (21% de los candidatos)
- Estimación final: el 14% de los objetos del campo son emisores

Visualización individual de candidatos



Visualización de un objeto emisor



Visualización de un objeto espurio

CONCLUSIONES

Primer catálogo de objetos en emisión del cartografiado OTELO en el campo EGS: ~14% de los objetos del campo son emisores

Flujo de completitud: $\sim 5 \times 10^{-18}$ erg/cm²/s

Flujo límite: 1.27×10^{-18} erg/cm²/s (3σ), superior al de otros cartografiados similares (SDF)

Pseudo-espectros prometedores a pesar de que los datos son parciales

PERSPECTIVAS

Refinación del catálogo obtenido:

Eliminación de objetos espurios / fantasmas

Mejora de la detección de las fuentes con continuo extremadamente débil

Ampliación del rango espectral cubierto con la llegada de nuevos datos

Perfeccionamiento del catálogo

Cotejo con datos de otros cartografiados

Realización de MOS de los objetos más relevantes

Determinación certera del flujo límite alcanzado

Comparación con la sensibilidad prevista para OTELO
y con otros cartografiados

Estudios con funciones de luminosidad de distintas
especies químicas para estimar el % de objetos
emisores que cabe esperar

Deconvolución de los pseudo-espectros

Extracción de parámetros físicos a partir de las líneas
de emisión detectadas



Elección de una línea de explotación de los
datos de OTELO en el ámbito extragaláctico
para la continuación de la tesis doctoral
(AGN, Ly α , QSO...)

GRACIAS
