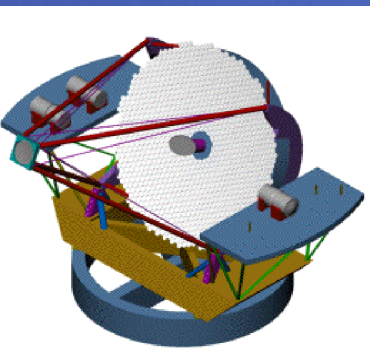
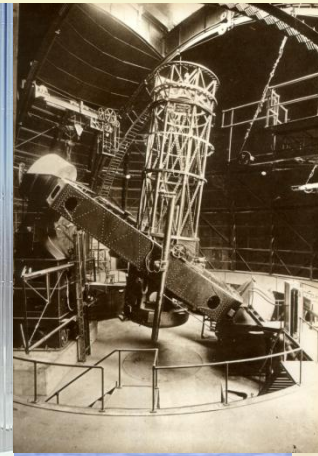
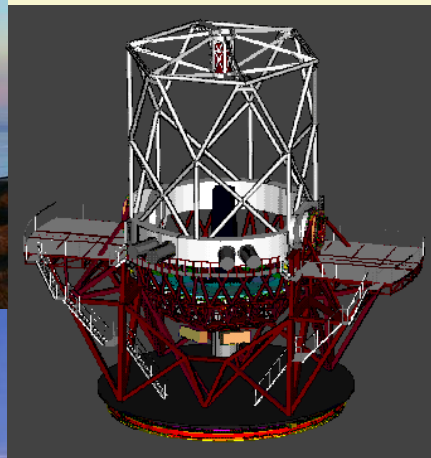




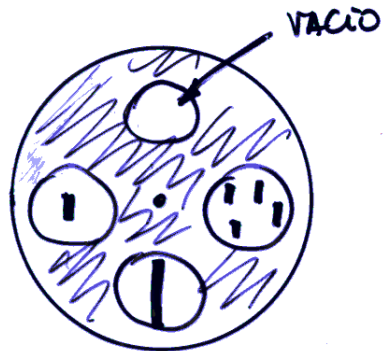
# Tema 11: espectroscopía multi-objeto, IFUs



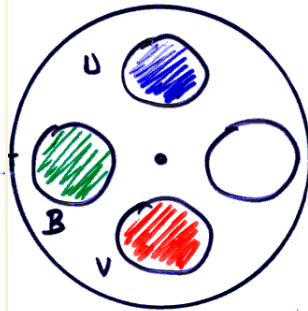


# Espectrógrafos de grismas

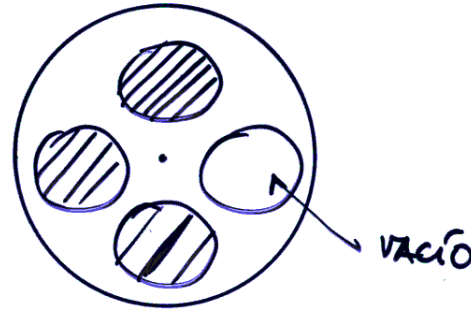
Se emplean como cámaras directas para obtener imágenes del campo al que apunta el telescopio o como espectrógrafos de resolución baja.



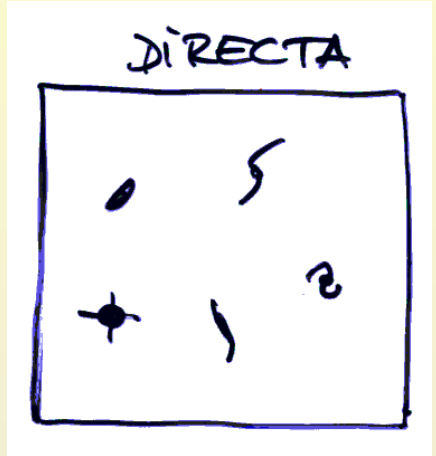
APERTURAS



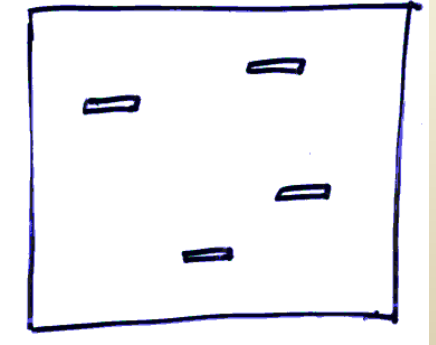
FILTROS



GRISMAS



ESPECTROS



- Se pueden usar como espectrógrafo simple o multiobjeto usando una placa con múltiples rendijas.
- Las placas de rendijas (o aperturas) se construyen a medida de cada observación con anterioridad y son intercambiables.
- Son espectrógrafos pensados para objetos débiles (cúmulos de galaxias, por ejemplo) ya que son sistemas muy luminosos.

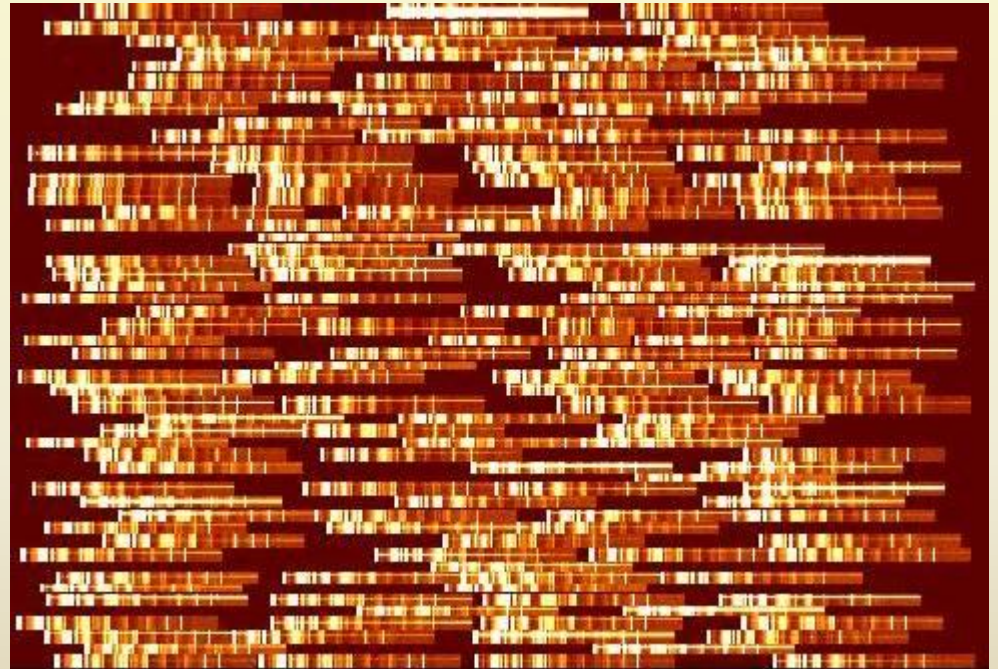




# Espectrógrafos de máscaras

El campo de visión del espectrógrafo se aprovecha al máximo mediante máscaras en las que se han construido varias rendijas (slitlets) que funcionan como rendijas independientes.

- Modos rendija larga y MOS
- Máscaras y rendijas intercambiables
- Espectrógrafos pensados para objetos débiles (cúmulos de galaxias, por ejemplo) ya que son sistemas muy luminosos.
- Pipeline compleja y automatizada





# Espectrógrafos de máscaras

Muy utilizado en "redshift surveys"

LRIS (Keck I, ~30 slitlets)



- Cámaras azul y roja
- 6'x8' FOV
- 2kx2k CCD + 2x 2kx4k CCDs
- $R=300-5,000$
- 81 sqr arcmin FOV
- 8 máscaras por noche
- Máscaras, 2 semanas antelación

DEIMOS (Keck II, ~200 slitlets)



- 500 nm rango longitud de onda
- 0.1 nm resolución espectral
- mosaico 2x4 CCDs de 2kx4k
- 81 sqr arcmin FOV
- Máscaras, 4 semanas antelación
- 11 máscaras por noche
- 30% throughput
- 150 Mb por imagen





# Espectrógrafos de máscaras

Muy utilizado en "redshift surveys"

GMOS (Gemini, ~600 slitlets)

VIMOS (VLT-3, ~700 slitlets)



- 4 brazos de 7'x8' FOV
- 4x 2kx4k CCDs
- R=200-2,500
- IFU con 6,500 fibras



- 5'x5' FOV
- 3x 2kx4k CCDs
- 18 máscaras por noche
- 2A resolución espectral
- IFU

**Instrumentación Astronómica**  
**Curso 2011/2012**

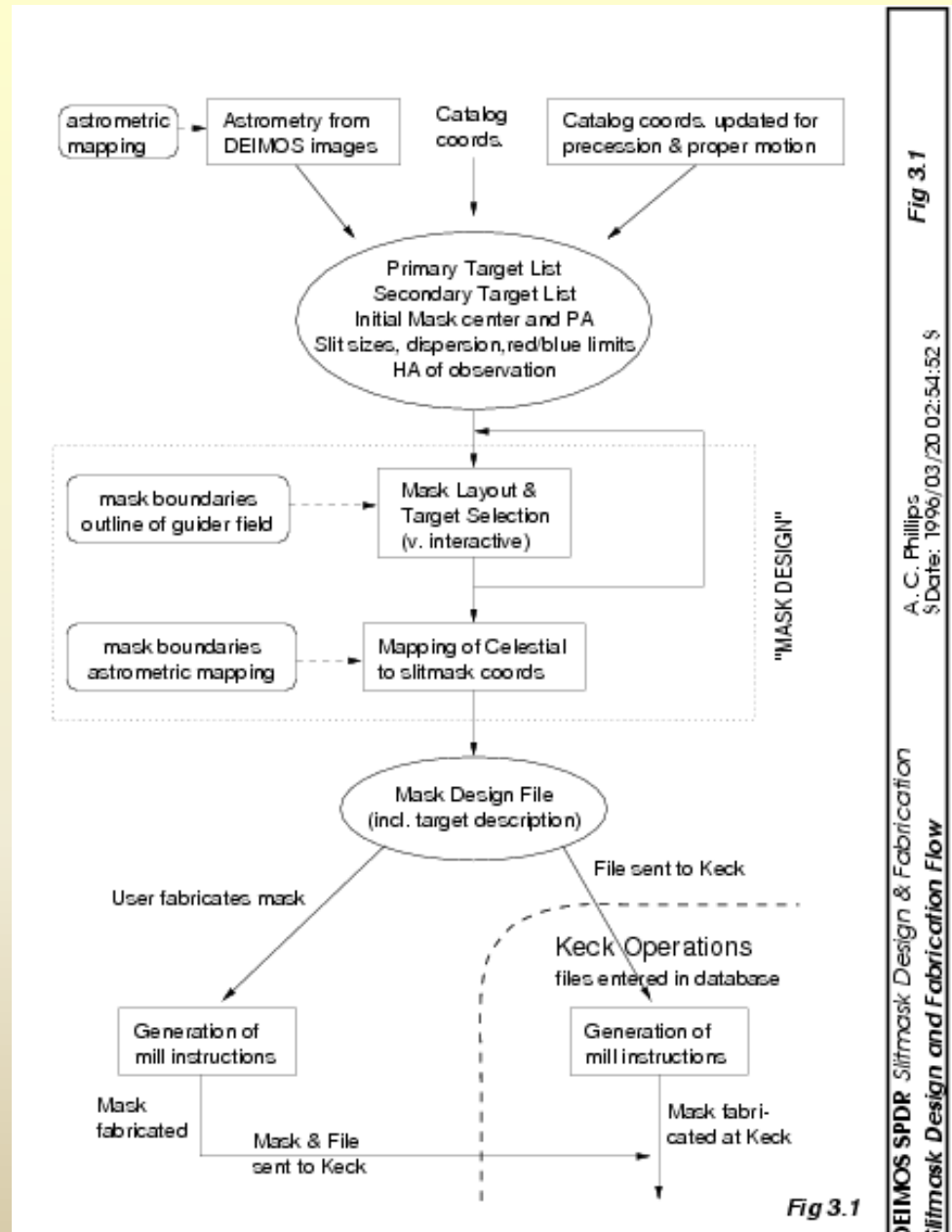
(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



# Espectrógrafos de máscaras

## Diseño de máscaras

- Astrometría precisa con antelación
- Catálogos
- Listas con diferentes prioridades
- Selección interactiva
- Varias aperturas de alineamiento
  
- Fichero de diseño
  
- "Punching machine"





# Espectrógrafos de máscaras

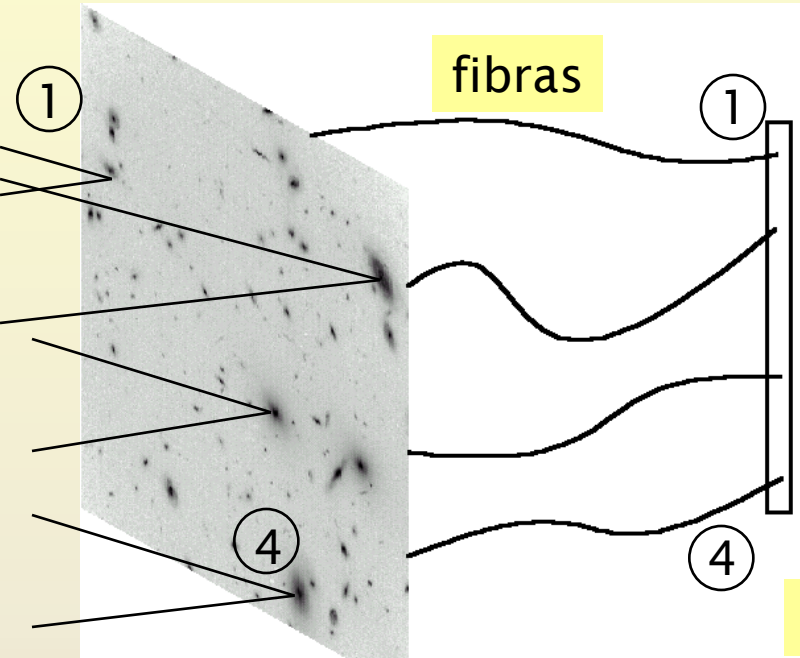
## Alineamiento de máscaras

- Imagen previa a través de la máscara
- Cálculo de offsets y rotación
- Ejecución de offsets y PA
- Imagen de confirmación (directa u orden 0)
  - Si necesario, nuevos offsets y PA
  - Ejecución de offsets y PA
- Integración



# Espectrógrafos de fibras (1)

Es otro tipo de espectroscopía multiobjeto. La idea es trasladar mediante fibras la luz de objetos a la rendija de un espectrógrafo único.



Imágenes en plano focal del telescopio

Espectros en el plano focal del espectrógrafo



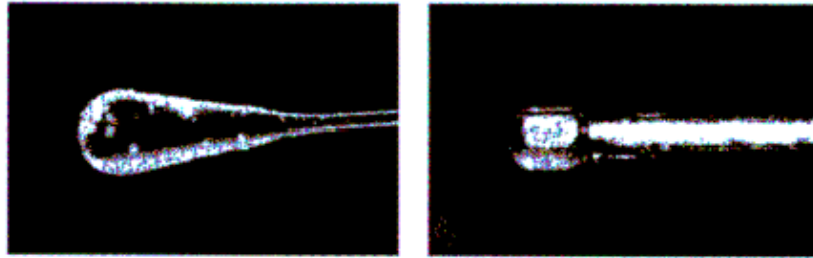
Las fibras están colocadas justo en la posición del plano focal correspondiente a la imagen de cada objeto; por eso se necesita realizar astrometría de precisión con anterioridad. El número de fibras es mucho mayor que el mostrado en este esquema sencillo (varios cientos).



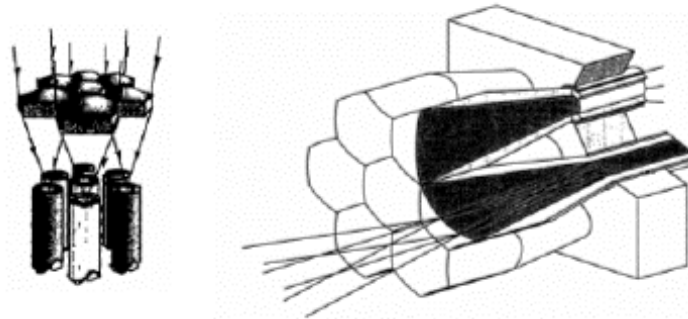


# Espectrógrafos de fibras (1)

- microlentes



**Figure 7:** This is an example of single microlens for the MOS mode. On the left panel is the flared tip of a fiber before it is glued into a metal ferrule. The right panel shows the flared fiber glued into a metal ferrule with a spherical lens surface on the tip and hexagonal cross-section.



**Figure 8:** This is an example of microlenses array of the mini-IFU bundle fibers for MOS mode.

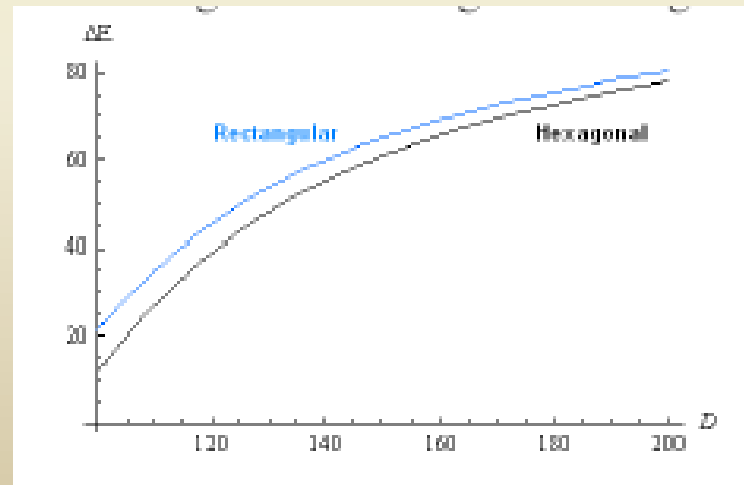
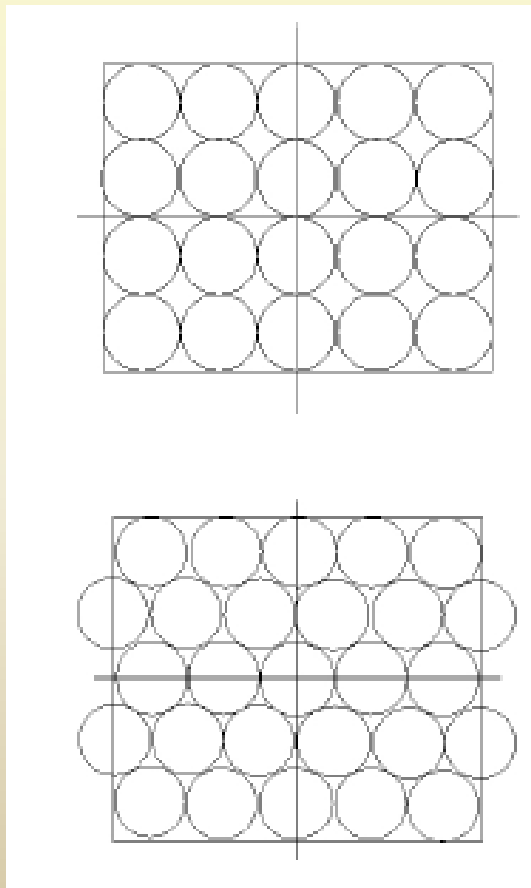


# Espectrógrafos de fibras (1)

- Pérdidas en el array de lentes

It is possible to calculate the losses due to the interspaces in the two cases, which, of course, will be less in the case of hexagonal distribution. In this last case, if we have ( $n_a$ ) vertical elements, ( $n_b$ ) horizontal elements and  $Z$  dead fibres, and we call  $d$  the core diameter of the fibre and  $D$  the external diameter of the fibre (core + cladding + buffer, see the next figure), the energy loss is given by

$$\frac{\Delta E}{100} = 1 + \frac{\pi \cdot Z}{4 \cdot (1 + (n_a - 1) \frac{\sqrt{3}}{2}) \cdot n_b} - \frac{n_a \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot (1 + (n_a - 1) \frac{\sqrt{3}}{2}) \cdot D^2}$$





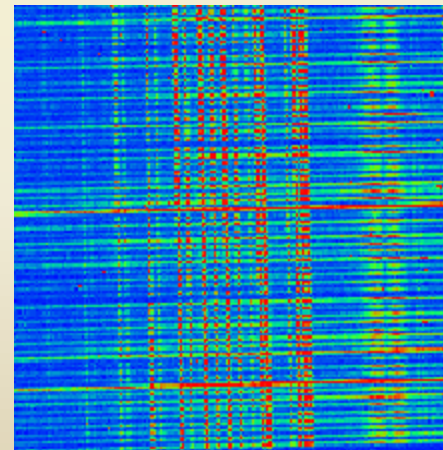
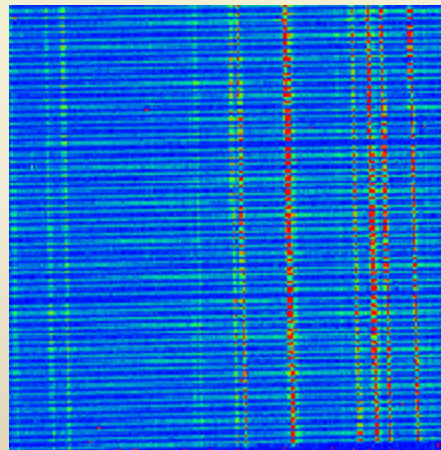
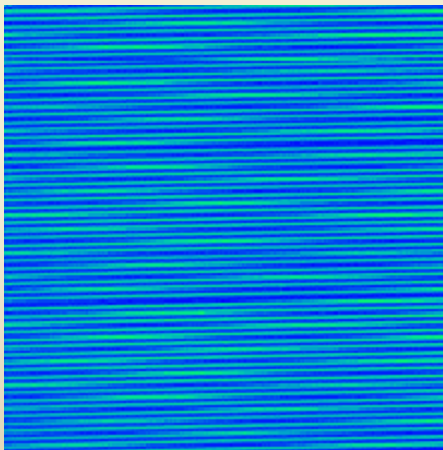
# Espectrógrafos de fibras (2)

Espectrógrafos de Máscara de aperturas:  
Placas a medida para cada campo con perforaciones donde se acoplan las fibras.

Ejemplo:  
Espectrógrafos de SDSS: 640 perforaciones en un disco de aluminio. La luz se envía a dos espectrógrafos dobles (dos canales)



Colocando las fibras



Flat field, arco de comparación e imagen científica con múltiples espectros.

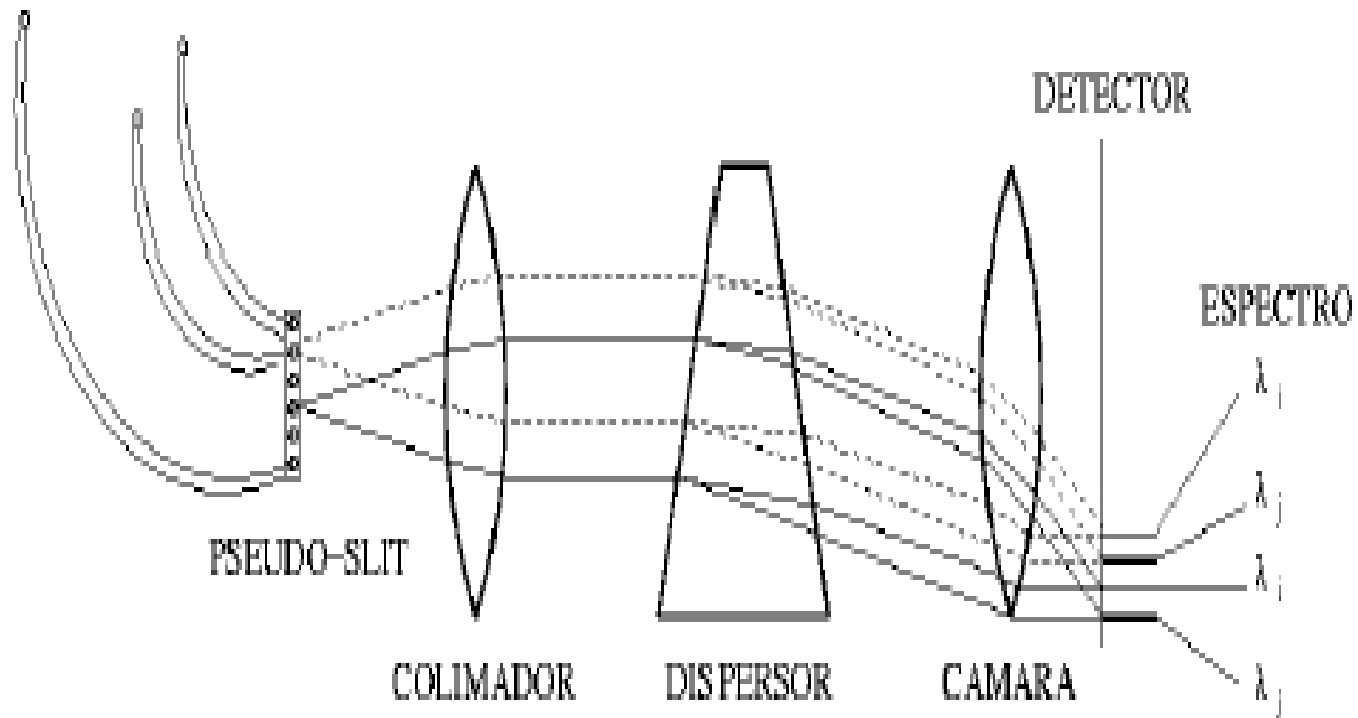
<http://skyserver.sdss.org/en/sdss/instruments/instruments.asp>





# Espectrógrafos de fibras (2)

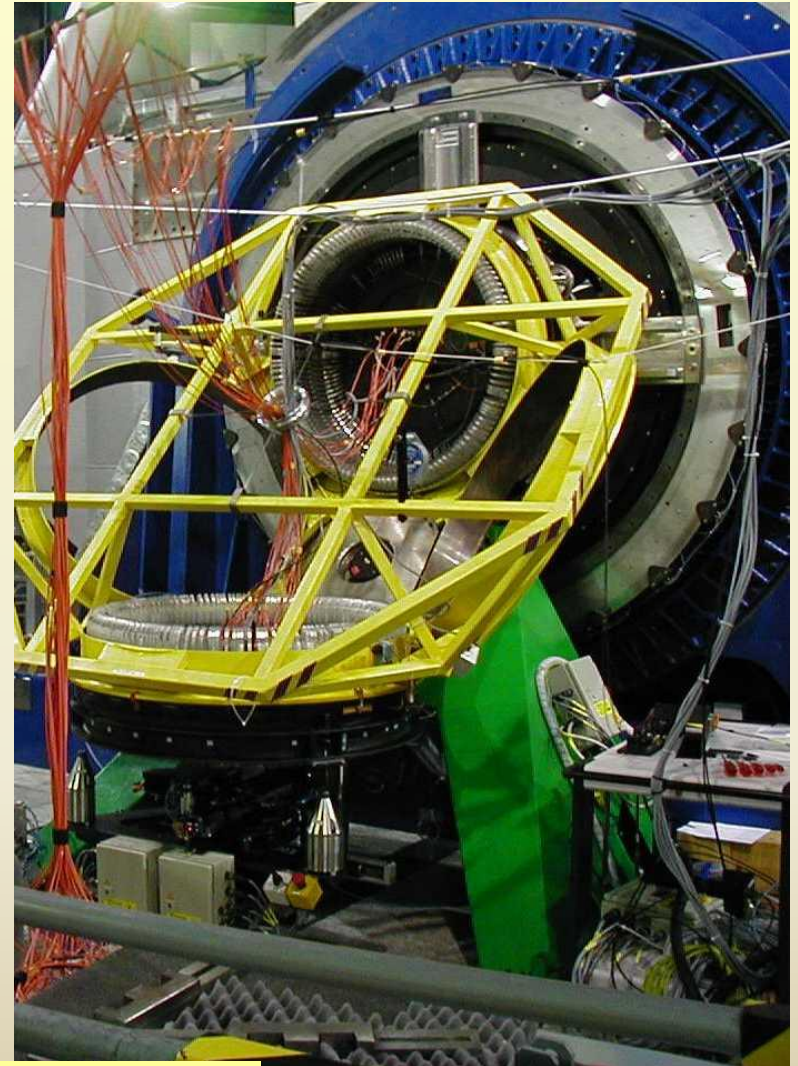
FIBRAS (configuración MOS)





# Espectrógrafos de fibras (3)

Espectrógrafos de fibras móviles.  
Las fibras se colocan a voluntad mediante sistemas robóticos.



MEDUSA (ESO VLT, 132 fibras de 1.2")

<http://www.eso.org/instruments/flames/Giraffe.html>

Curso 2011/2012

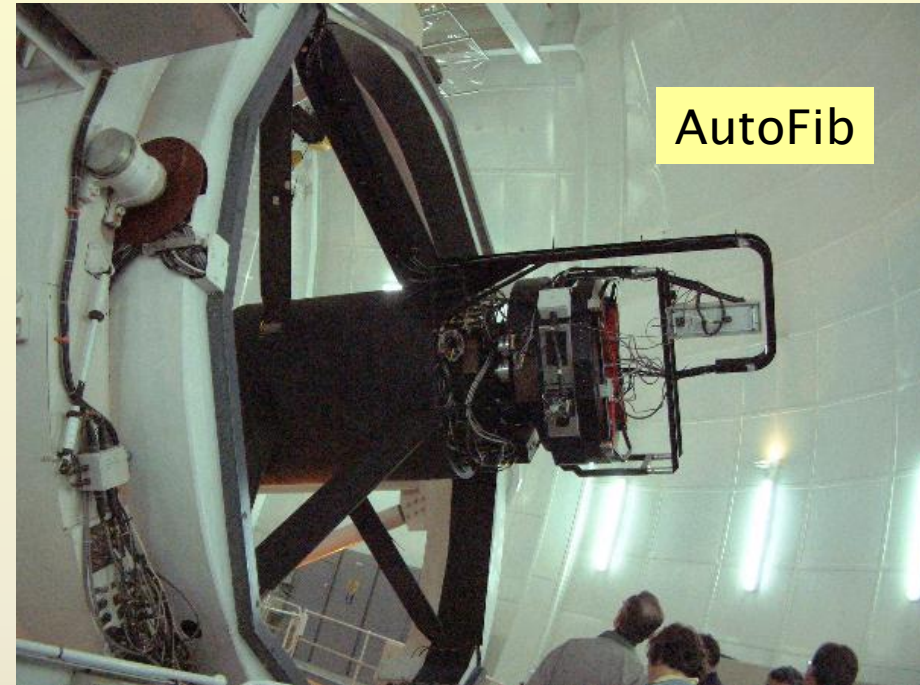
(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)





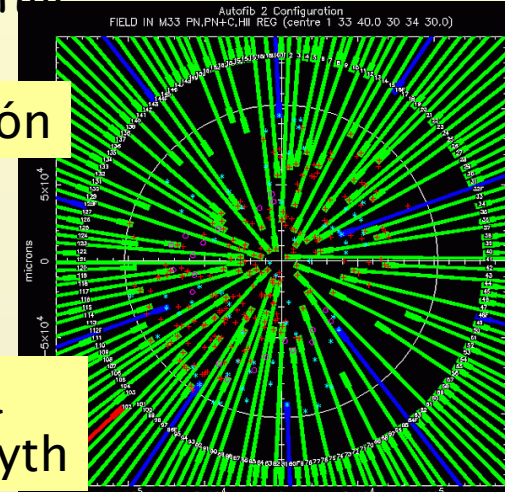
# Espectrógrafos de fibras (4)

Otro ejemplo de espectrógrafo de fibras móviles: AF2/WYFFOS (WHT 4.2m; ING, La Palma) (módulo de 150 fibras de 1".6 o 90 micras)  
<http://www.ing.iac.es/Astronomy/instruments/af2/index.html>

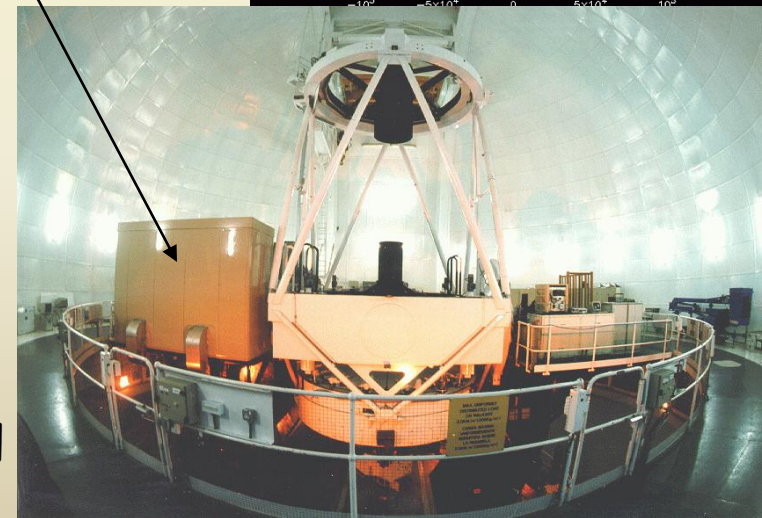


AutoFib

Configuración



WYFFOS en una plataforma Nasmyth



Las fibras son colocadas por un robot (AutoFib) en las posiciones previamente seleccionadas (configuración, práctica 7) en el foco primario del WHT 4.2m. Tienen 26m y conducen la luz hasta WYFFOS (Field Fibre Optical Spectrograph ) en la plataforma Nasmyth.





# Espectrógrafos de campo integral

Espectrógrafos de haces de fibras:

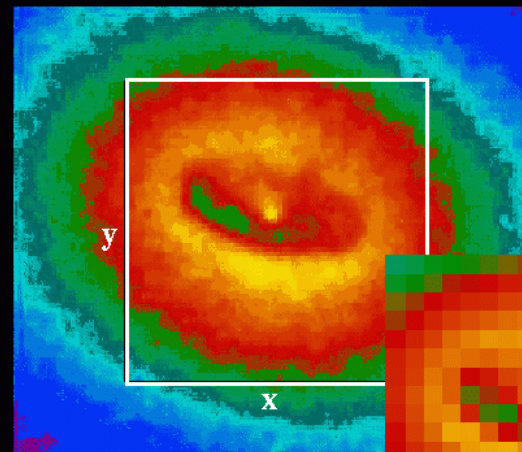
- Una zona bidimensional del cielo (blanco) es muestreado en elementos espaciales discretos (SPAXELS)

- Espectros individuales de cada SPAXEL simultáneamente en todo el FOV

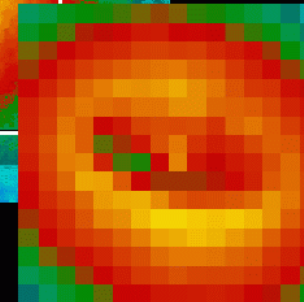
- Tras la reducción, los espectros individuales se reorganizan para formar un cubo en 3 dimensiones (2 espaciales y 1 en longitud de onda; espectroscopía 3D)

- Alternativamente, es posible crear imágenes monocromáticas o en bandas fotométricas concretas a partir de rebanadas del cubo

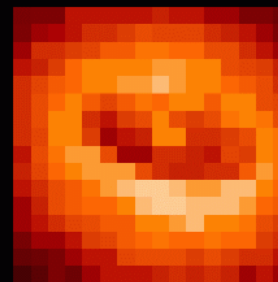
- Debido a la refracción atmosférica, el cubo se deforma en un somboide debido al desplazamiento espacial en función de la longitud de onda



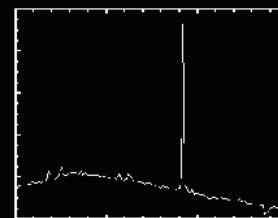
Object on the sky ...



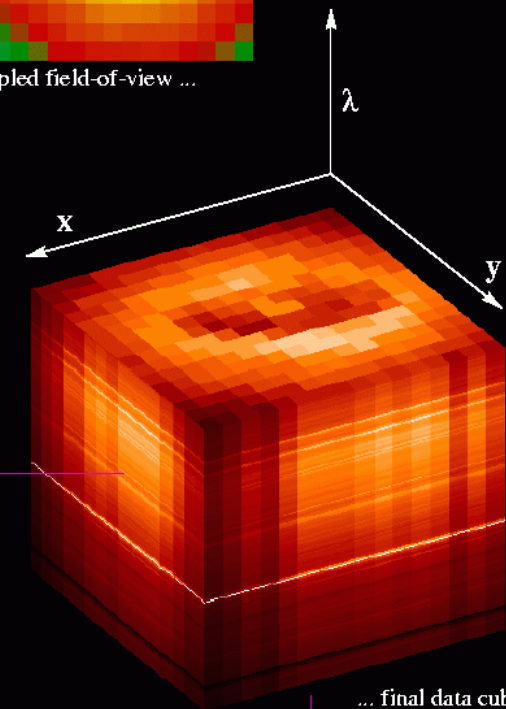
sampled field-of-view ...



Each data cube slice represents a monochromatic image



Each data cube column represents a spectrum



... final data cube

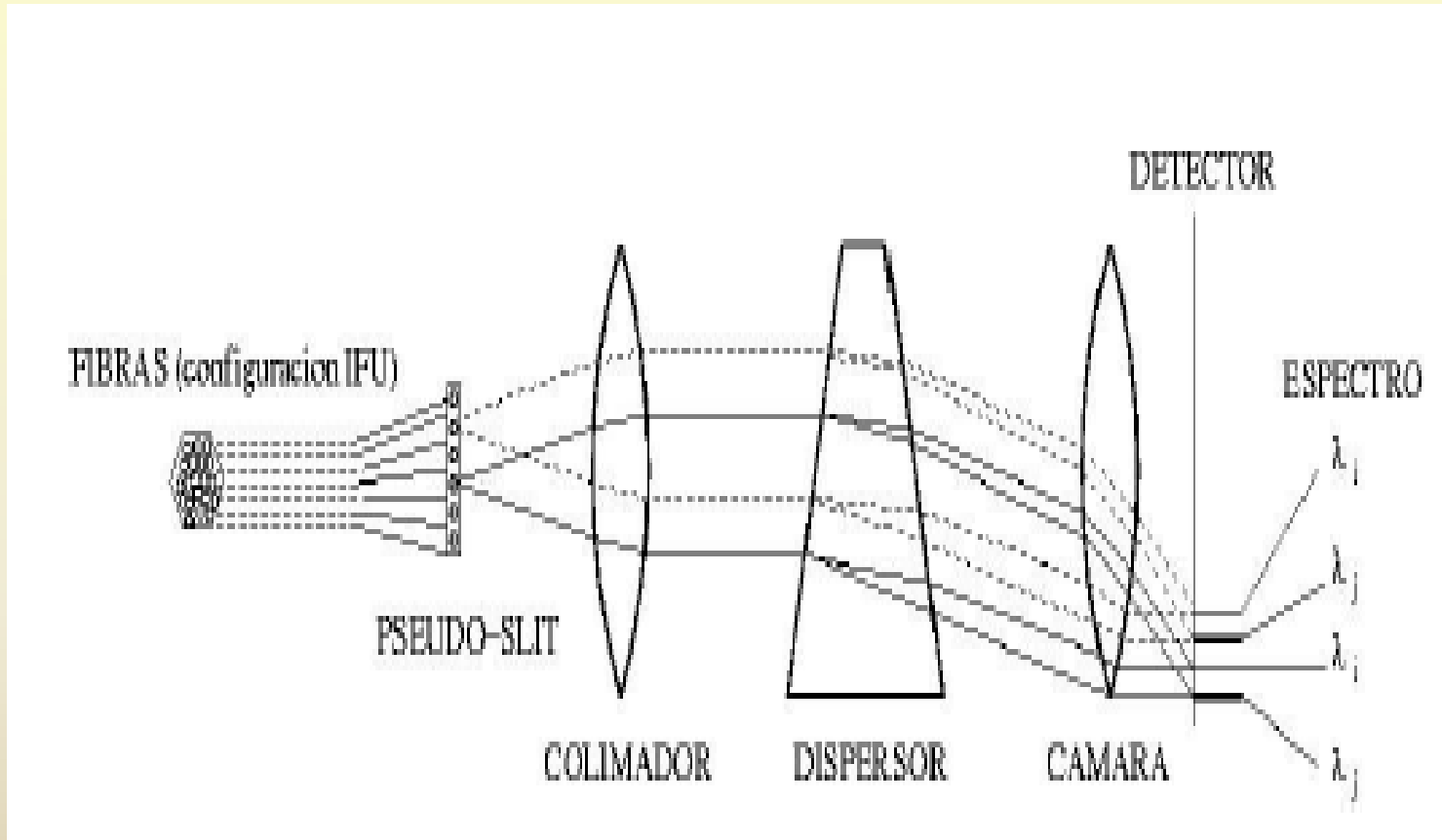
VISUALIZATION

Instru

Curso 2011/2012



# Espectrógrafos de campo integral





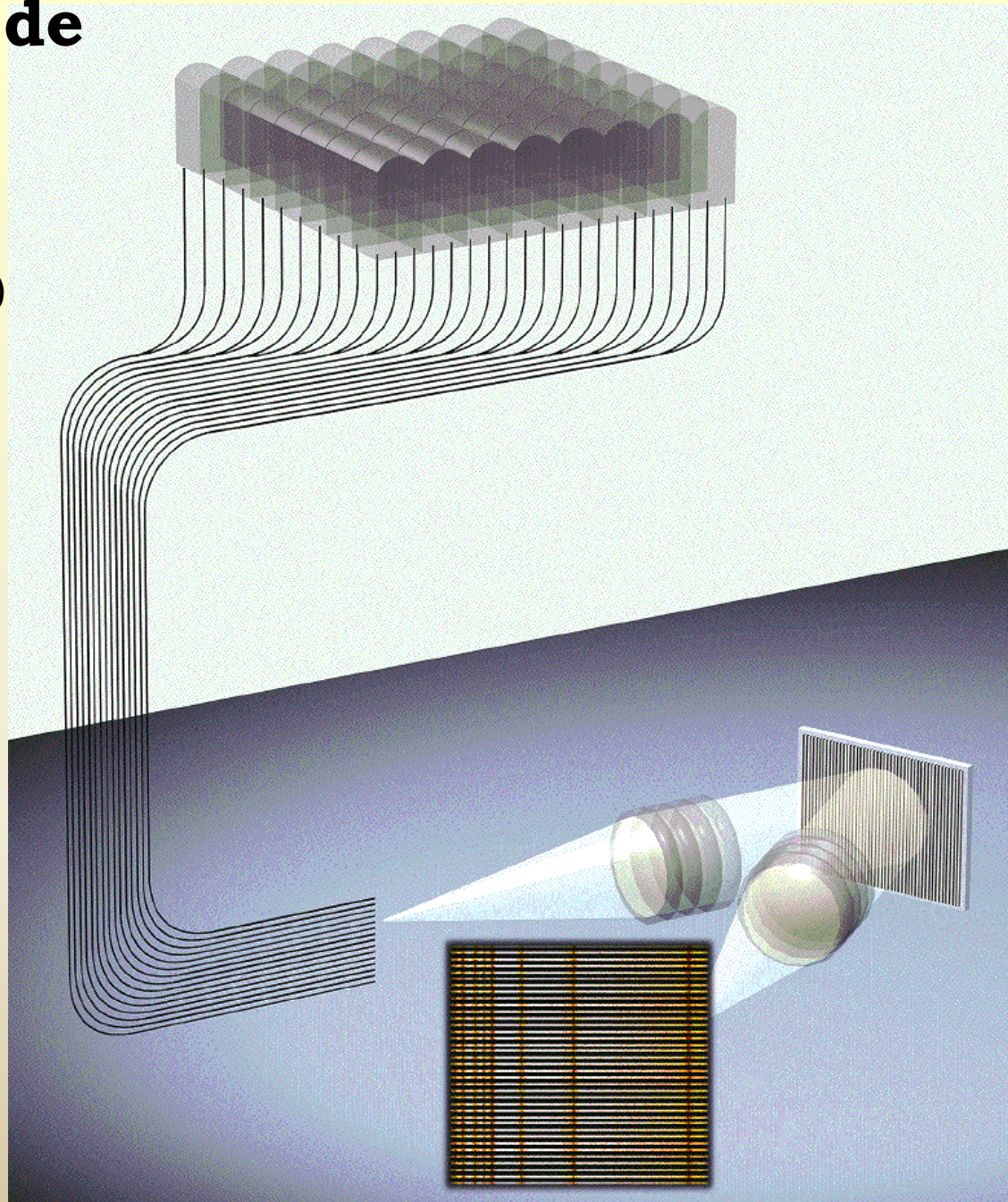


# Espectrógrafos de campo integral

- Preóptica amplificadora
- Mosaico de microlentes (lens-array)
- Set de fibras ópticas
- pseudo-rendija
- Juego de espectros individuales

- Reducción y tratamiento de datos complicado:

- Euro3D
- Estándar de NOAO
- UK 3D

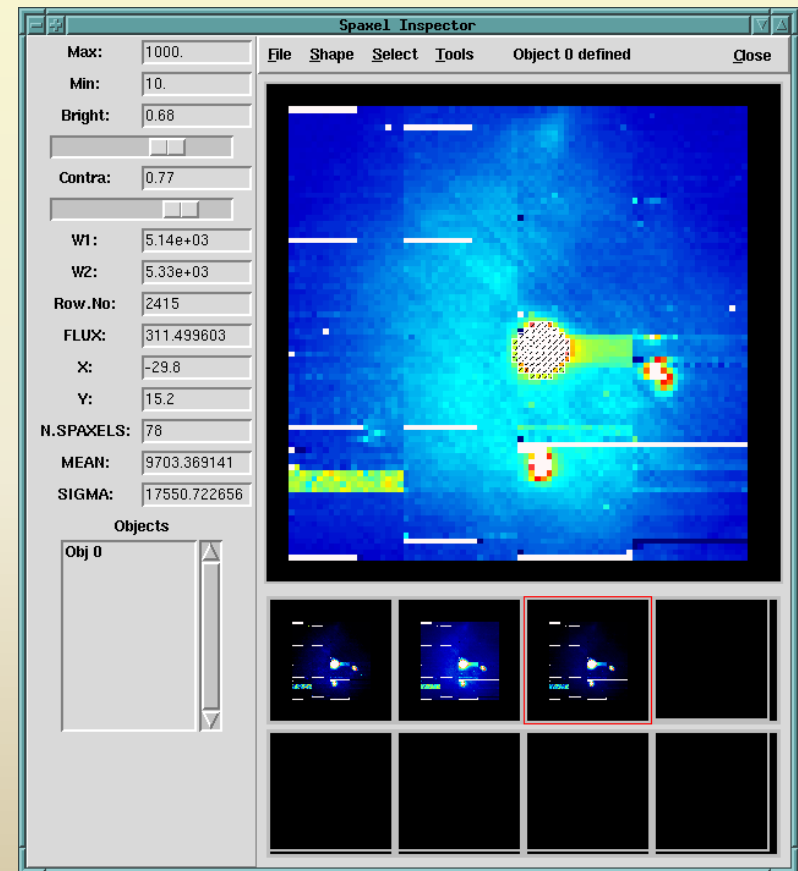
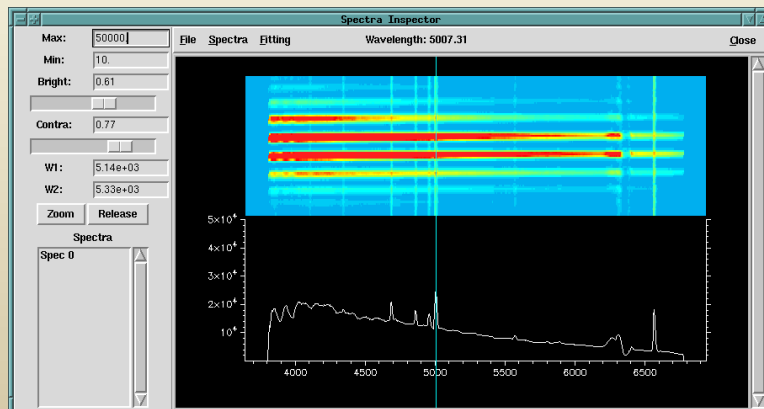
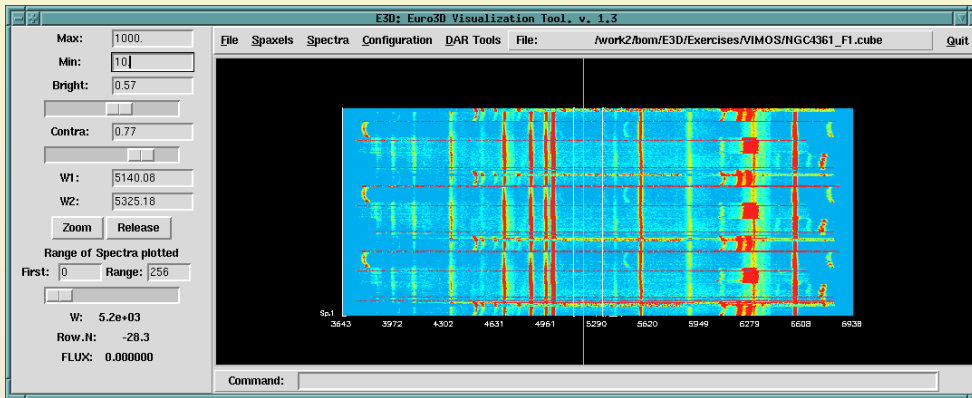






# RTN Euro3D

- nuevo formato
- librerías en C
- Herramienta de visualización
  - Spaxels inspector
  - Spectra inspector





# Espectrógrafos de campo integral

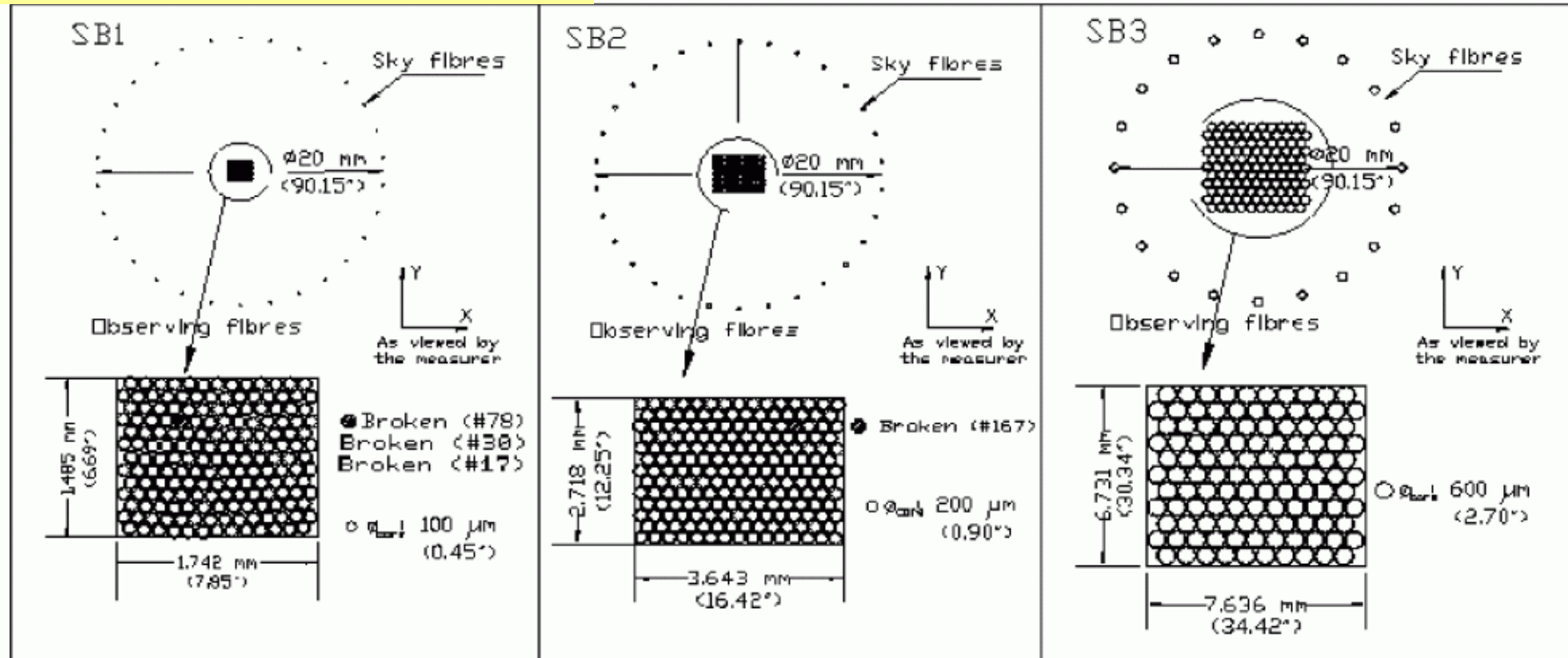
- Campo rectangular central + anillo fibras de cielo
- Fibras no contiguas (~40% pérdida)
- 3 mazos 0.45", 0.9" y 2.7" / fibra
- ~200 fibras de 5.5m largo



INTEGRAL (WHT 4.2m)

<http://www.iac.es/proyect/integral/>

## Haces de fibras de INTEGRAL



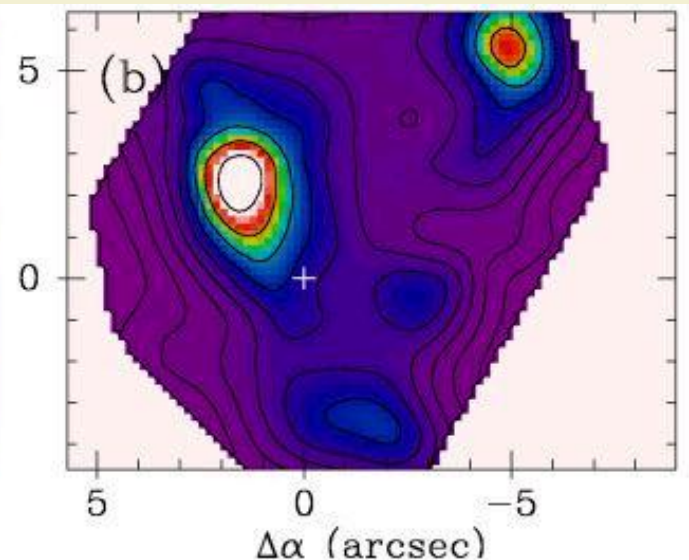
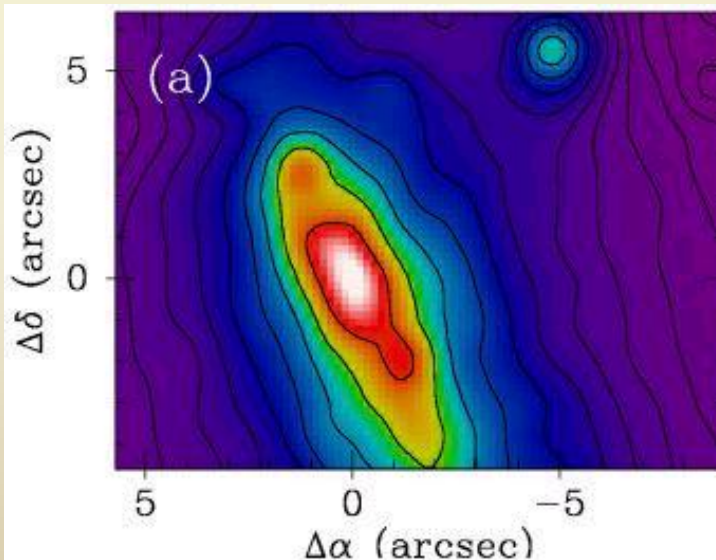
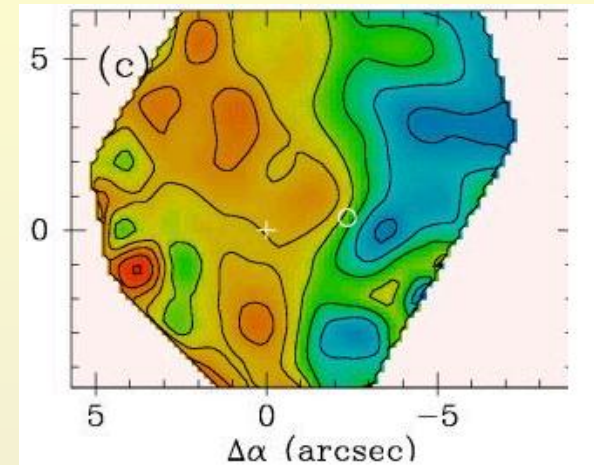


# Espectrógrafos de campo integral

mapa de velocidad

Con ellos se pueden hacer mapas de intensidad, de velocidad, de índices espectrales ...

Mrk370 en banda V y línea [OIII]5007





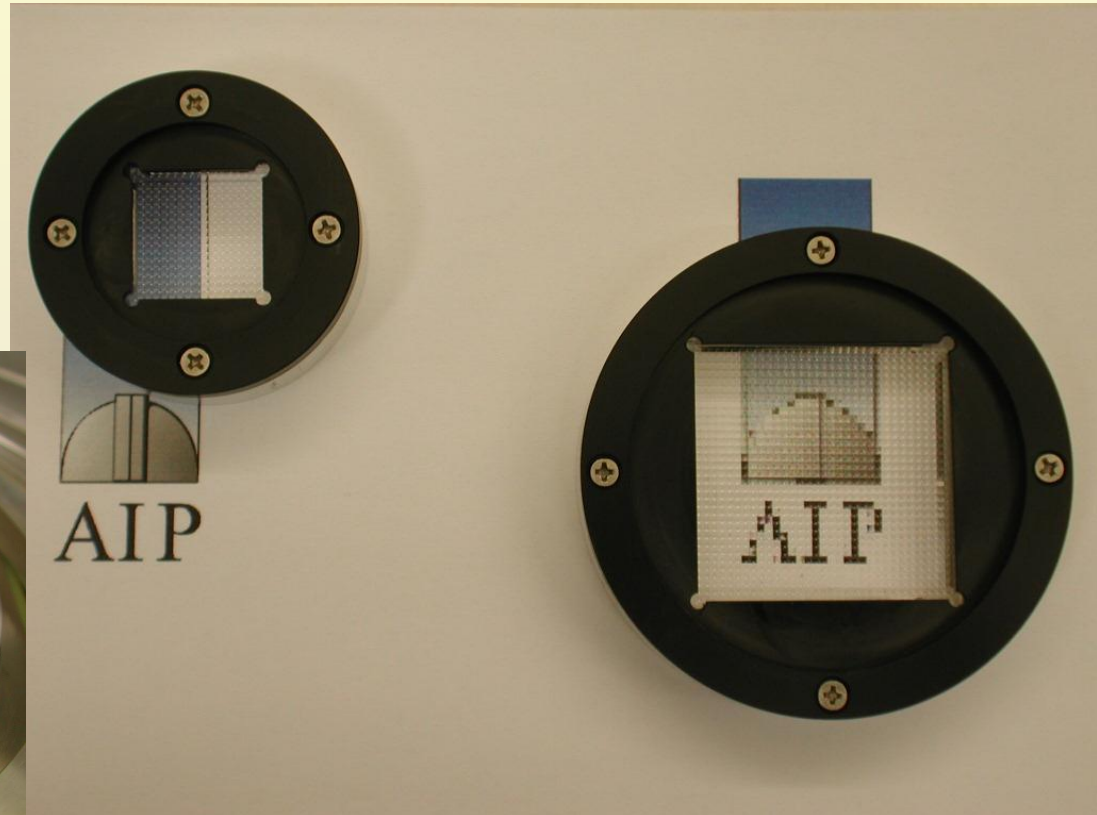
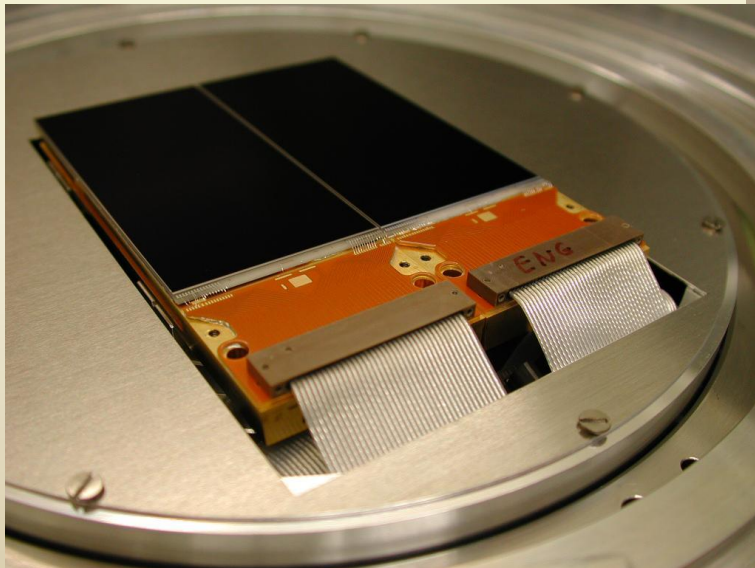


# Espectrógrafos de campo integral

- Estándar
  - FOV pequeño
  - Alta resolución espacial

PMAS (CAHA 3.5m)  
<http://www.caha.es/pmas/>

- 16x16 lentes (elementos)
- Escalas de 0.5", 0.75" y 1.0"
- FOV de 8x8, 12x12 y 16x16 arcsec
- Diferentes redes de difracción para varias resoluciones espectrales
- 2 CCDs de 2kx4k, píxel 15 $\mu$ m

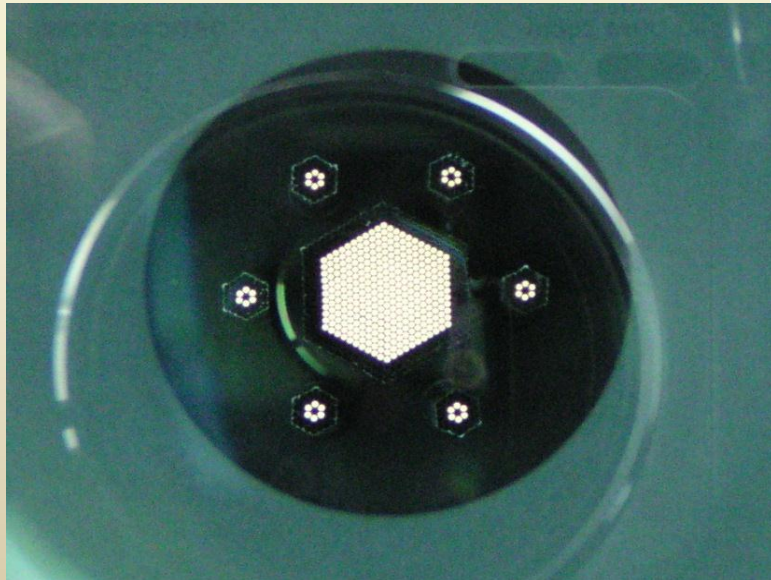




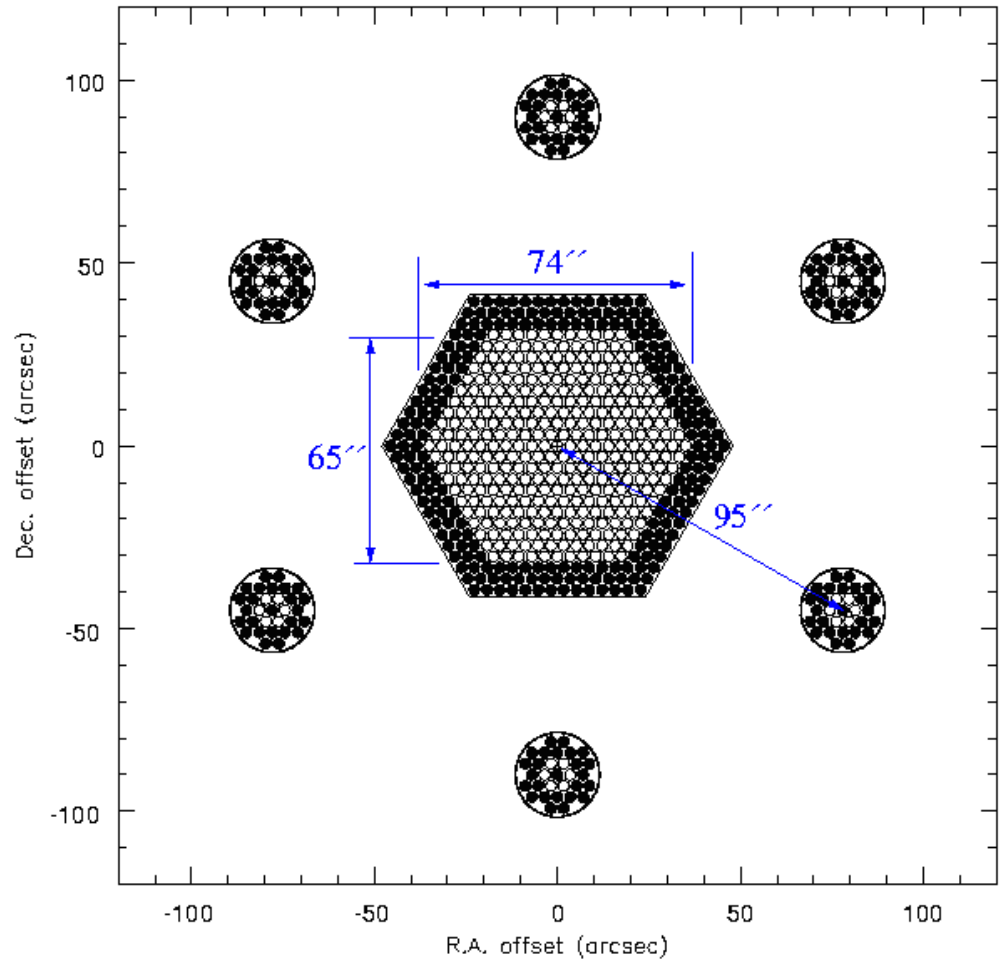
# Espectrógrafos de campo integral

- PPAK
  - FOV grande
  - Baja resolución espacial

- Reductor de focal
- 2.7" / fibra
- Mazo hexagonal
- 331 fibras de  $150\mu\text{m}$  y 2m largo
- 18 Mb por fichero

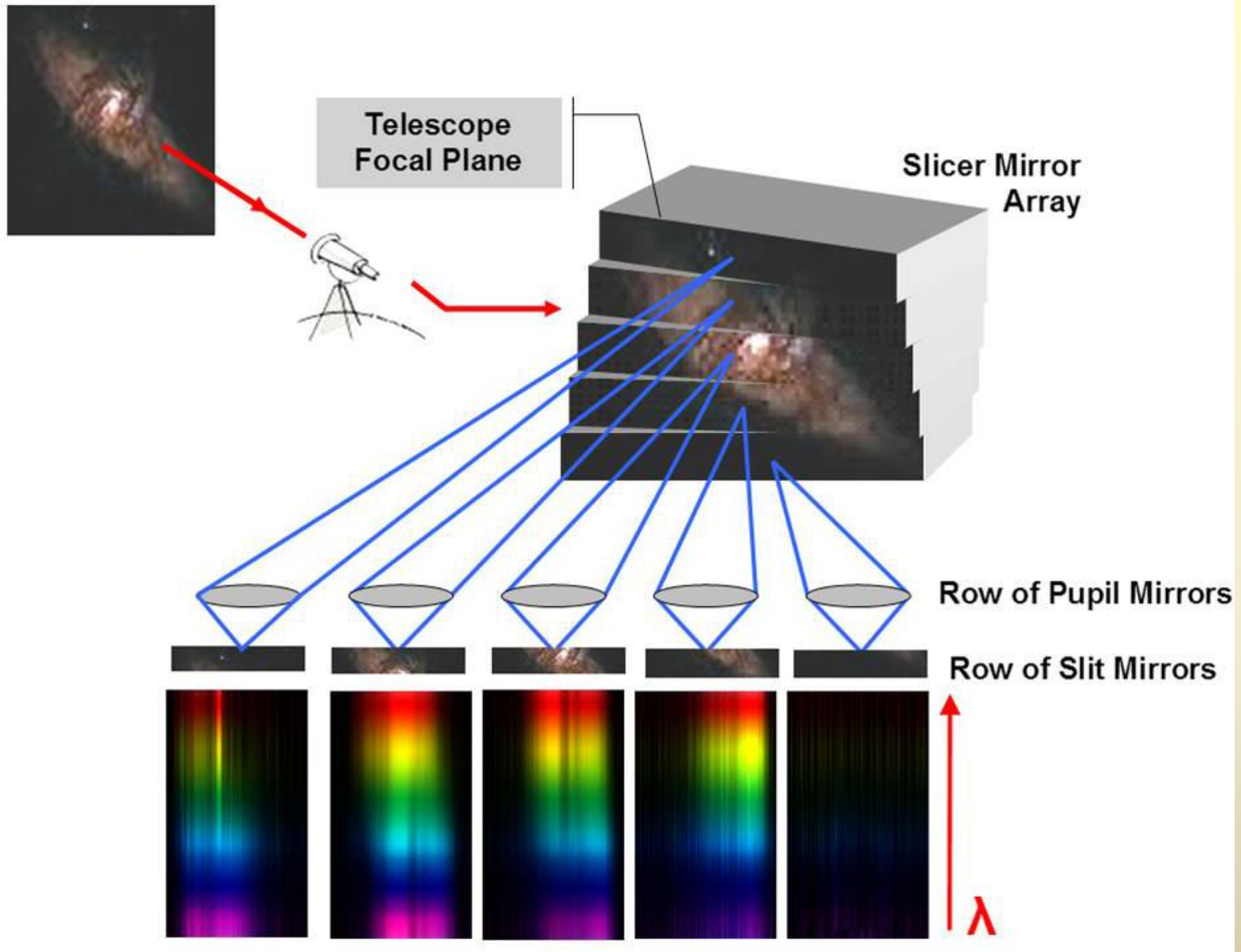


PMAS (CAHA 3.5m)  
<http://www.caha.es/sanchez/pmas/pmas.html>





# Espectrógrafos rebanadores de imagen

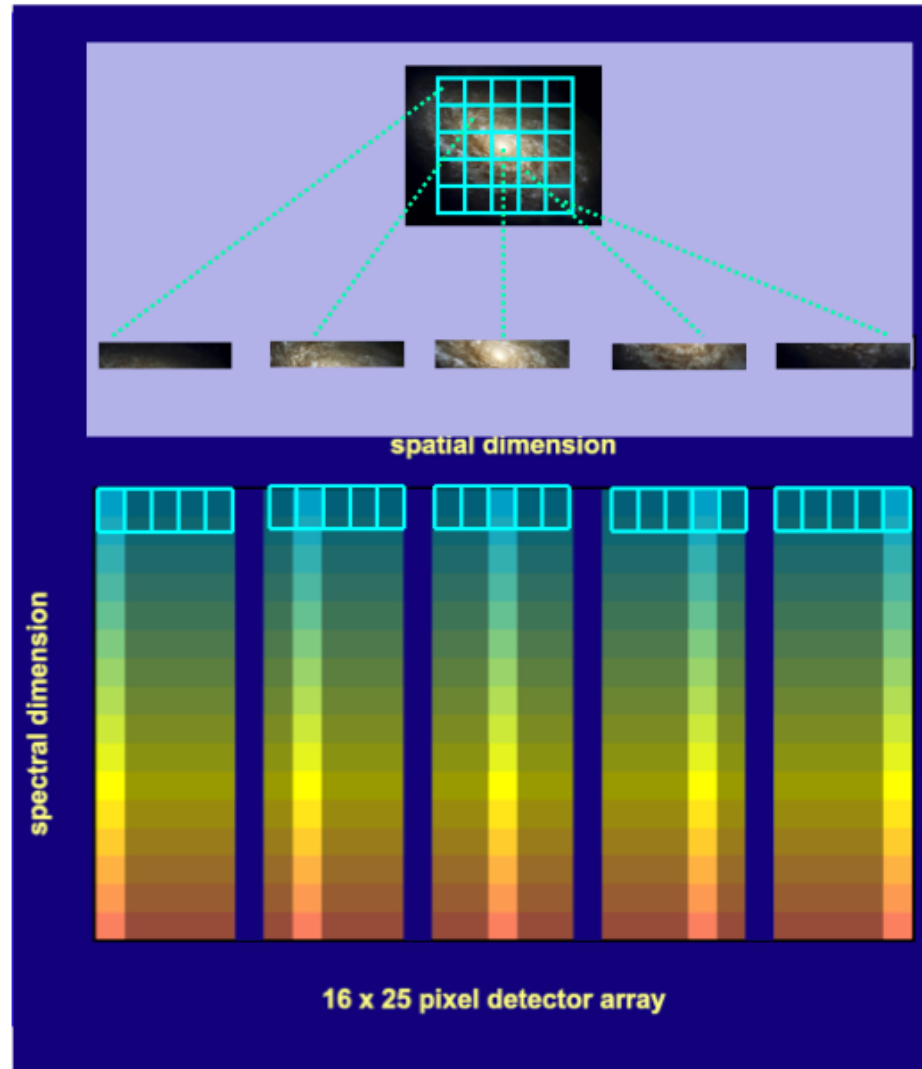
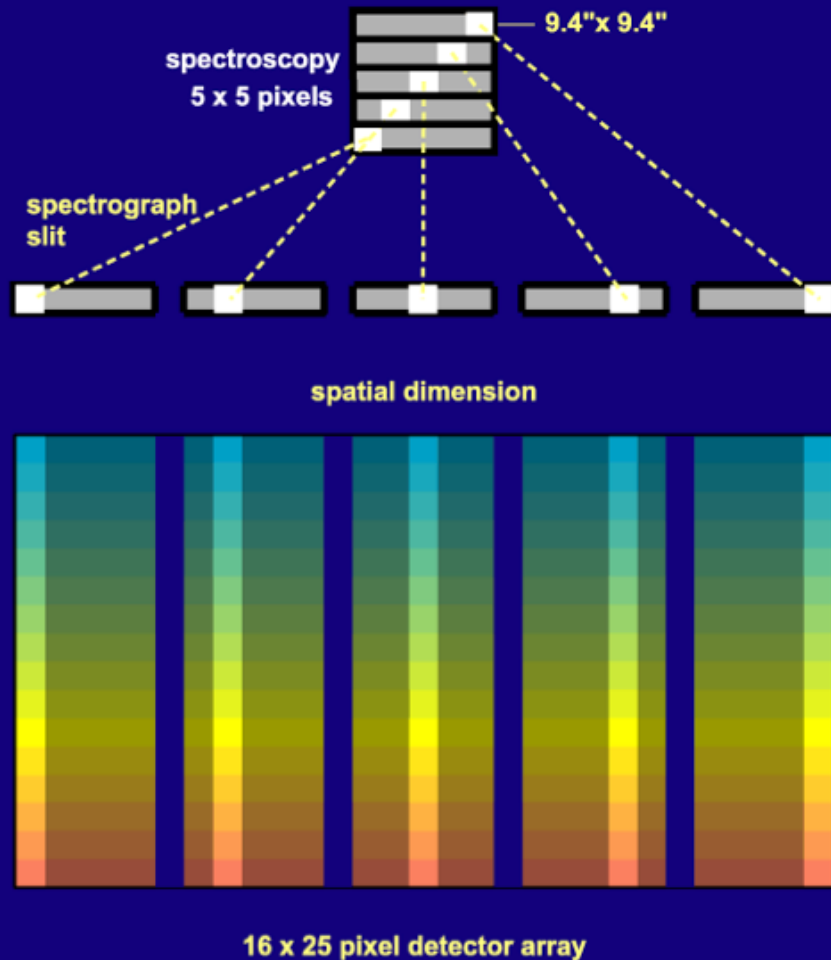


<http://spie.org/x19169.xml?ArticleID=x19169>





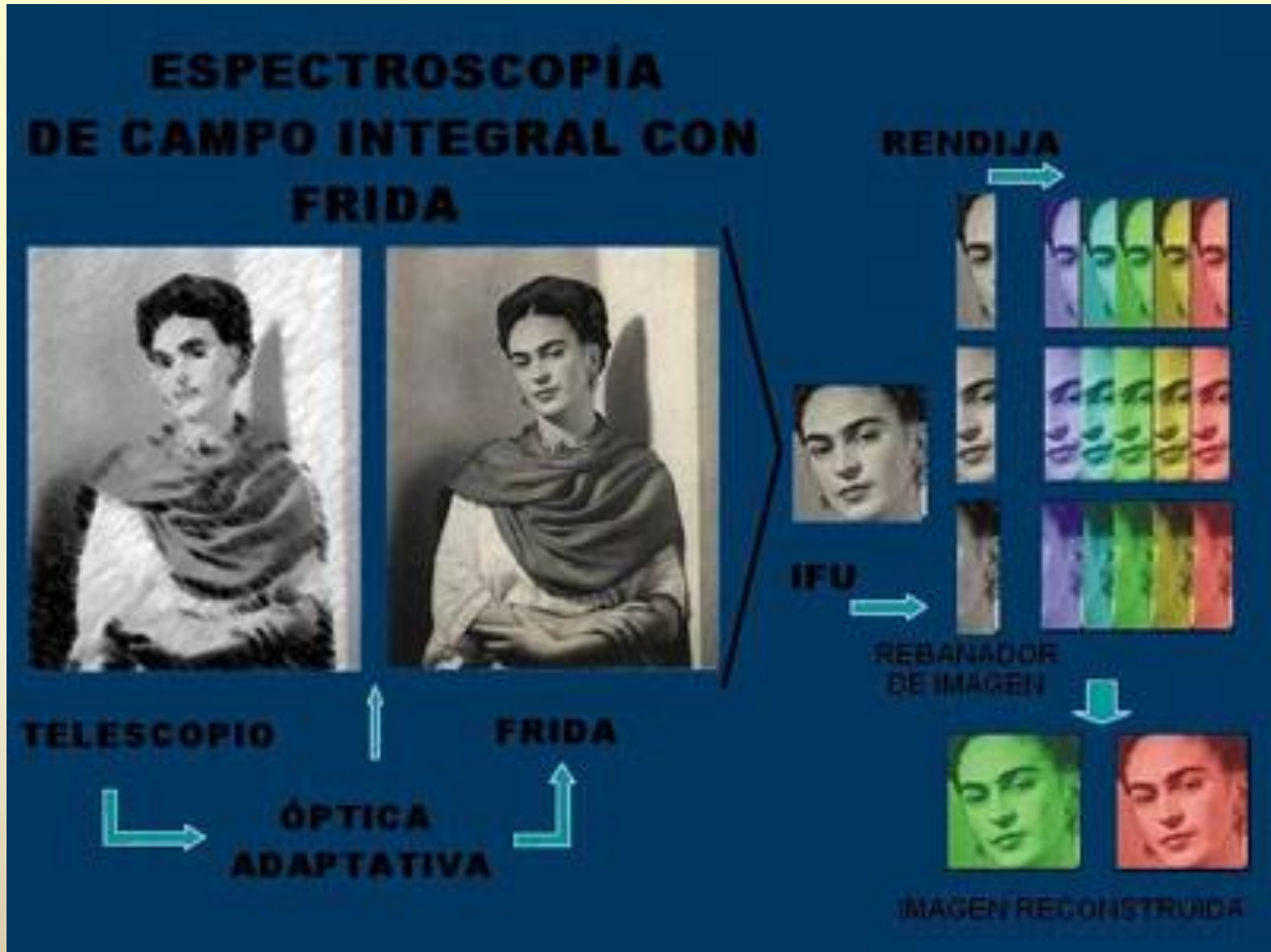
# Espectrógrafos rebanadores de imagen



<http://herschel.esac.esa.int/Docs/PACS/html/ch02s04.html>



# Espectrógrafos rebanadores de imagen





# Espectrógrafos rebanadores de imagen

## FISICA (KPNO 4m)

### IFU en el nIR

- 16"x33" FOV
- Baja resolución  $R \sim 1,300$
- 22 rebanadas

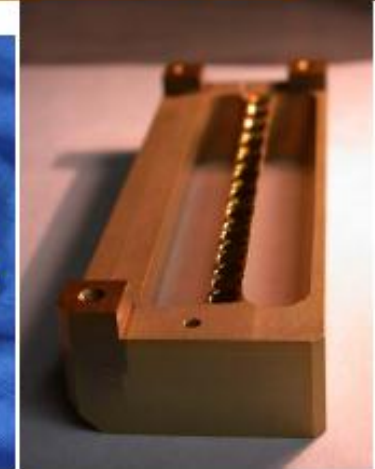
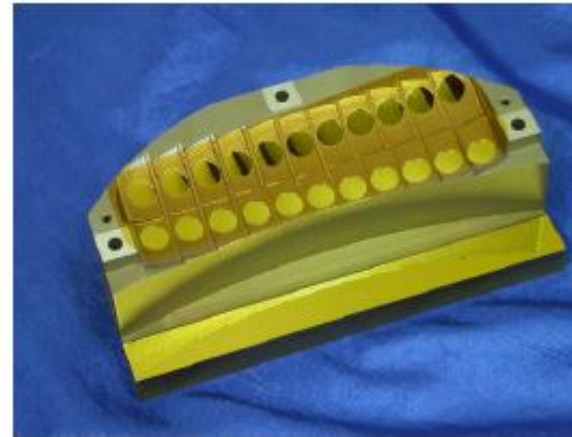
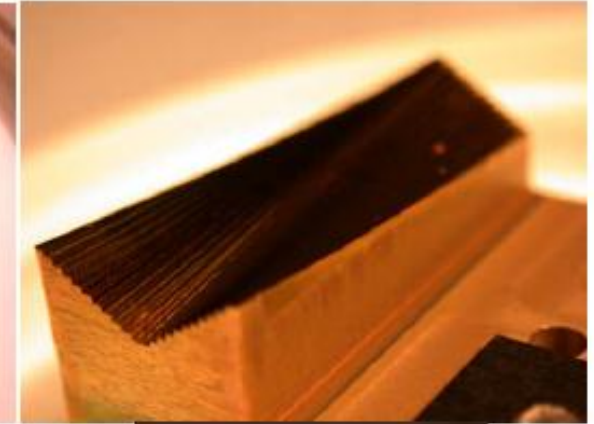
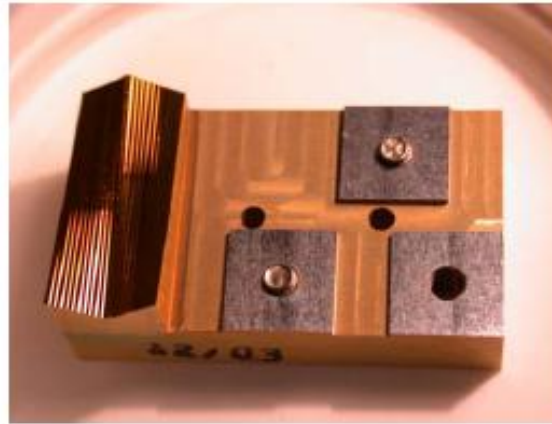


Figure 3 – Fabricated mirror arrays for FISICA prior to integration with the IFU structure. (Top left) monolithic slicer mirror array and base. (Top right) close-up of the slicer array; (Bottom left) monolithic pupil mirror array with 2x11 geometry. (Bottom right) monolithic field mirror array.

## FRIDA (GTC 10m)

### IFU en el nIR

- 25"x25" o 41"x41" FOV
- AO/IFU 1"x2"
- 0.9 - 2.5  $\mu\text{m}$
- Baja resolución  $R \sim 500-5,000$
- 18 rebanadas
- Hawaii-2 2kx2k



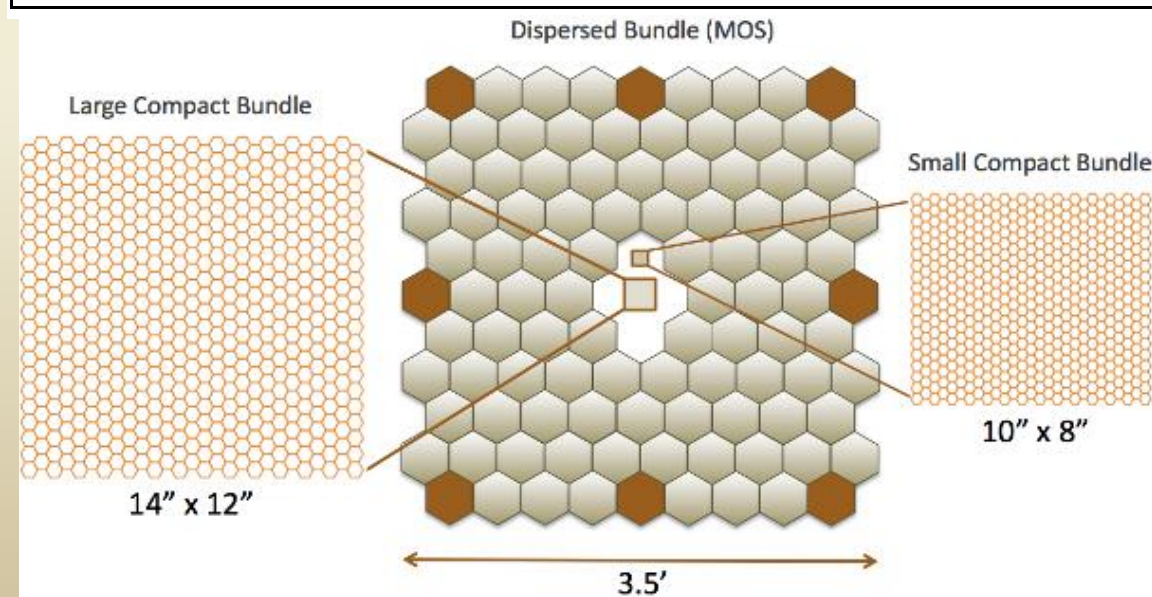


# Espectrógrafo IFU

MEGARA (GTC 10.4m)

<http://guaix.fis.ucm.es/megara>

		IFU		MOS
Parameter		Large Compact Bundle (LCB)	Small Compact Bundle (SCB)	Dispersed Bundle
Spaxel size		0.685 arcsec	0.480 arcsec	0.685 arcsec
Field of View		14 x 12 arcsec <sup>2</sup>	10 x 8 arcsec <sup>2</sup>	3.5 x 3.5 arcmin <sup>2</sup>
$\Delta\lambda(1D)$		3.5 pix	2.7 pix	3.5 pix
$R = \lambda/\Delta\lambda$	LR	$R_{1D} - 6,250$ $R_{EED80} - 5,500$	$R_{1D} - 8,100$ $R_{EED80} - 7,000$	$R_{1D} - 6,250$ $R_{EED80} - 5,500$
	MR	$R_{1D} - 11,250$ $R_{EED80} - 10,000$	$R_{1D} - 14,400$ $R_{EED80} - 13,000$	$R_{1D} - 11,000$ $R_{EED80} - 10,000$
	HR	$R_{1D} - 19,100$ $R_{EED80} - 17,000$	$R_{1D} - 24,700$ $R_{EED80} - 22,000$	$R_{1D} - 19,100$ $R_{EED80} - 17,000$

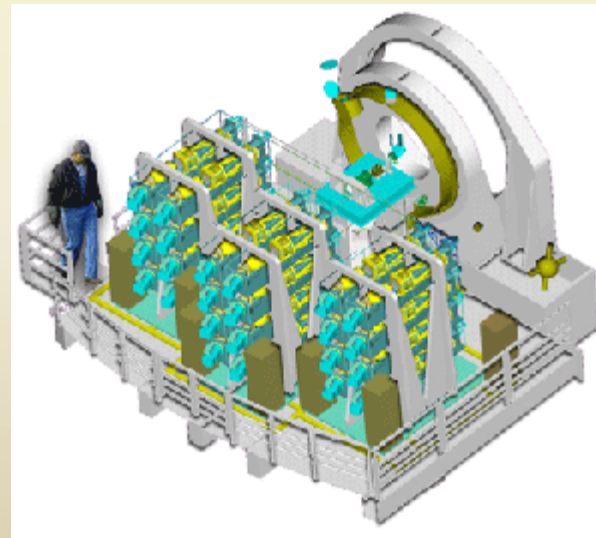




# Espectrógrafo IFU / AO panorámico

## MUSE (VLT 8m)

- Óptica adaptativa en el visible (0.02"/pixel)
- 4500-9300Å
- Cubo de datos con 90,000 SPAXELS
- 1'x1' FOV contigua 0.2 arcsec/pixel
- Resolución intermedia  $R \sim 3,000$
- 24 espectrógrafos idénticos alimentados por 2 rebanadores de imagen (3 torres con 8 IFUs cada una)
- Optimizado para largas exposiciones de objetos débiles





# Resumen de contenidos

- **Espectrógrafos multi-objeto: multi-slit, fibras.**
- **IFUs.**
- **Espectrógrafos rebanadores de imagen.**