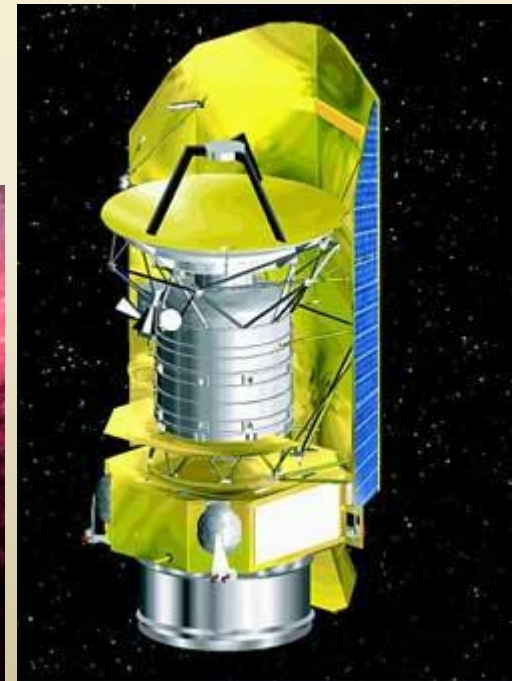
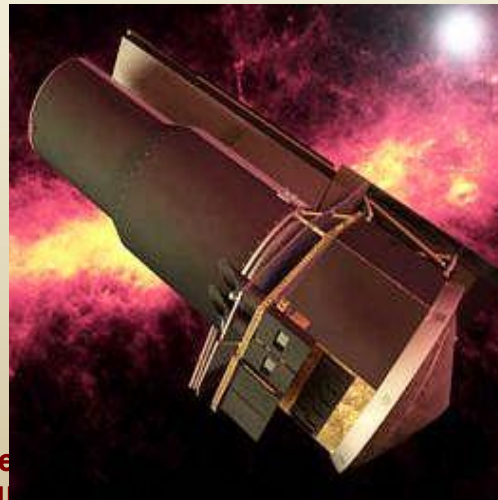
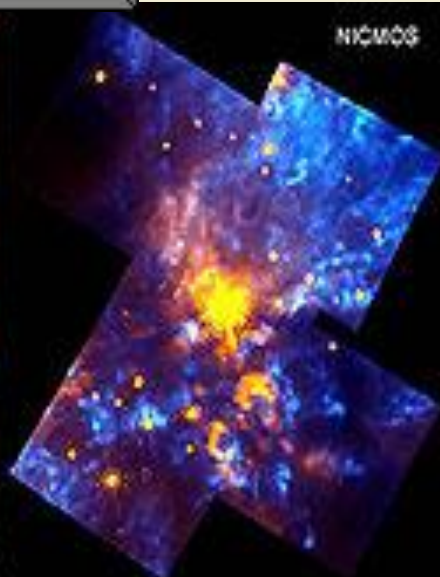
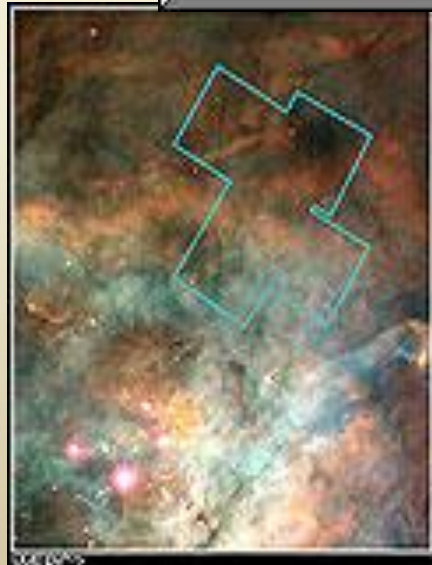




Tema 9: Astronomía IR

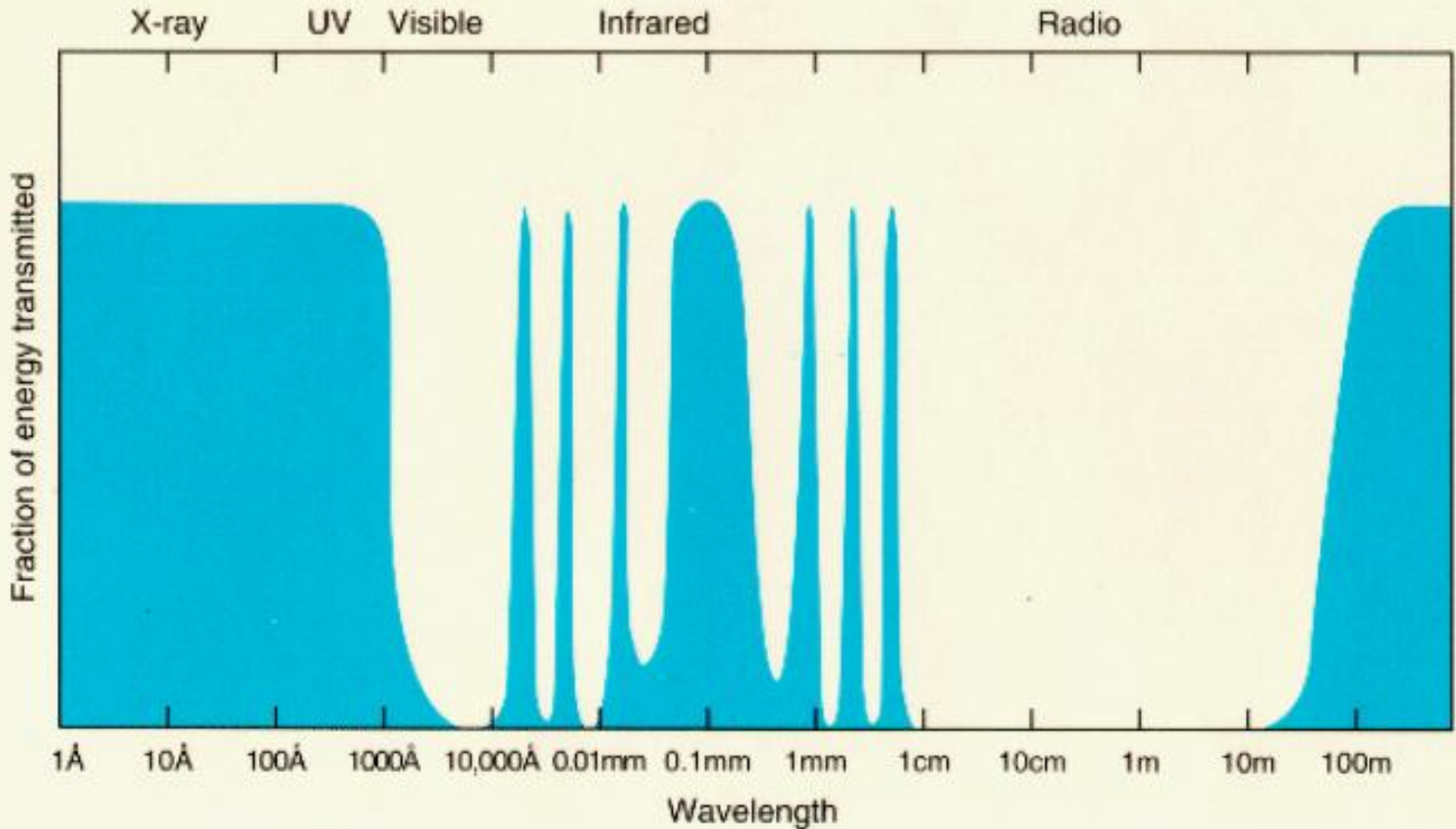
Consultar: *"Astrophysical techniques"*, K08; *"Detection of light"*, R06; *"Electronic and computer-aided astronomy"*, M89.





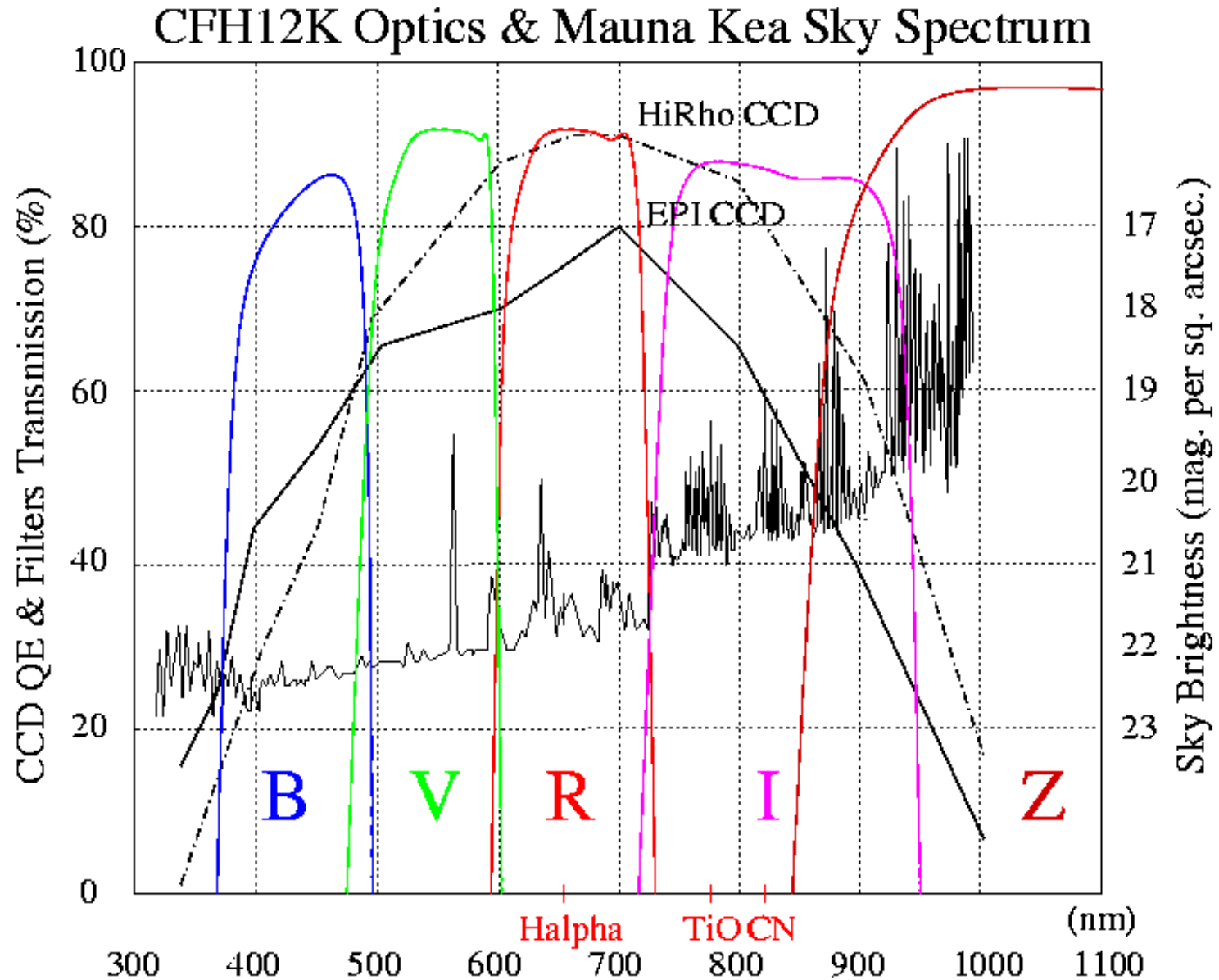
Ventanas de observación

Windows through the Earth's atmosphere





IR óptico





Astronomía IR

1–5 μm

IR cercano (NIR)

740 – 3000 K

Estrellas frías

5–25 μm

IR medio (MIR)

90 – 700 K

Planetas, cometas, polvo

25–350 μm

IR lejano (FIR)

10 – 90 K

Polvo frío, AGNs, nubes

>350 μm

Submilimétricas (sub-mm)

Polvo frío, gas

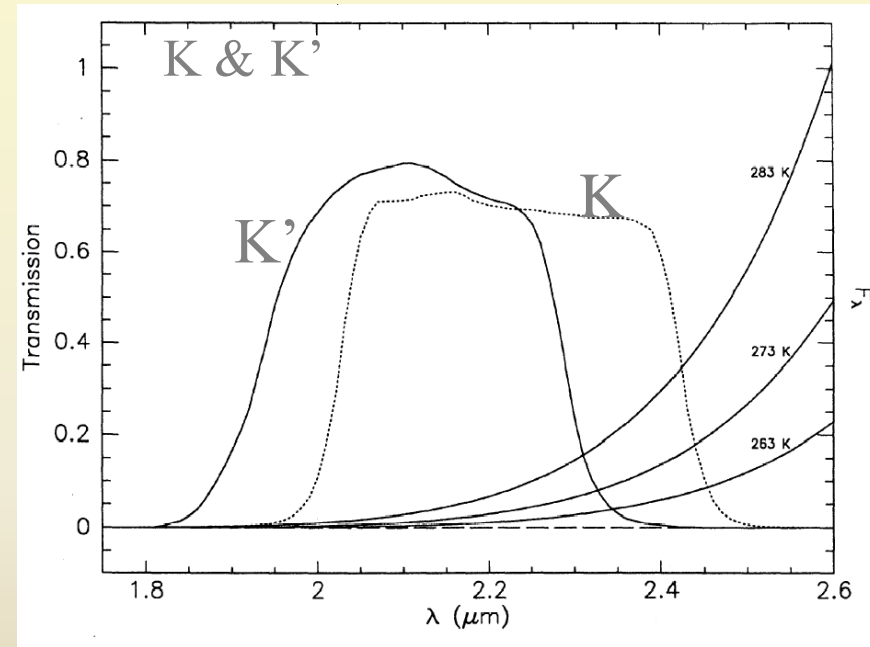
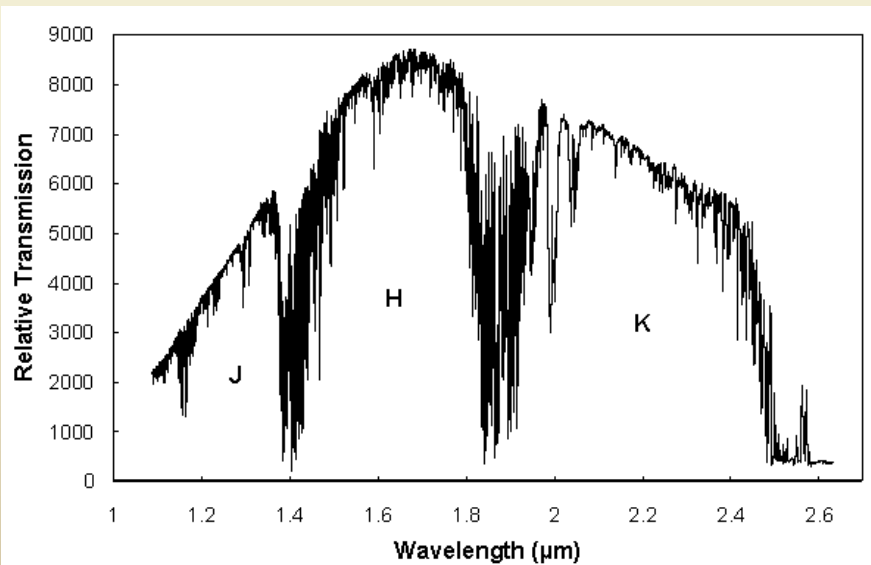




IR cercano

- ~1800 W. Herschel usa un termómetro para detectar “rayos caloríficos” en el espectro solar
- 1961 Bolómetro de Germanio y Galio, Frank Low, fundador de “Infrared Labs”
- Ventanas atmosféricas en el NIR (Johnson 1962, ApJ 135, 69) :

Banda	λ_c (μm)	FWHM(μm)	Brillo del cielo (mag/sqr arcsec)
J	1.25	0.30	16
H	1.65	0.35	
K	2.20	0.40	11
L	3.50	1.00	
M	4.80	0.60	5.5



	λ_{ini}	λ_{fin}
K'	1.94	2.29 μm
K _s	2.00	2.39 μm
K	2.08	2.43 μm



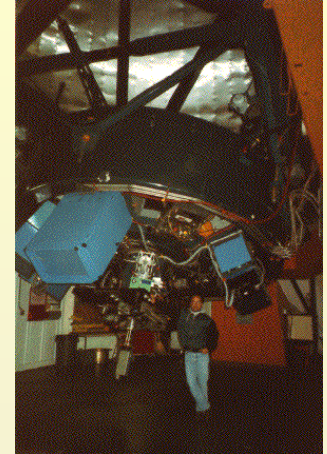
Astronomía IR cercano

- ~1969 $2\mu\text{m}$ Sky survey, G. Neugebauer, InSb, primeras fuentes IR celestes
- ~1985 Telescopios IR con los primeros detectores 2-D NICMOS3 de 256×256

UKIRT 3.8m Hawaii

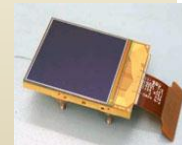
IRTF 3m Hawaii

TCS 1.5m Izaña



- 1990 Los telescopios ópticos adoptan secundarios pequeños para adaptarse al IR
El tiempo de Luna brillante se ocupa con instrumentos infrarrojos

- 1997-2000 2MASS, J, H, K
- 1998 NICMOS en el HST
- 2000 Rockwell Hawaii-1 de 1024×1024
- 2002 Hawaii-2 de 2048×2048
- 2004 Rockwell 4096×4096 (4xH2)
- 2006 Teledyne Hawaii-2RG (\$700,000)
- 2007 Raytheon Virgo $2\text{k} \times 2\text{k}$ HgCdTe
- 2007 Raytheon Orion $2\text{k} \times 2\text{k}$ InSb



- 2002 – Instrumentos en el IR medio, $8 - 25 \mu\text{m}$
OSCIR y T-REX (Gemini), CANARICAM (GTC)



Astronomía IR cercano

Dos vendedores:

Raytheon: ALADDIN

- ◆ InSb
- ◆ 0.9-5.5 μm
- ◆ Tamaños de hasta 1kx1k (ALADDIN III)
- ◆ Píxel de 27 μm .
- ◆ 4 cuadrantes, 32 canales de lectura

Rockwell: HAWAII

(HgCdTe Astronomy Wide Area Infrared Image)

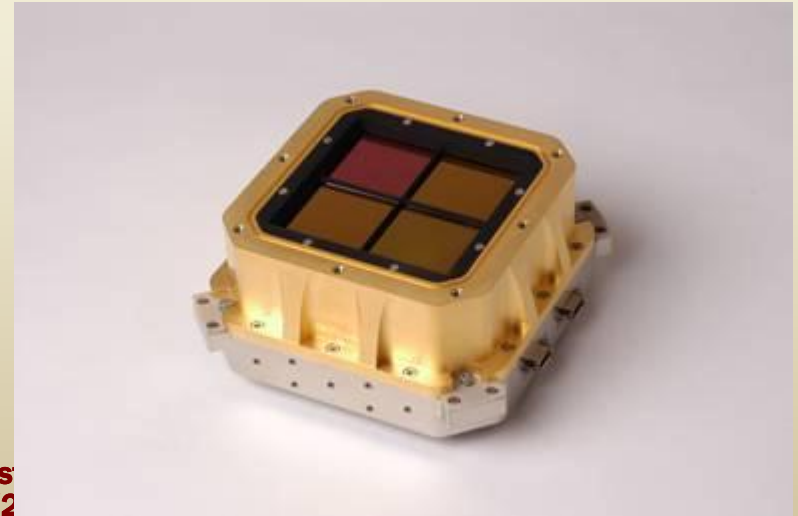
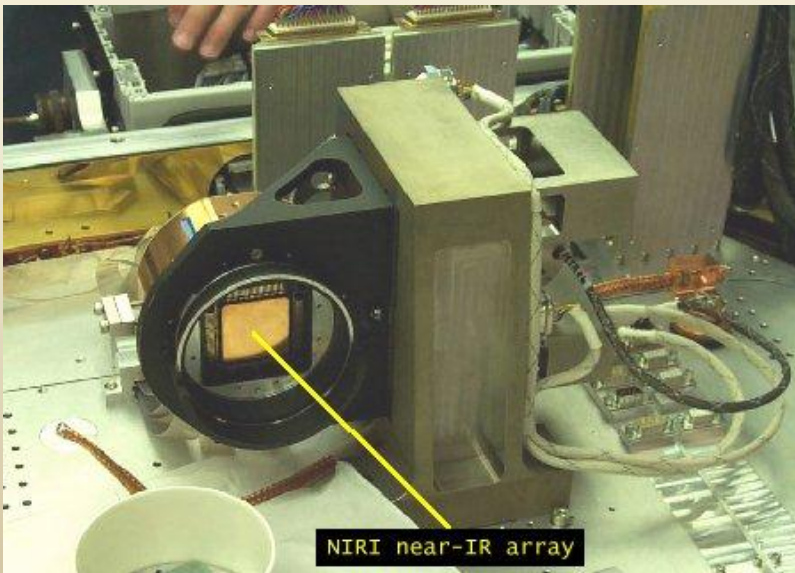
HgCdTe

0.9-2.5 μm

Tamaños de hasta 2kx2k (HAWAII 2)

Píxel de 18 μm .

4 cuadrantes, 32 canales de lectura



Presentación As
Curso 2011/2



Ciencia en el IR cercano

- Propiedades y contenido en polvo del medio interestelar
- Forma y extensión de la Vía Láctea
- Centro de la Vía Láctea
- Poblaciones estelares en galaxias, masas
- Nubes moleculares
- Objetos de baja masa: enanas marrones y planetas
- Métodos de distancias en el infrarrojo

$$\lambda_{\max} T = 2898 \mu m k$$

BB - T J-H H-K K-L

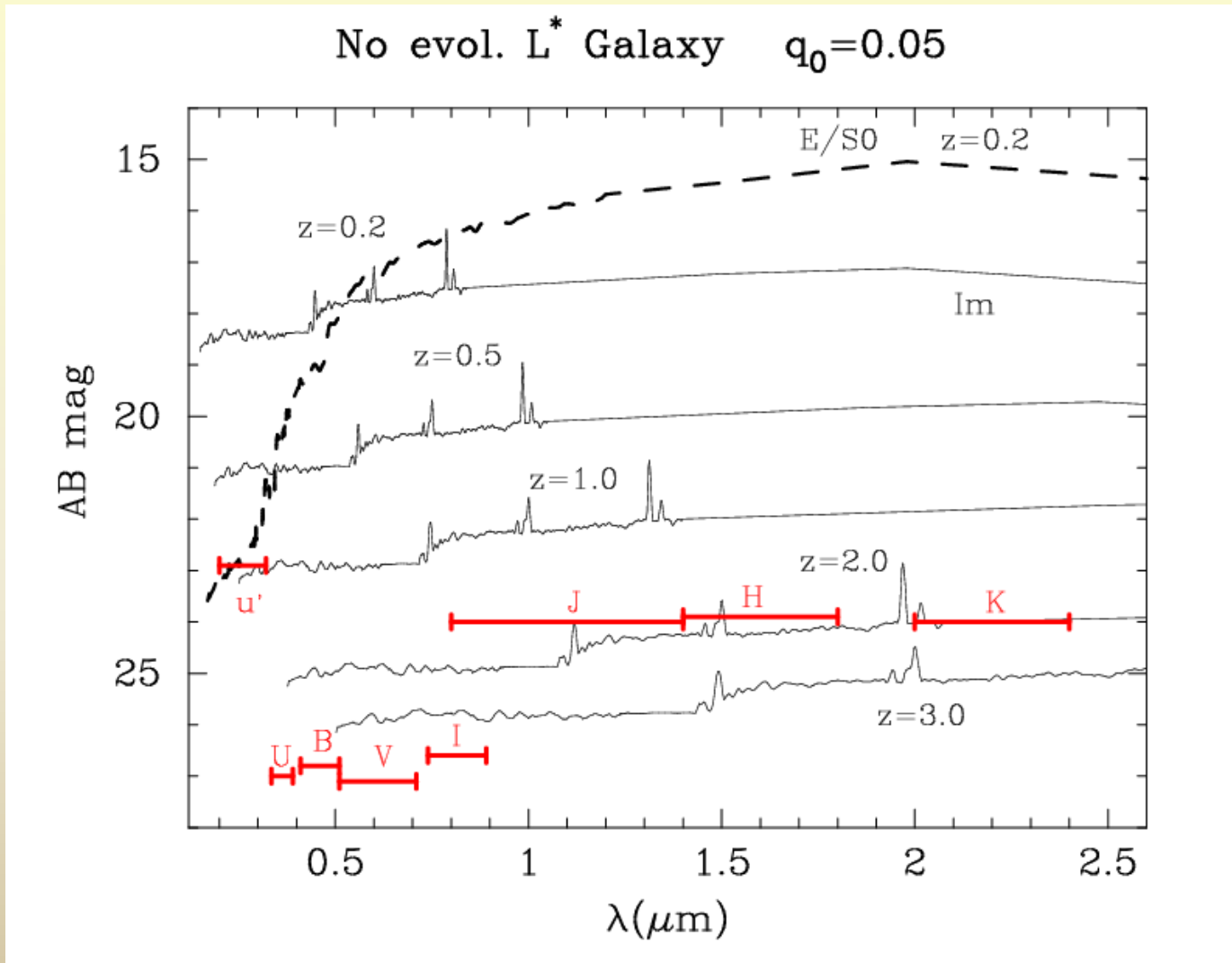
500	5.6	4.1	4.4
1000	2.7	1.9	1.9
3000	0.6	0.4	0.4
5000	0.2	0.2	0.2
10,000	0.0	0.0	0.0
SED~ v^α			
$\alpha=-1$	0.8	0.8	1.3
$\alpha=0$	0.5	0.5	0.8
$\alpha=+1$	0.1	0.2	0.3

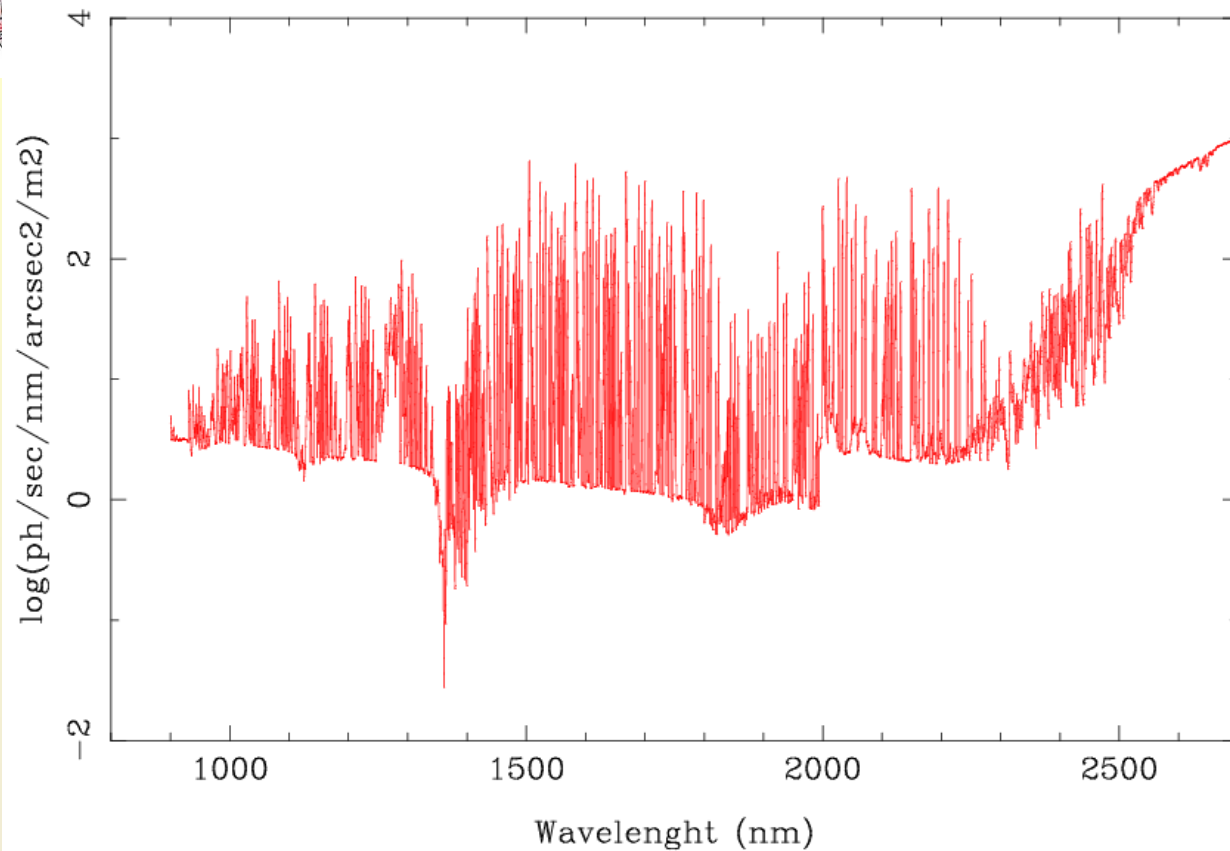
<u>Línea</u>	<u>λ (Å)</u>
P α	1.88 μm
P β	1.28 μm
P γ	1.09 μm
Br α	4.05 μm
Br β	2.63 μm
Br γ	2.17 μm
CO	2.36 μm



Ciencia en el IR cercano

- El óptico rest-frame se observa en el IR cercano para galaxias y cuasares lejanos





- Extinción
- Emisiones

Extinción y turbulencia atmosférica

Absorción de vapor de agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂)

Observatorios de montaña. El vapor de agua disminuye con la altura

$\lambda > 2.4 \mu\text{m}$ el background pasa a tener origen térmico

La turbulencia es menor en el IR

Óptica adaptativa en el nIR



- Emisiones de origen térmico
- Emisiones de origen no térmico

Emisiones atmosféricas no térmicas inducidas por el Sol

- Auroras boreales
- Fosforescencia (airglow):
 - Bandas de Meinel: Bosque de líneas en J, H, K
 - Bandas vibración-rotación de OH-
 - Originado a 85-100 km de altura
 - Intensidad variable en minutos, escalas de pocos arcmin
- Bandas IR del O₂
- Contínuo de emisión del cielo

Emisiones térmicas

- Atmósfera terrestre
- Luz zodiacal
- Cirros del ISM
- CMB, sólo relevante para $\lambda > 300 \mu\text{m}$
- A $\lambda < 15 \mu\text{m}$, domina la emisión térmica de telescopio+instrumento



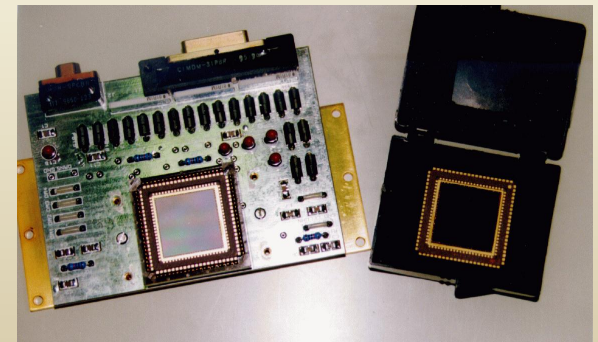
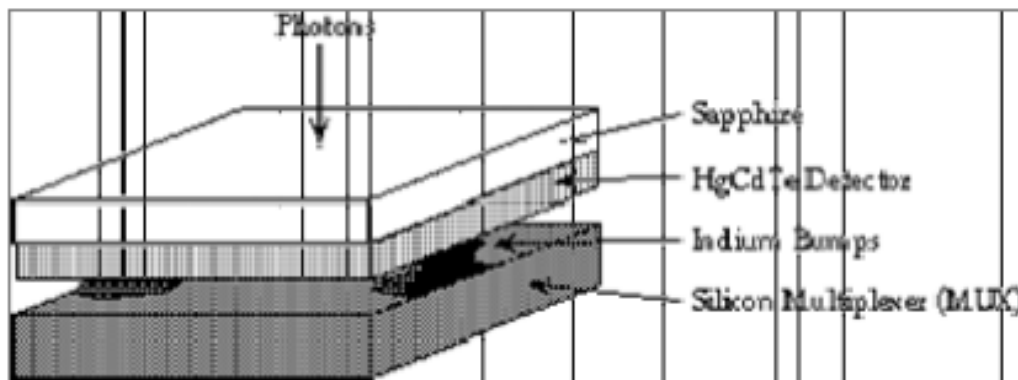
Detectores nIR

En el nIR, los detectores son análogos a los CCD, $T \sim 77K$

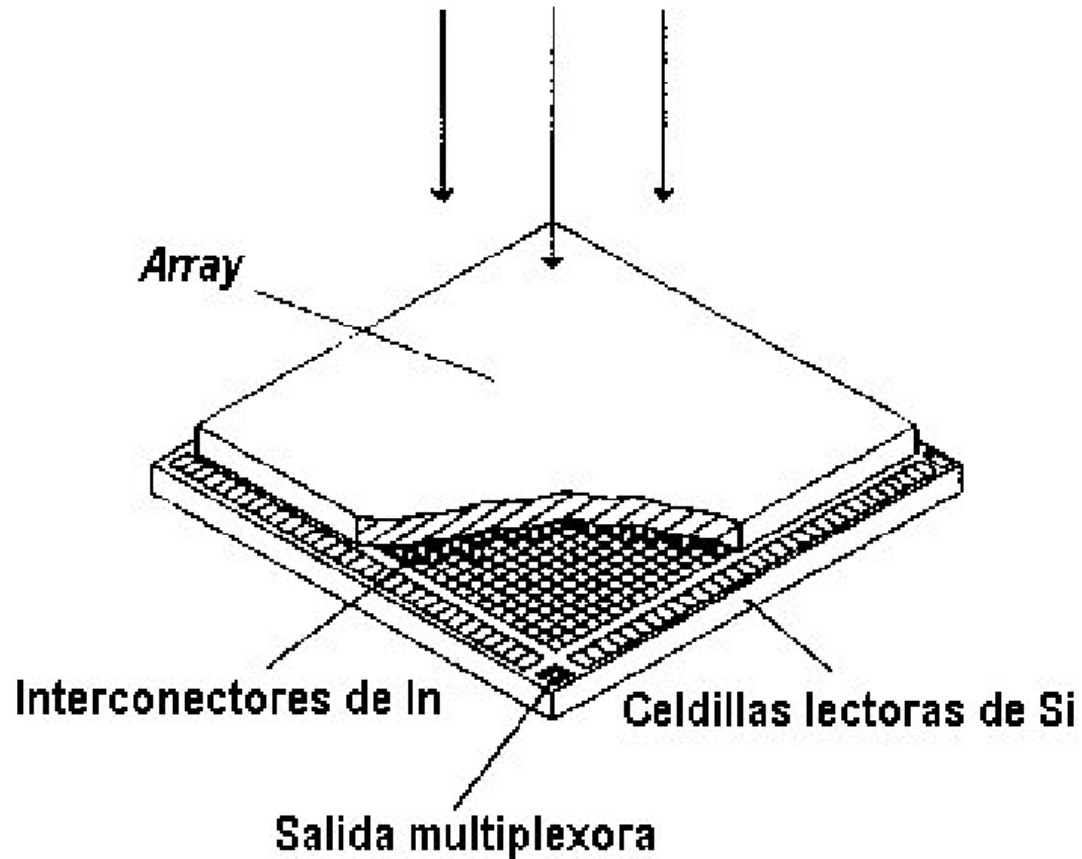
El Silicio deja de ser sensible para fotones $\lambda > 1.1 \mu m$

Detectores híbridos de Ge, InSb ($qe \sim 80\%$), HgCdTe ($qe \sim 60\%$)

- 1ª capa: Sustrato de Zafiro (Al_2O_3 , transparente, donde se crece el Mercadtel)
- 2ª capa: Sustrato transparente de Teluro de Cadmio (carga -)
- 3ª capa: Sustrato de Mercadtel (de una pieza, como el Si en los CCDs)
- 4ª capa: Gotas de In que unen el HgCdTe a un multiplexor mediante p/n
- 5ª capa: MOSFET (Multiplexor de varias capas capaz de leer y almacenar carga). Capa de capacitores + capa CCD. Se lee a gran velocidad.



Iluminación infrarroja

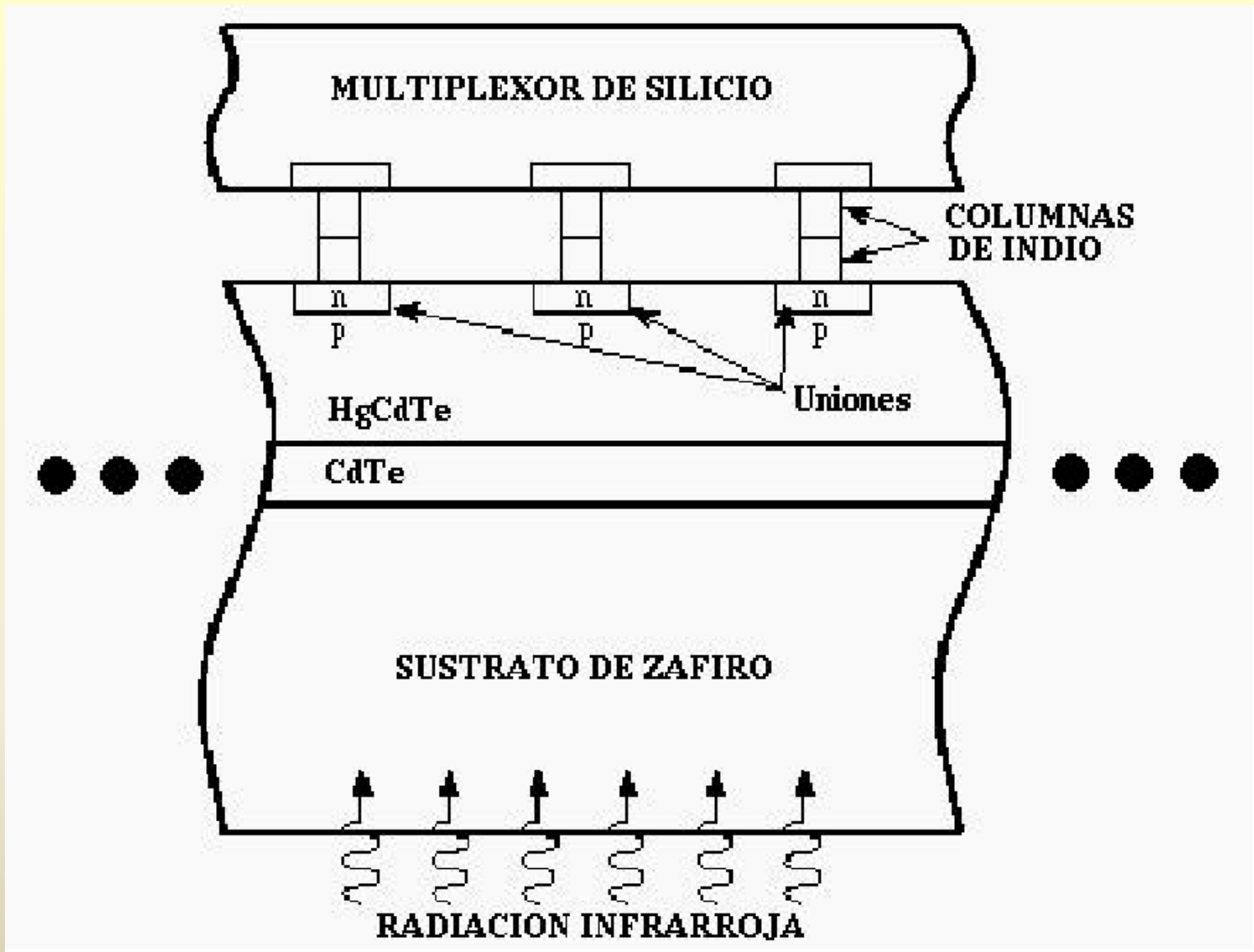


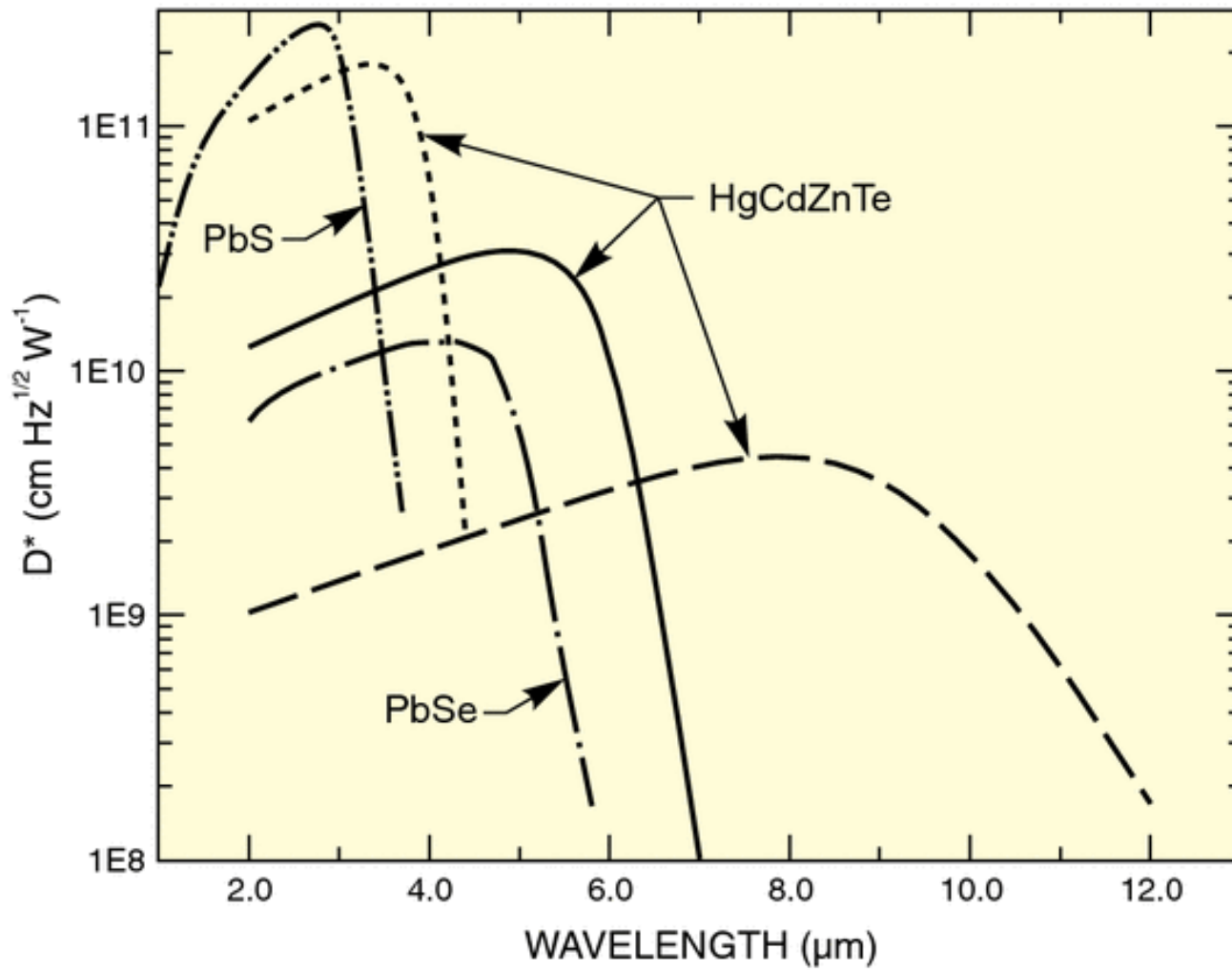
Factor de llenado =
Área efectiva /
Área total

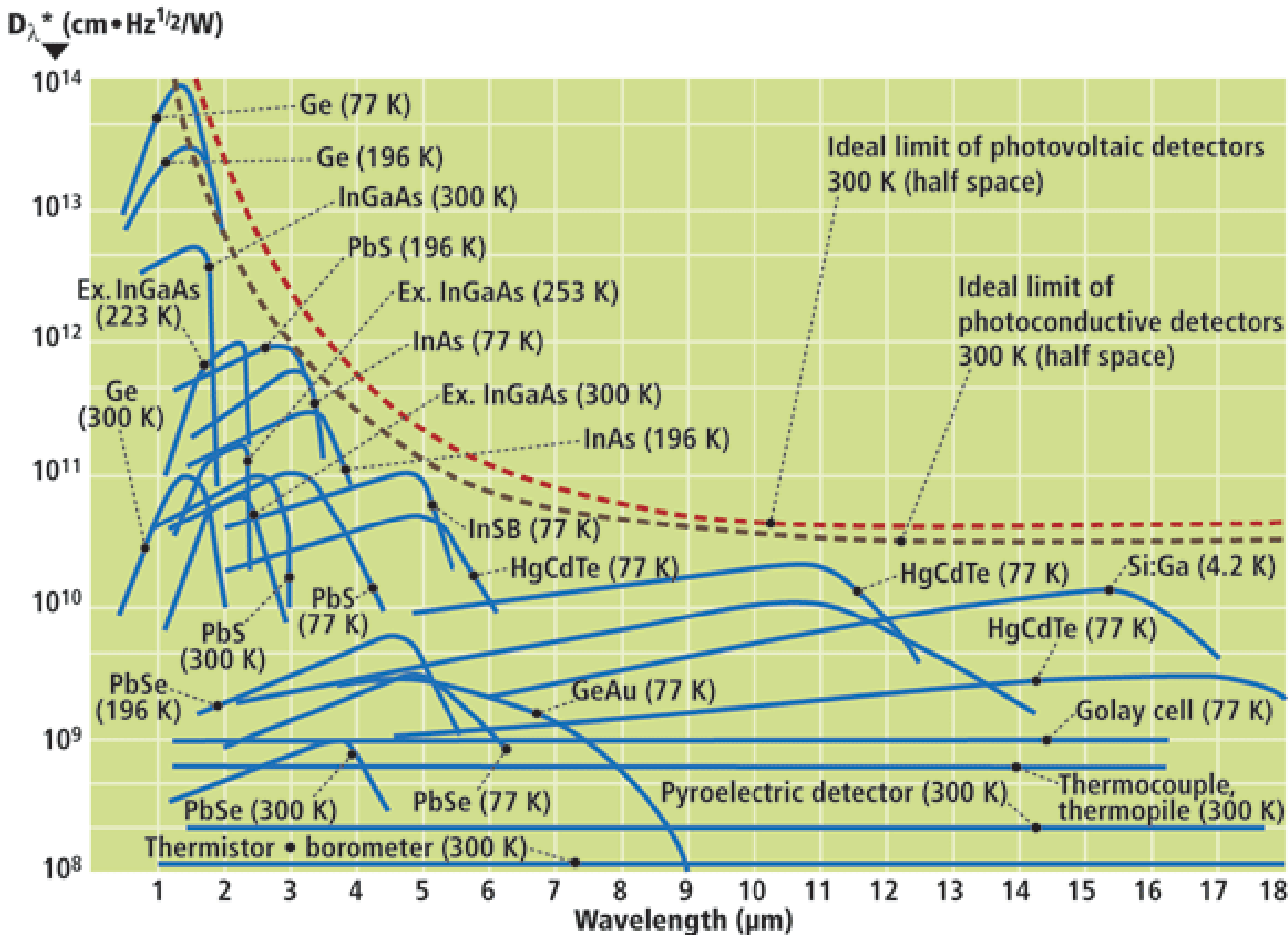
Fabricación:

A $\approx 700\text{K}$, un cañón de electrones golpea tres fuentes de Hg, Cd y Te. Los materiales se posan en ambiente de vacío sobre el sustrato de Zafiro.

Los RG se fabrican a T menores.









Detectores nIR

El principio de “carga acoplada” no funciona en IR. Hay 2 problemas que los detectores IR deben tener en cuenta:

- El detector “se ve a si mismo”.
- El fondo es muy alto.

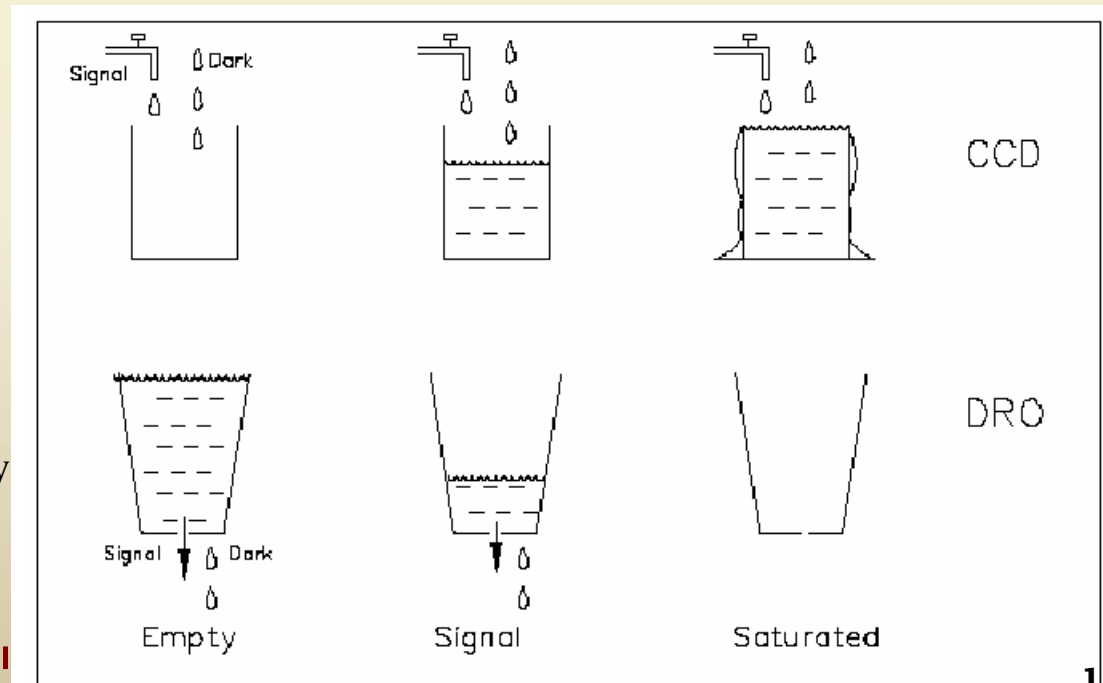
Para solucionarlo el modo de funcionamiento es diferente:

Durante el reset, se le aplica a cada pixel un voltaje constante. Los fotones que llegan generan carga en el substrato del detector y reducen el valor de este voltaje original.

La señal que se mide es el voltaje remanente, proporcional a la radiación recibida.

La saturación en este caso ocurre cuando el voltaje ha sido completamente reducido por los fotones incidentes.

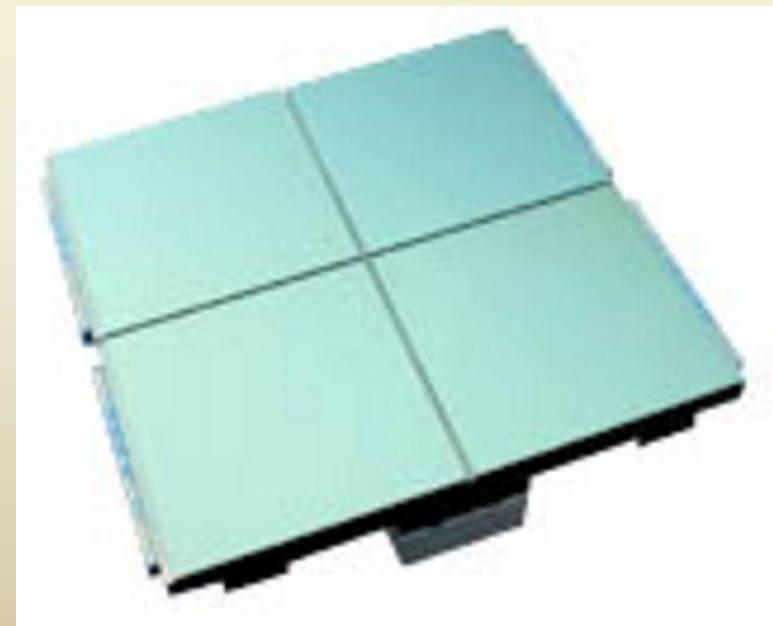
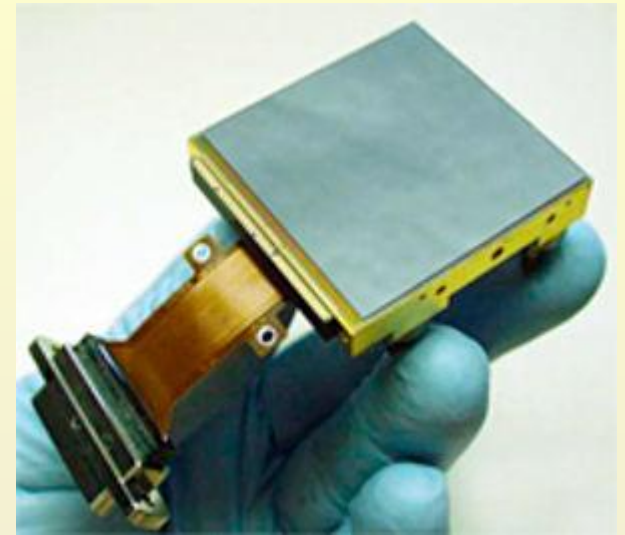
- La lectura no es destructiva
- Varias lecturas posibles
- No hay columnas malas
- Binning no es posible
- Transferencia de carga no son posibles
- Ruido de lectura, corriente de oscuridad y linealidad son igual de relevantes





Detectores nIR

Parameter	Specification
Detector technology	HgCdTe or Si PIN
Detector input circuit	SFD
Readout mode	Ripple
Pixel readout rate	100 kHz to 5MHz (continuously adjustable)
Total pixels	2048 x 2048
Pixel pitch	18 μm
Fill factor	$\geq 98\%$
Output ports	Signal: 1, 4, 32 selectable guide window and reference
Spectral range	0.3 - 5.3 μm
Operating temperature	$\geq 30\text{K}$
Quantum efficiency (array mean)	$\geq 65\%$
Charge storage capacity	$\geq 100,000e^-$
Pixel operability	$\geq 95\%$
Dark current (array mean)	$\leq 0.1 e^-/\text{sec}$ (77K, 2.5 μm)
Read noise (array mean)	$\leq 15 e^-$ CDS @ 100 kHz
Power dissipation	$\leq 4 \text{ mW}$ @ 100 kHz



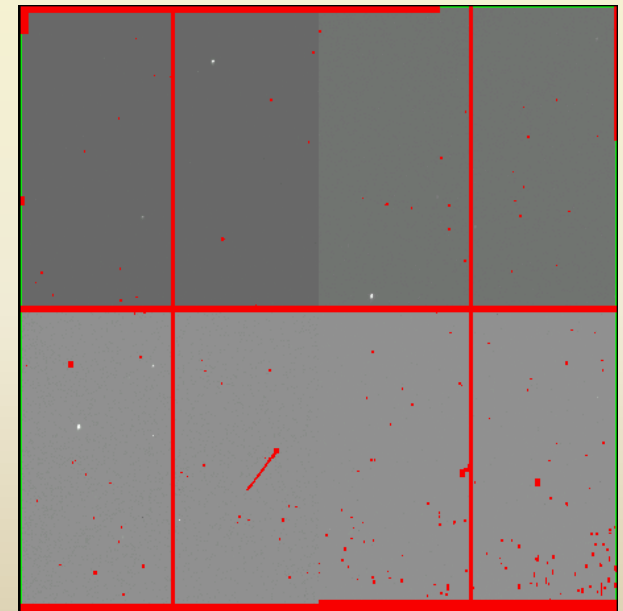
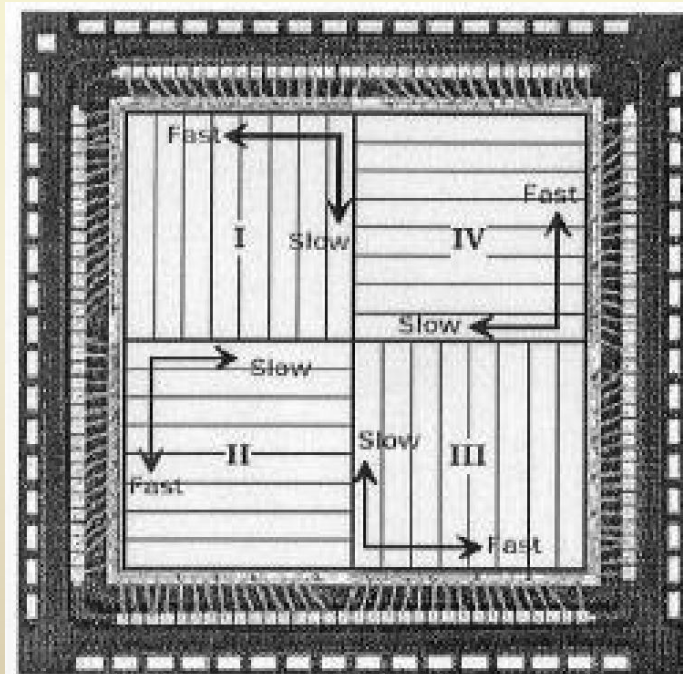


Detectores nIR

Lectura por zonas (efectos extra)

Píxeles malos frecuentes y crecen con el tiempo

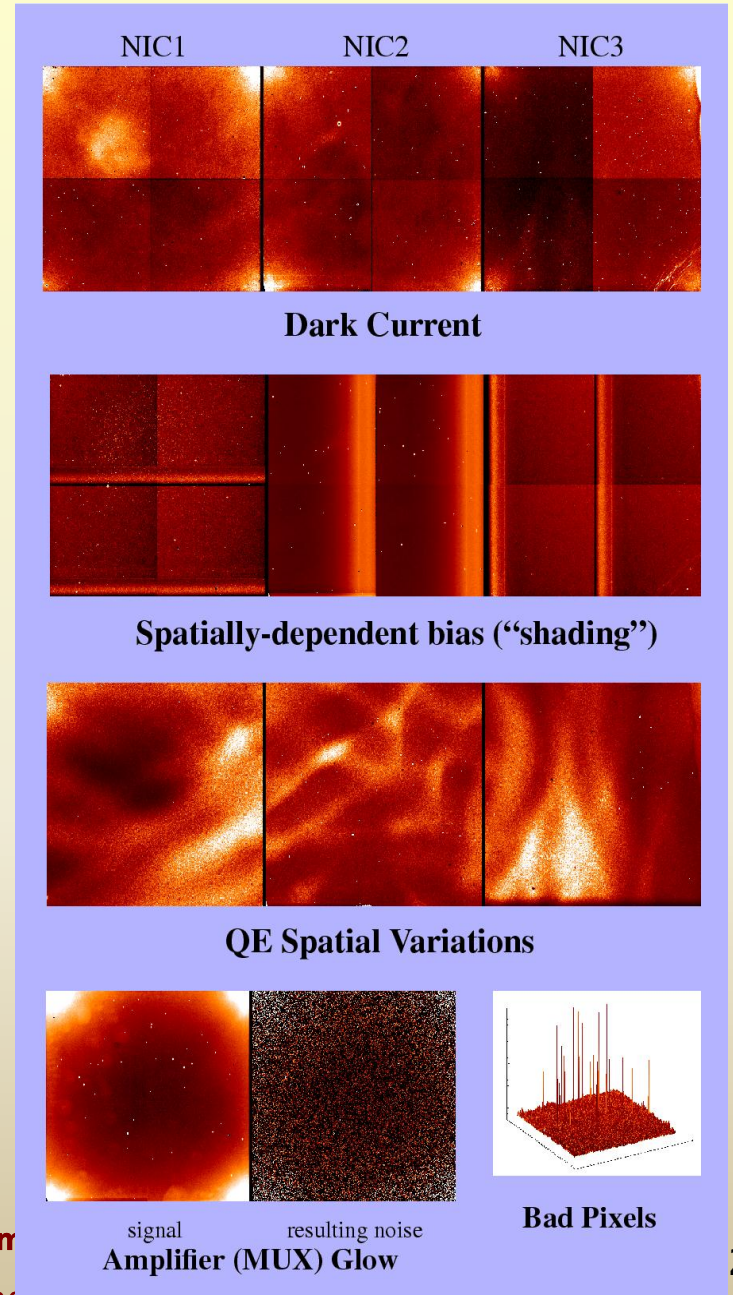
Lo que sufre en los ciclos térmicos es el multiplexor, no el mercadtel





Defectos de los Detectores nIR

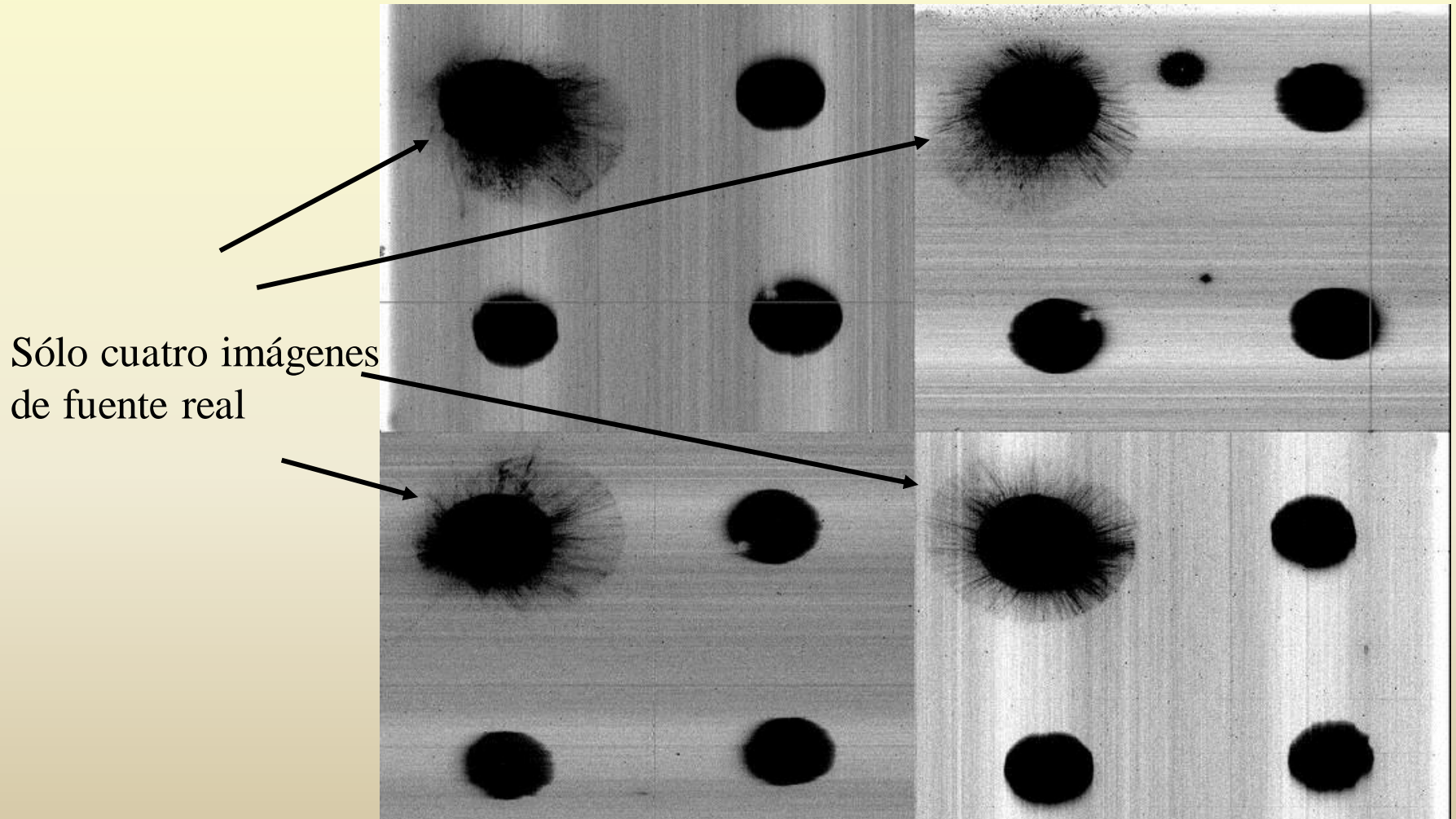
- Dark con estructura
- Bias con estructura (Bias drifts)
- Variaciones QE de baja frecuencia
- Señal residual de los amplificadores (Amplifier glow)





Crosstalk

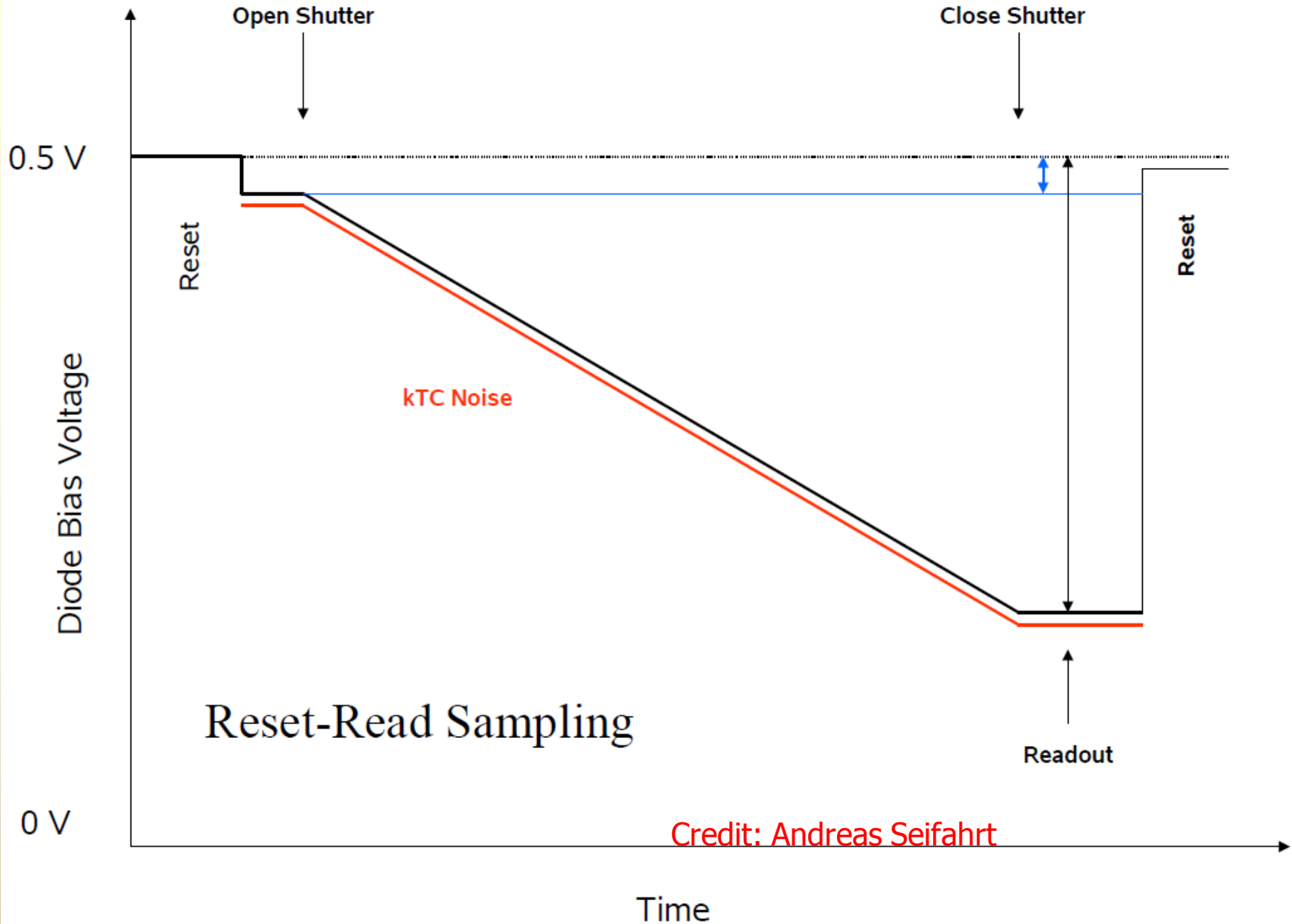
Fuentes brillantes producen señal en los otros cuadrantes.



Sólo cuatro imágenes
de fuente real

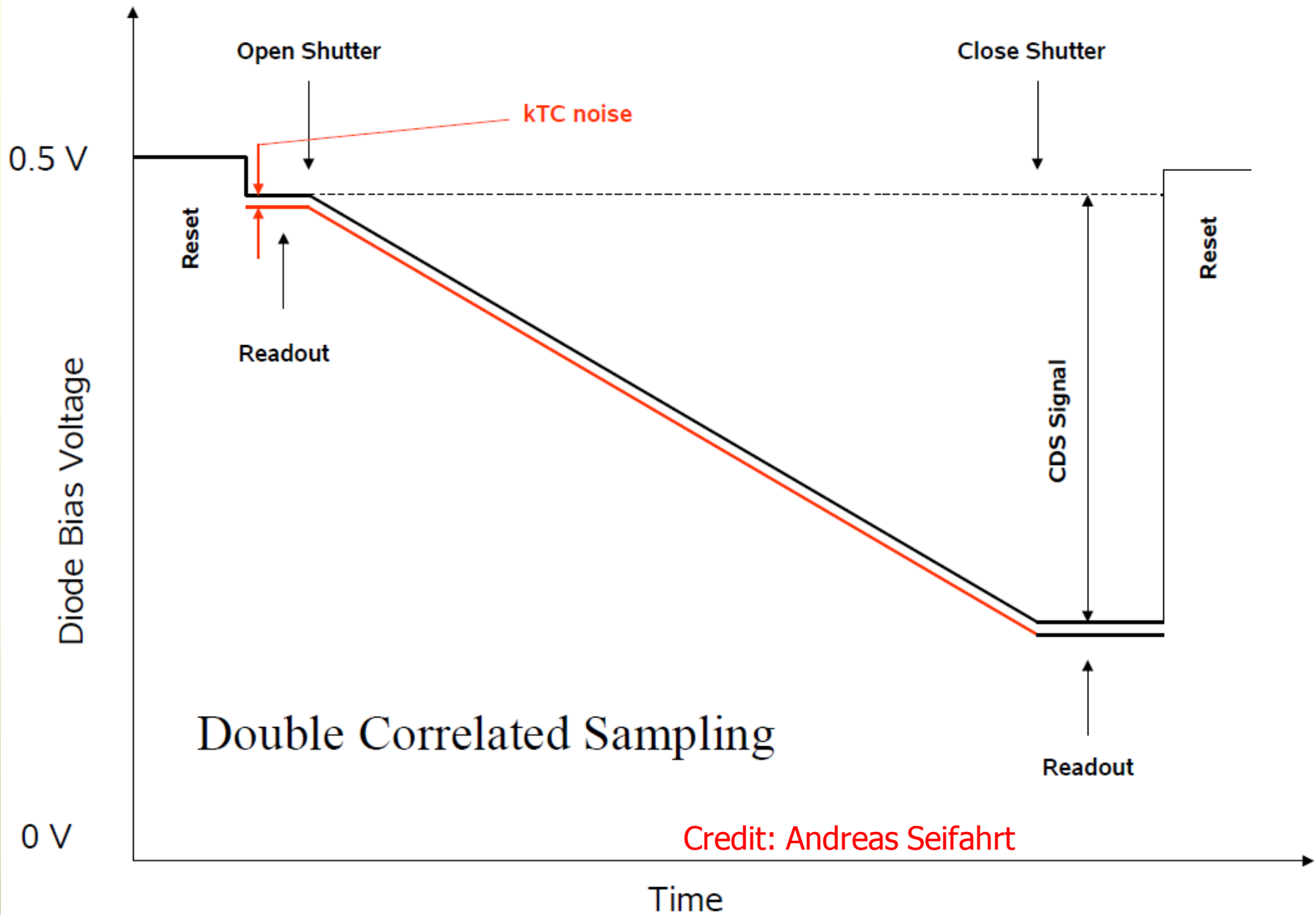


Modos de lectura



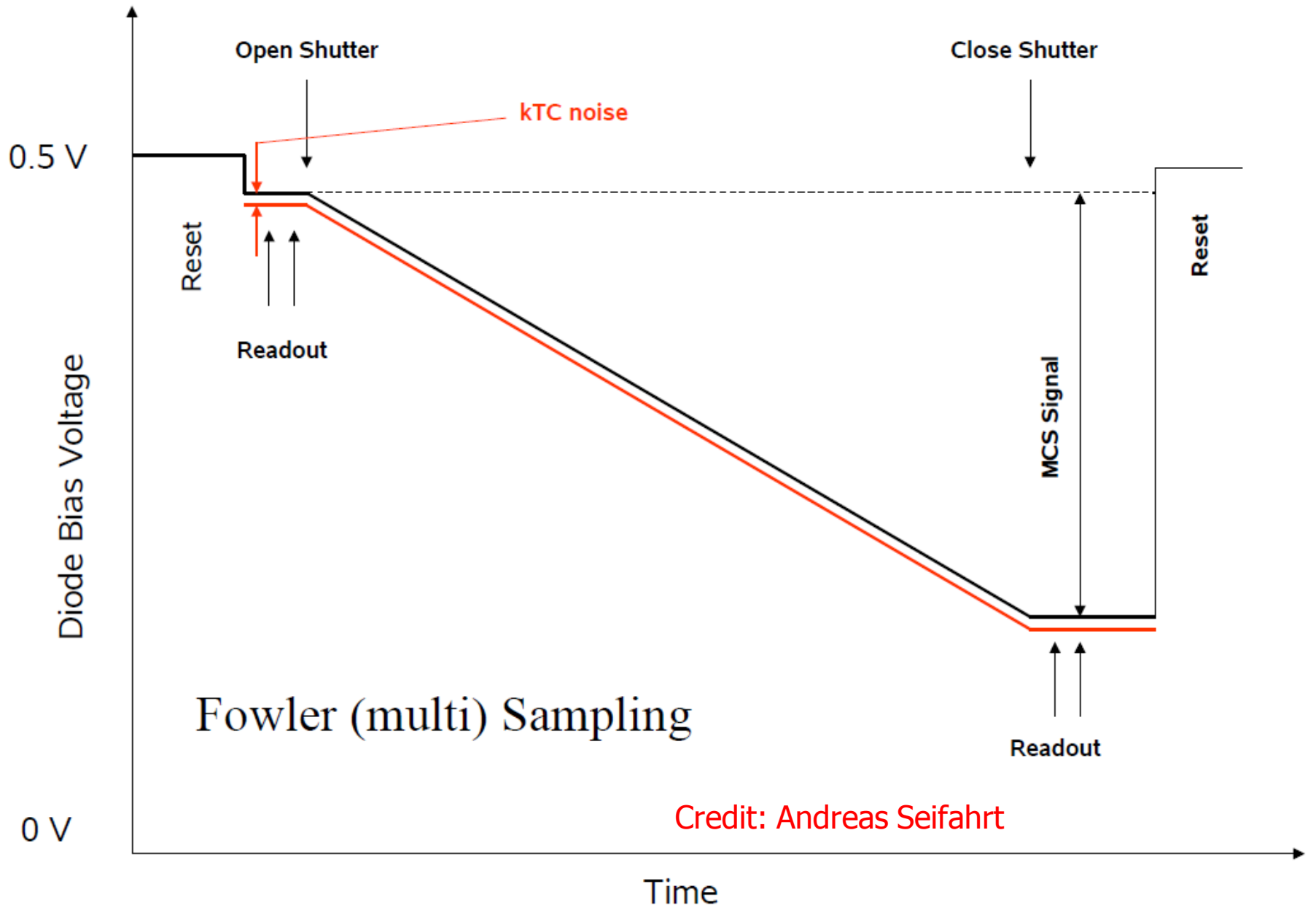


Modos de lectura



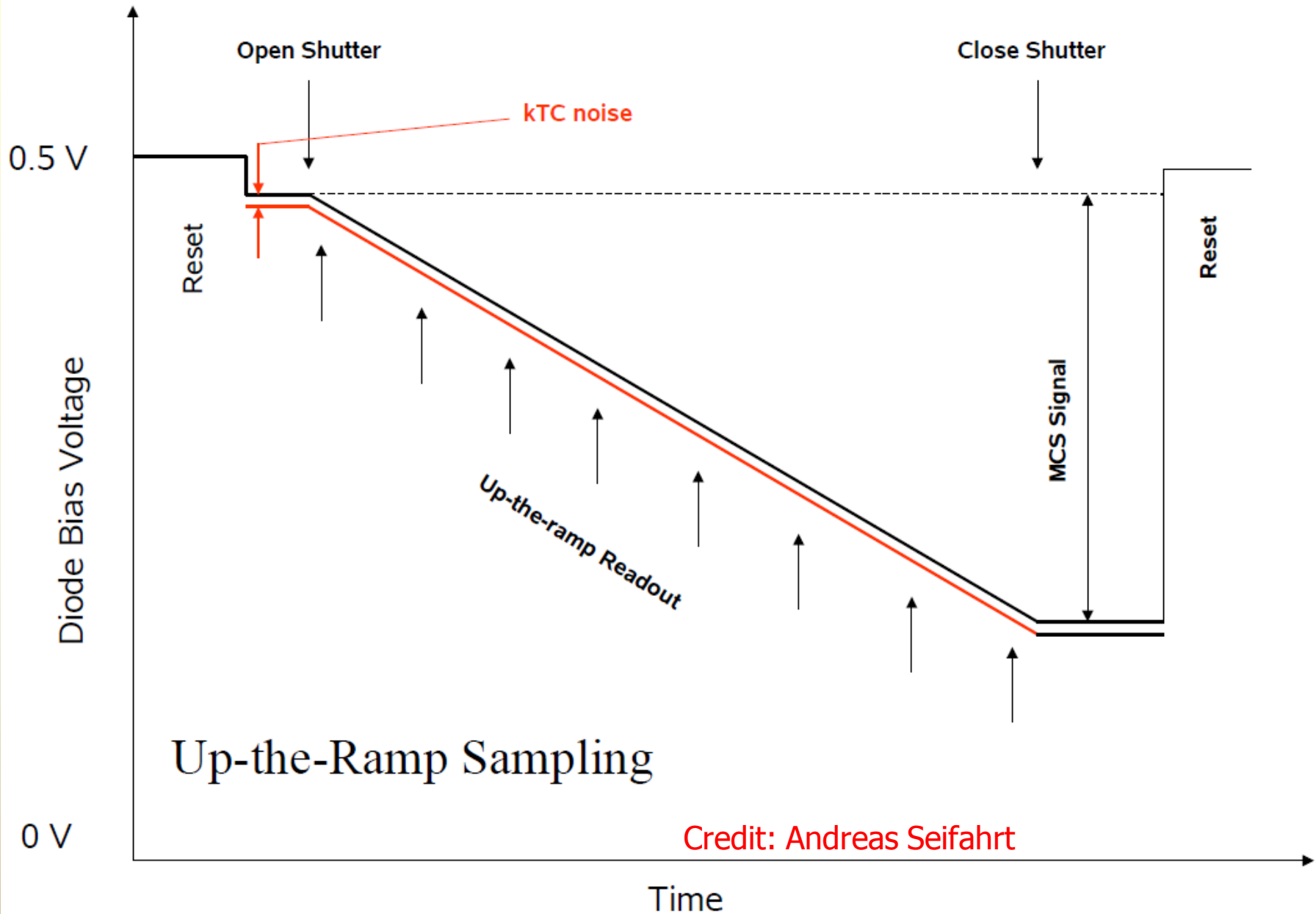


Modos de lectura





Modos de lectura





Modos de lectura

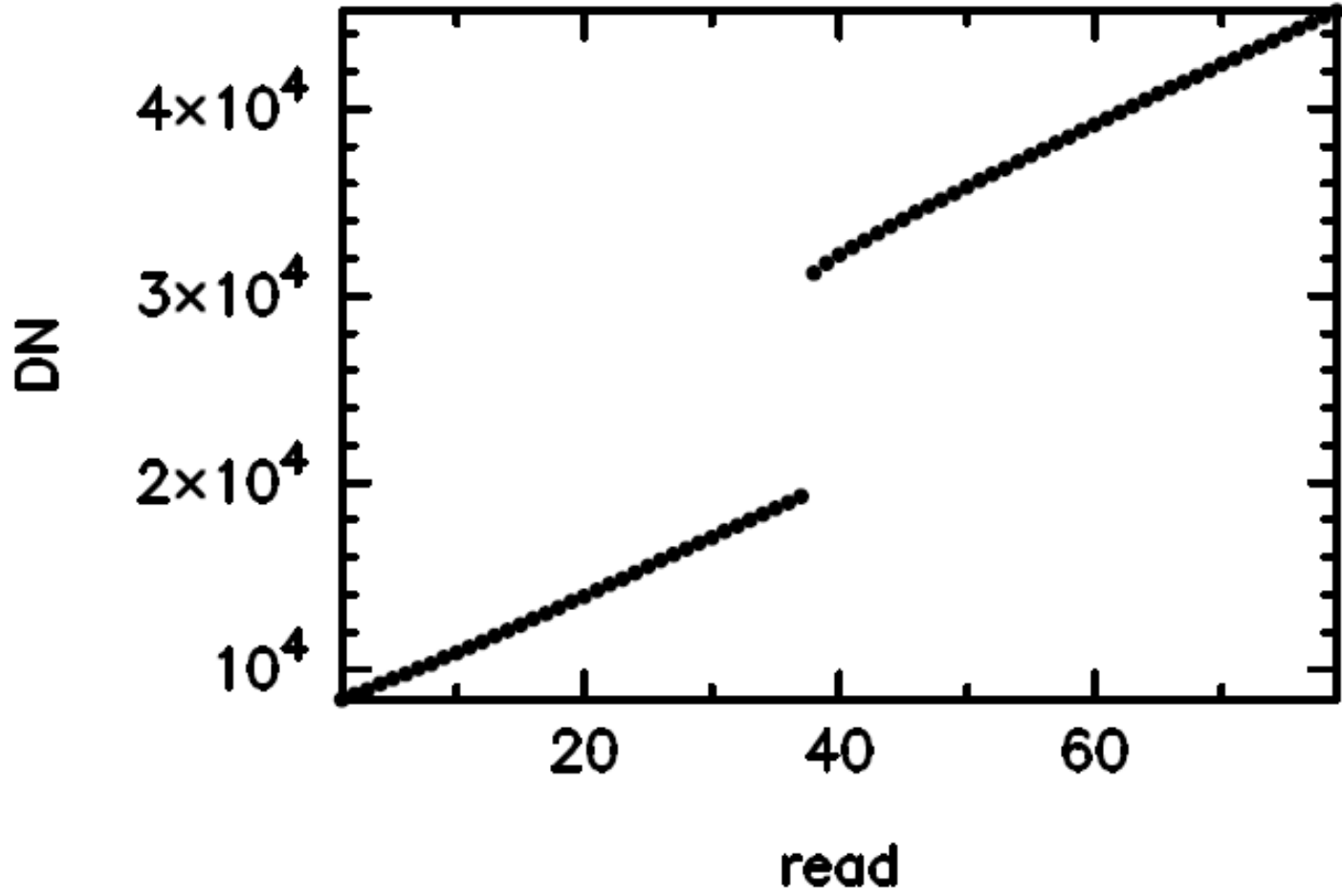


FIG. 11.— This figure shows the data ramp for a single DCE on the 160 μm characterization array. A cosmic ray hit occurred after read 37, causing a large jump in the ramp. The response of both the Ge arrays to a cosmic ray hit is similar to that shown here.

Gordon et al. (2003)



Técnicas de observación en nIR

- La señal de interés es muy pequeña en comparación con el background
 - Las imágenes raw (crudas) sólo muestran píxeles malos y los efectos del FF

$$\text{Int_FRM} (i,j) = \frac{\text{SCI_FRM} (i,j) - \text{SKY_FRM} (i,j)}{\text{FLT_FRM} (i,j) - \text{DRK_FRM} (i,j)}$$

- Las exposiciones saturan en pocos segundos, por ser el cielo muy brillante
 - **Volumen muy grande de datos.** Entre 5 y 10 Gb por noche
 - 30s en J, 2s en K, 10s en H y 0.01s en L
 - La substracción del fondo es fundamental
 - Para integrar se han de tomar muchas imágenes y promediar → **COADDING**
 - **Efectos de persistencia de carga.** Se toma una imagen extra al principio para eliminar
- Muchos defectos cosméticos en el detector
 - **DITHERING**

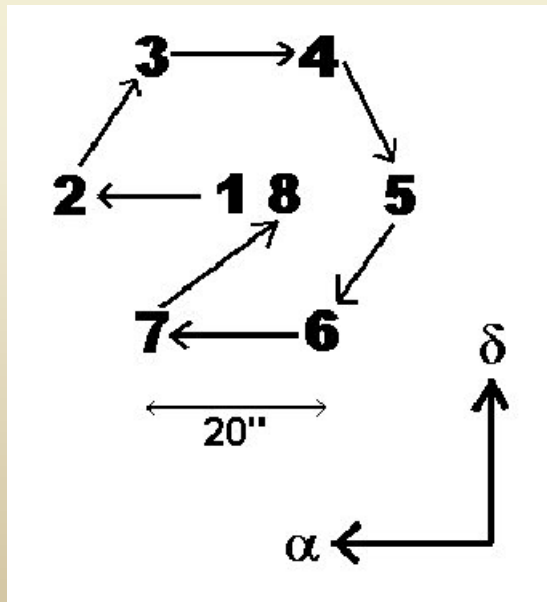
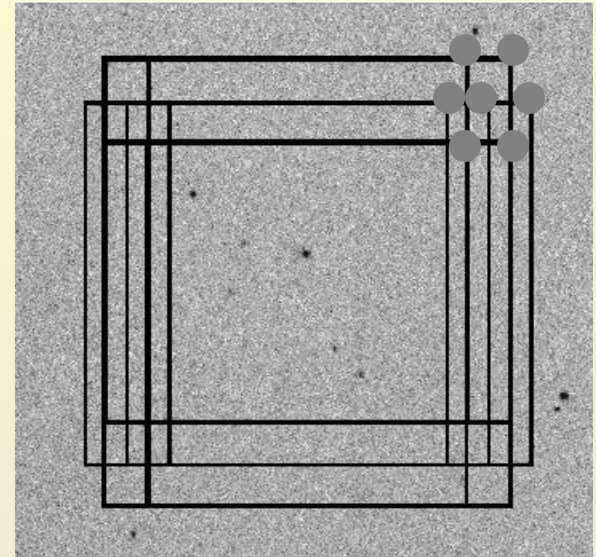


DITHERING

Método de observación estándar → DITHERING (SHIFT & COADD)

Procedimiento:

1. Serie de exposiciones en una posición. Se salvan.
2. Mover telescopio unos pocos arcsec.
3. Otra serie de exposiciones.
4. Mover (shift) el telescopio otra vez...
5. ...



Ejemplo: Exposición de 600s en la banda K

10 posiciones con 31 co-adds de 2s en cada posición

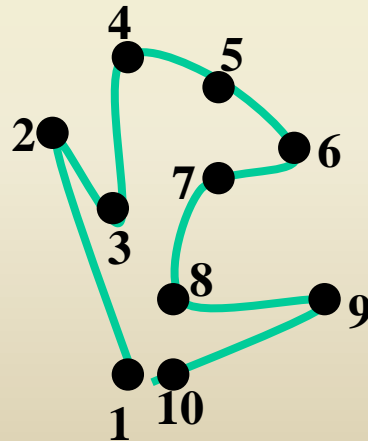
Offsets de $\sim 10x$ FWHM



JITTERING

Método de observación alternativo → **JITTERING**
(RANDOM SHIFT & COADD)

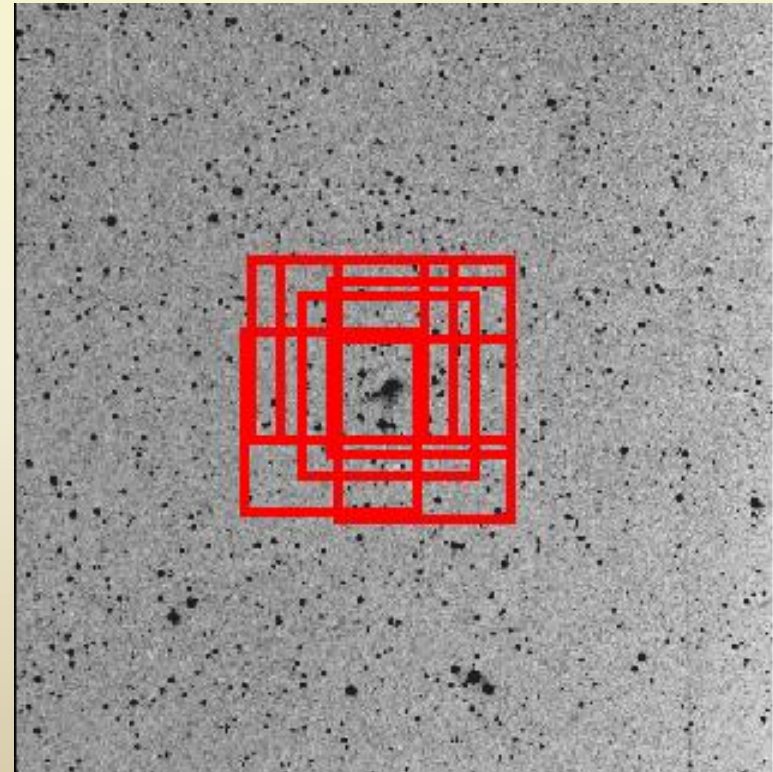
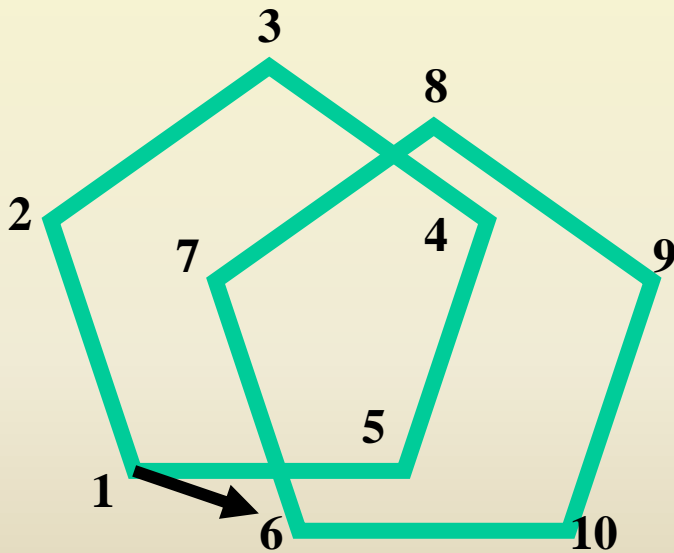
Ejemplo: Exposición de 600s en la banda K
10 posiciones con 31 co-adds de 2s en cada posición





Integración

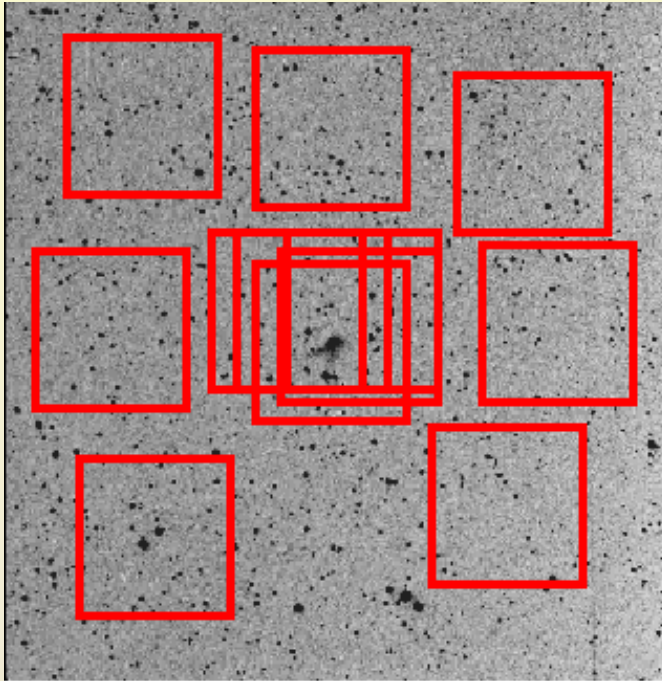
Método de observación estándar → Varias secuencias de dithering
DITHERING + **Offsets entre apuntados**



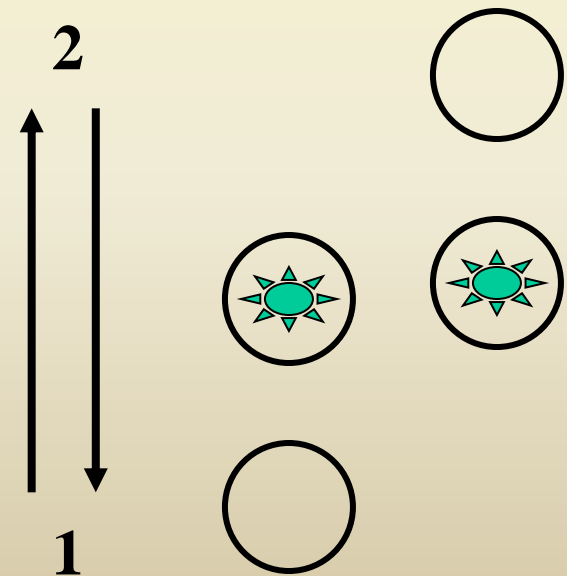


CHOPPING

- Se hace en el nIR cuando el objeto es muy grande

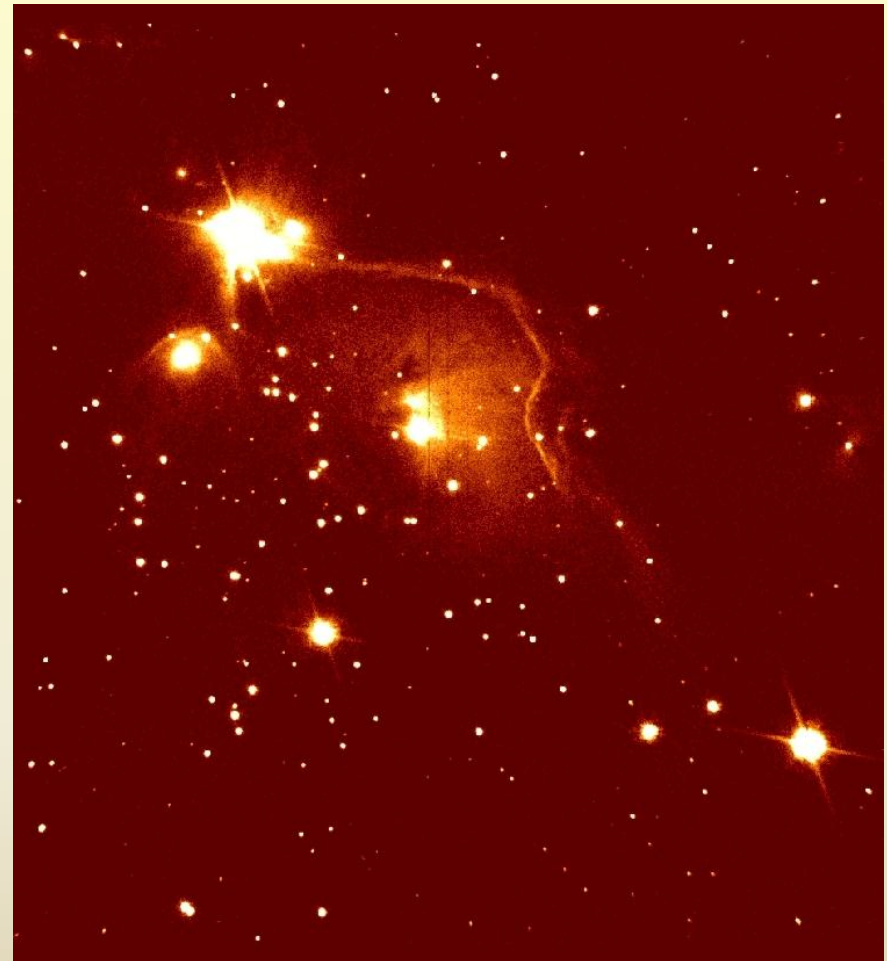
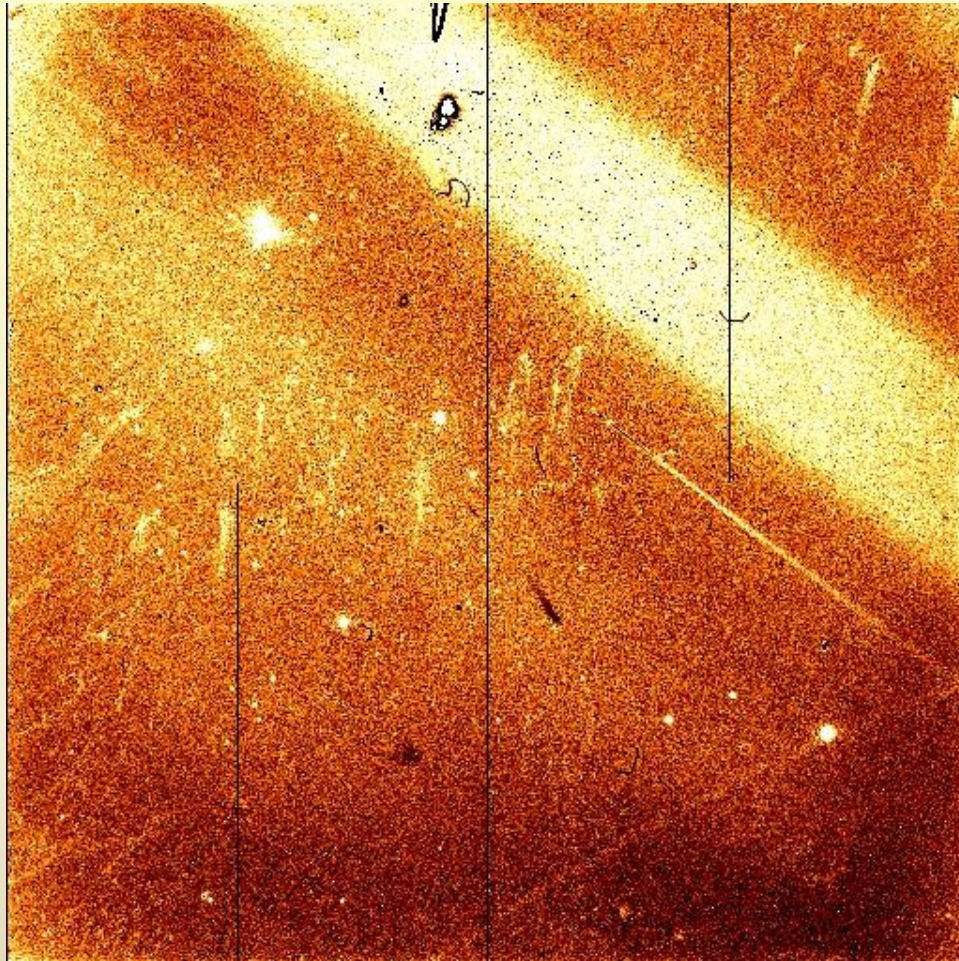


- Método de observación en IR medio
Ejemplo: Exposición de 600s en la banda L
Chopping máximo de ~ 30 arcsec





Reducción de datos IR



<http://www.not.iac.es/instruments/notcam/eng-grade-arr.html>

**Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012**

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

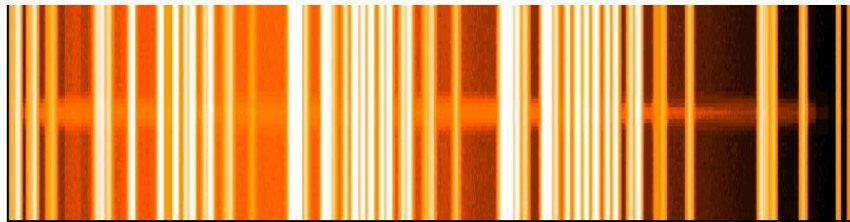


Técnicas observación en espectroscopía IR

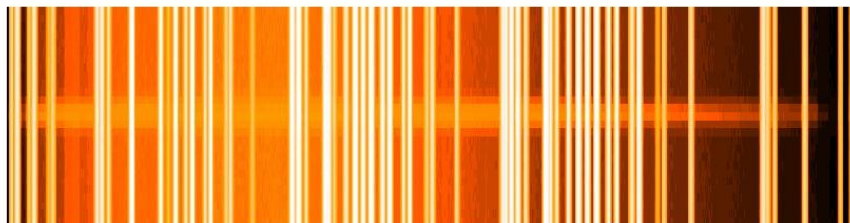
Para $R < 2000$ las líneas de OH se confunden $\rightarrow R > 3500$

J band

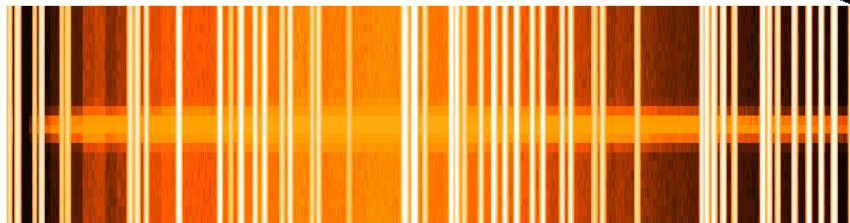
R=1500



R=2500

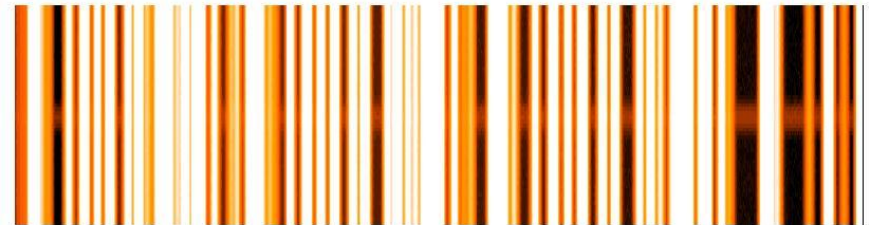


R=4000

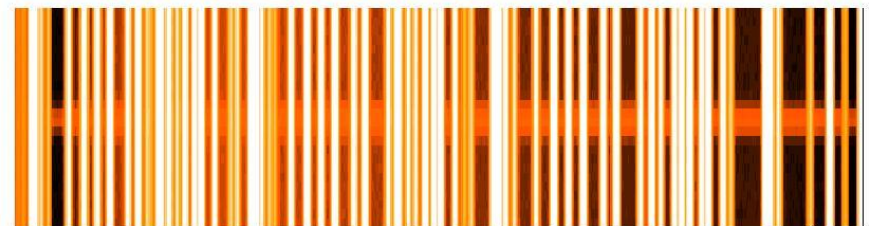


H band

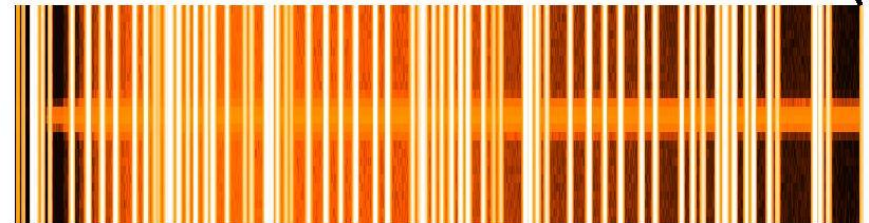
R=1500



R=2500



R=4000



ci

Curso 2011/2012

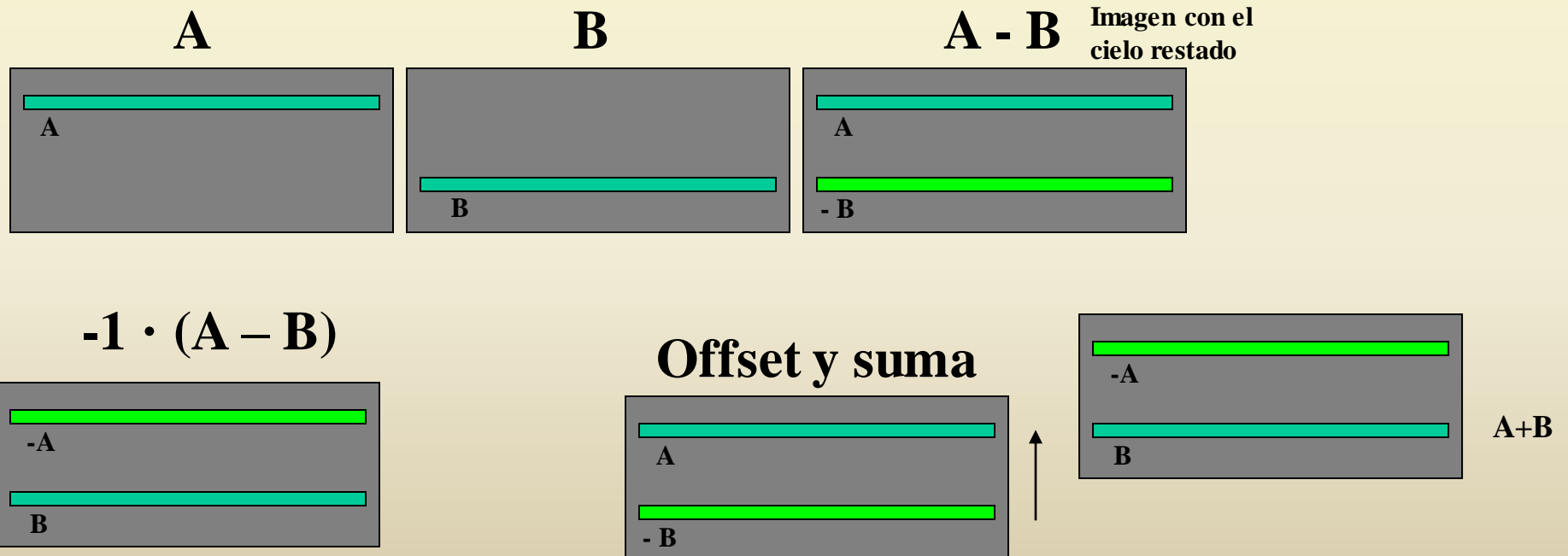
(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



Técnicas observación en espectroscopía IR

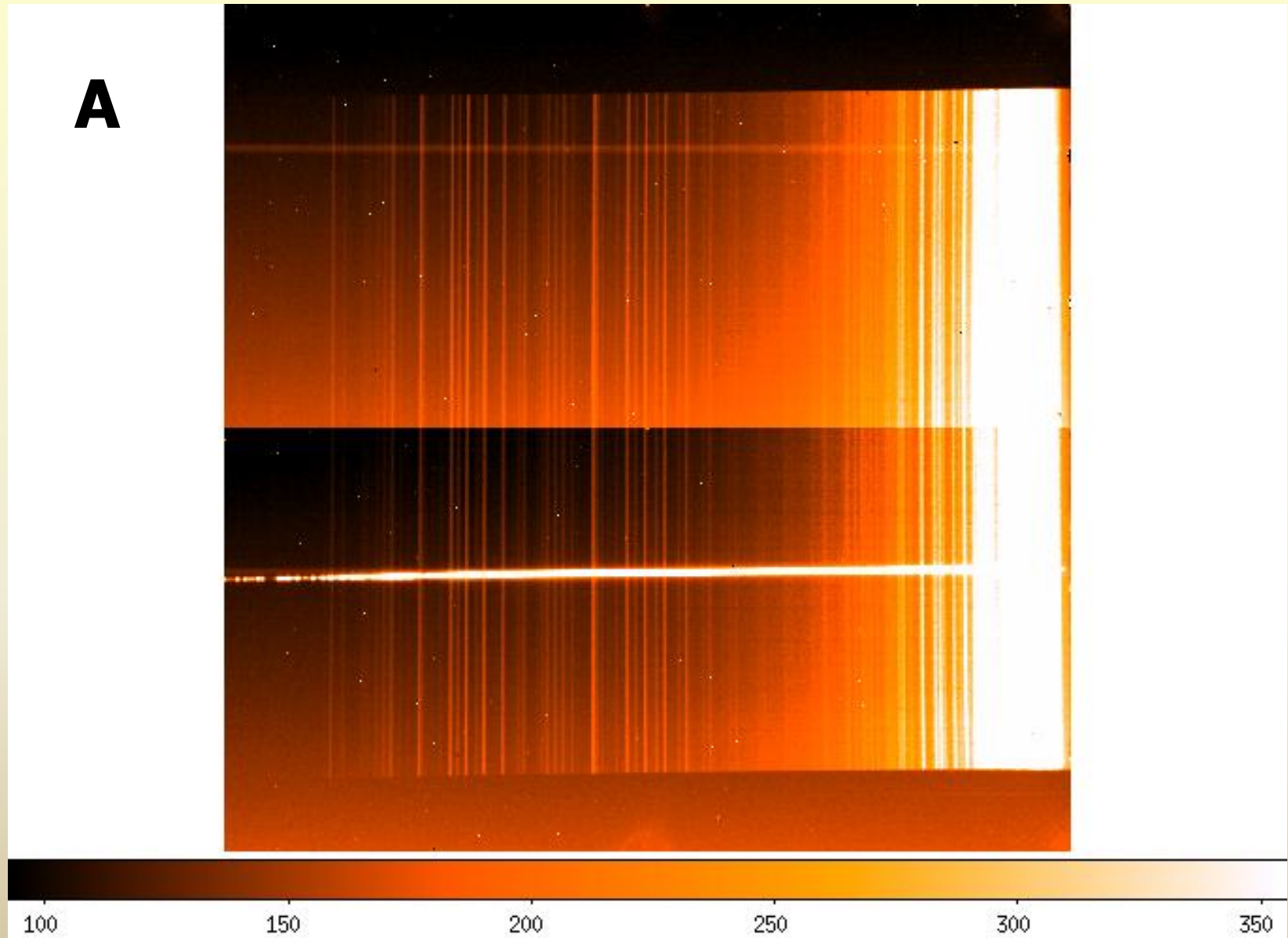
Método de observación estándar → **Substracción de imágenes A – B**

Series de pares A,B con dithering





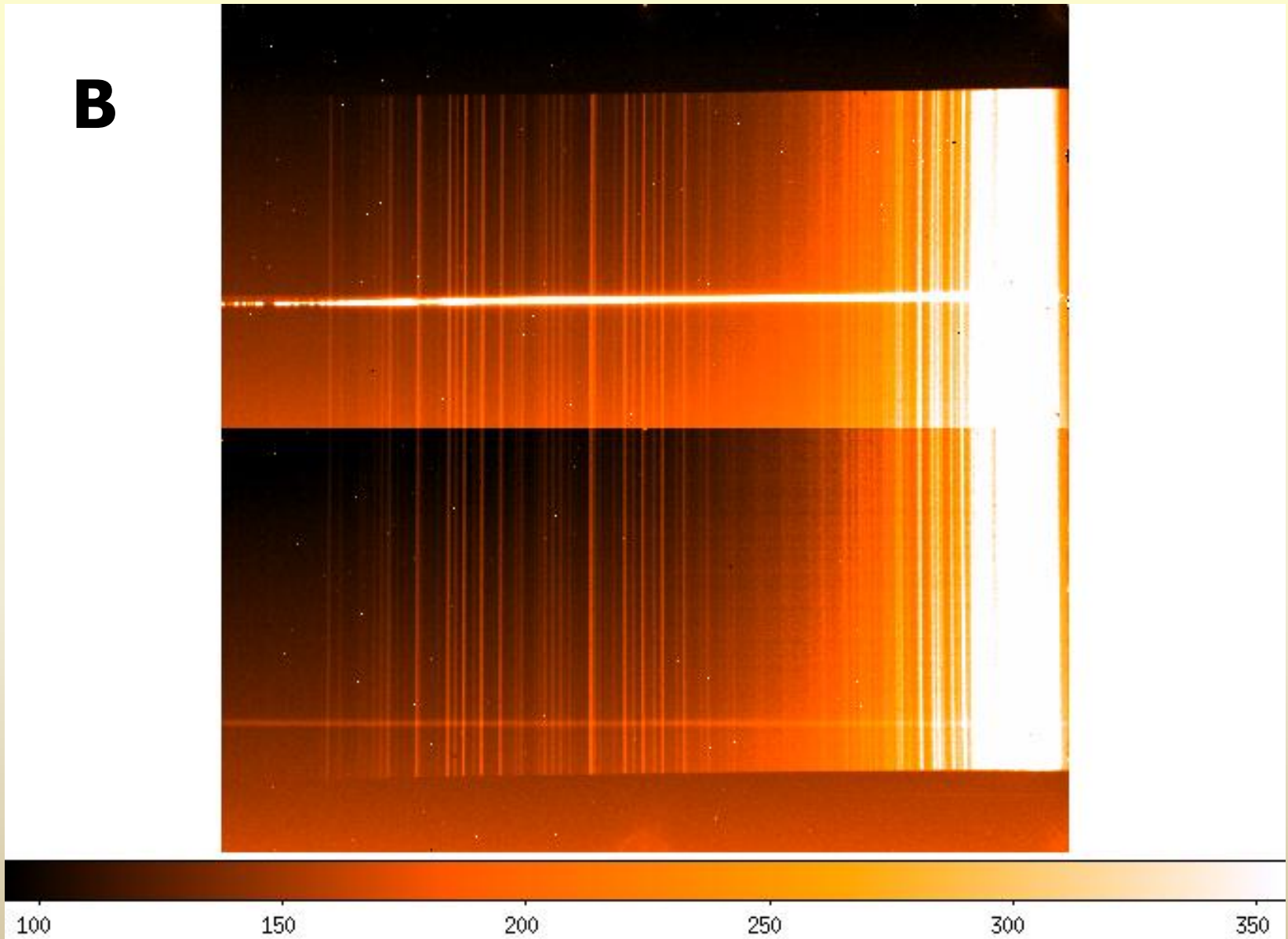
Técnicas observación en espectroscopía IR





Técnicas observación en espectroscopía IR

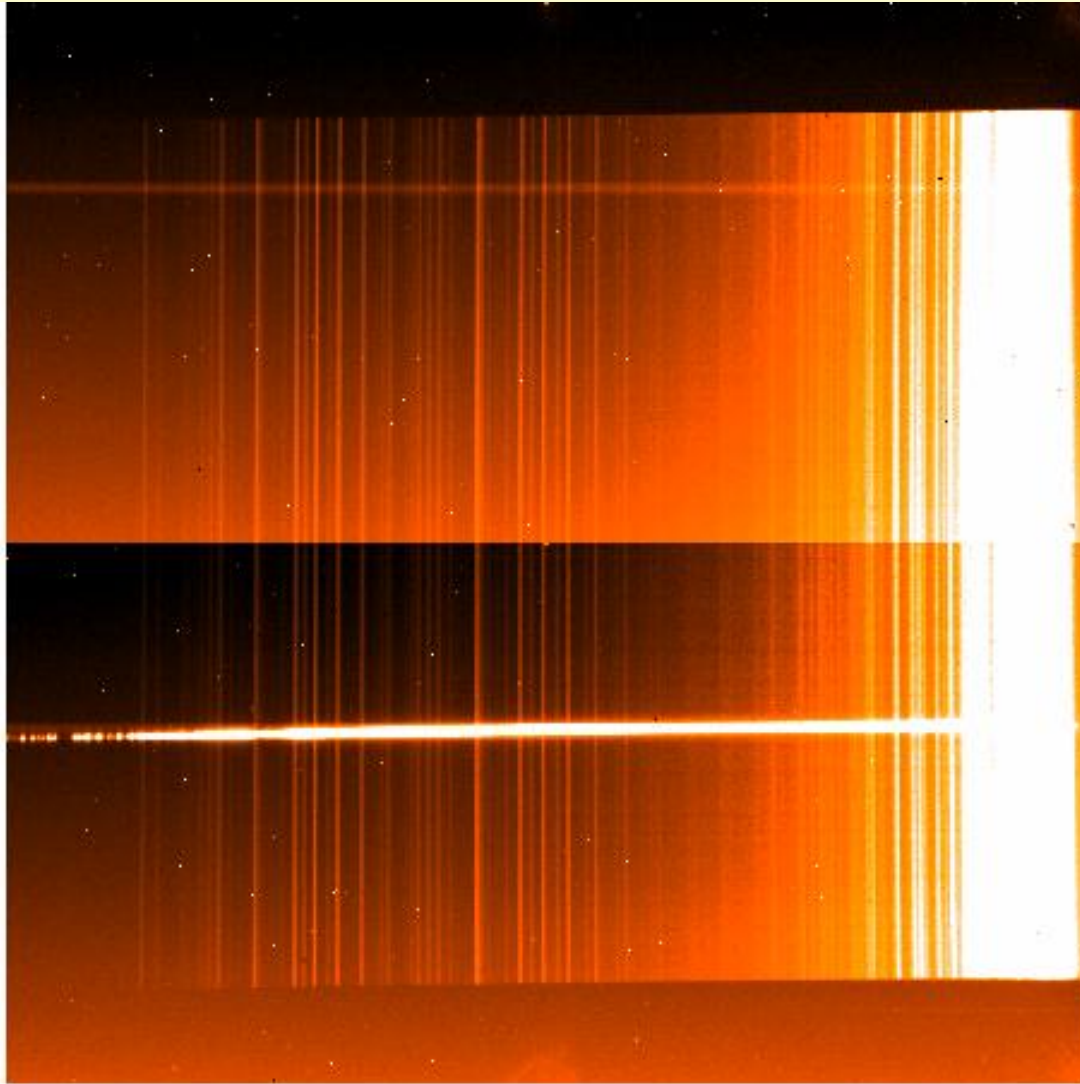
B





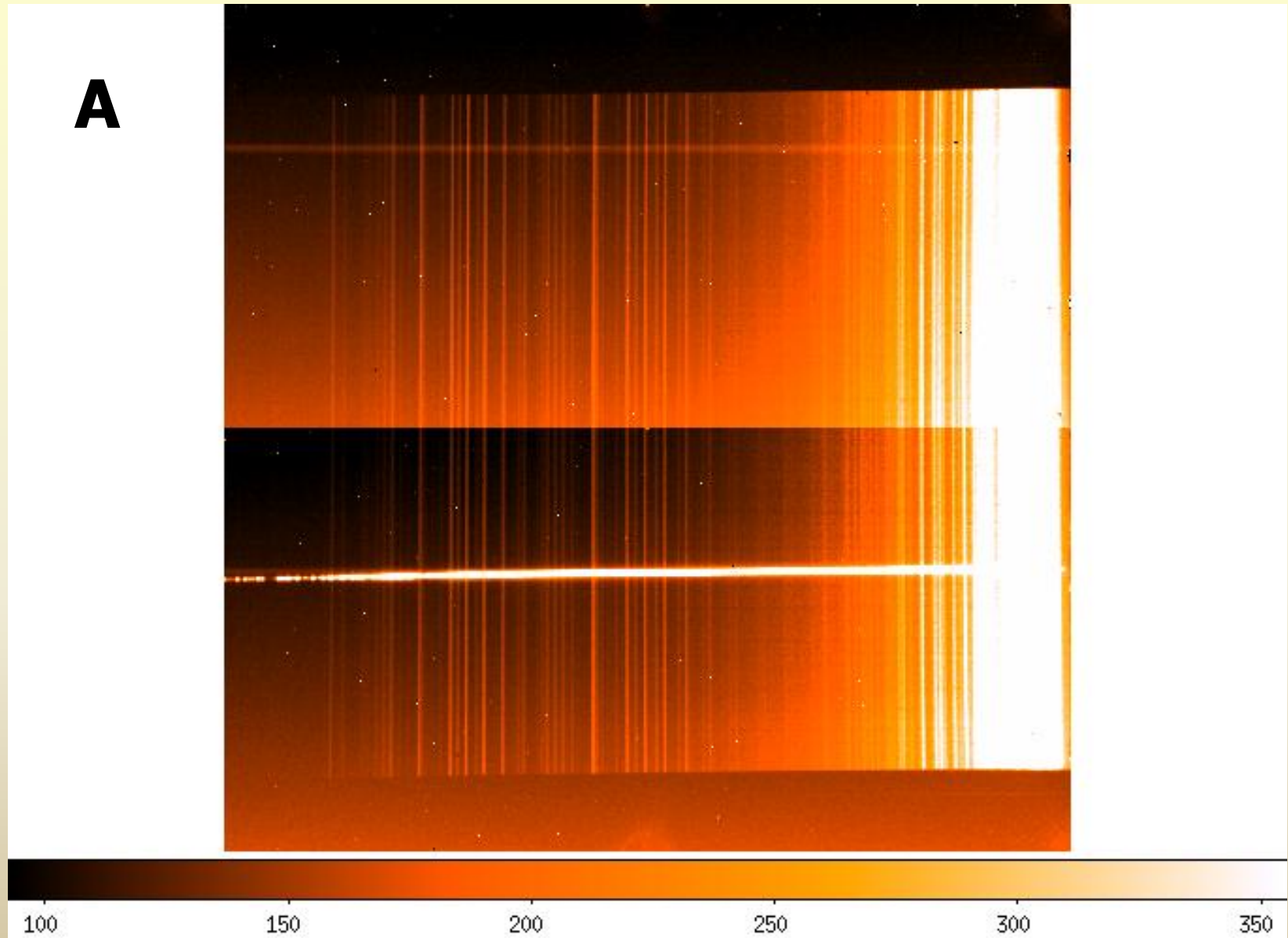
Técnicas observación en espectroscopía IR

A'





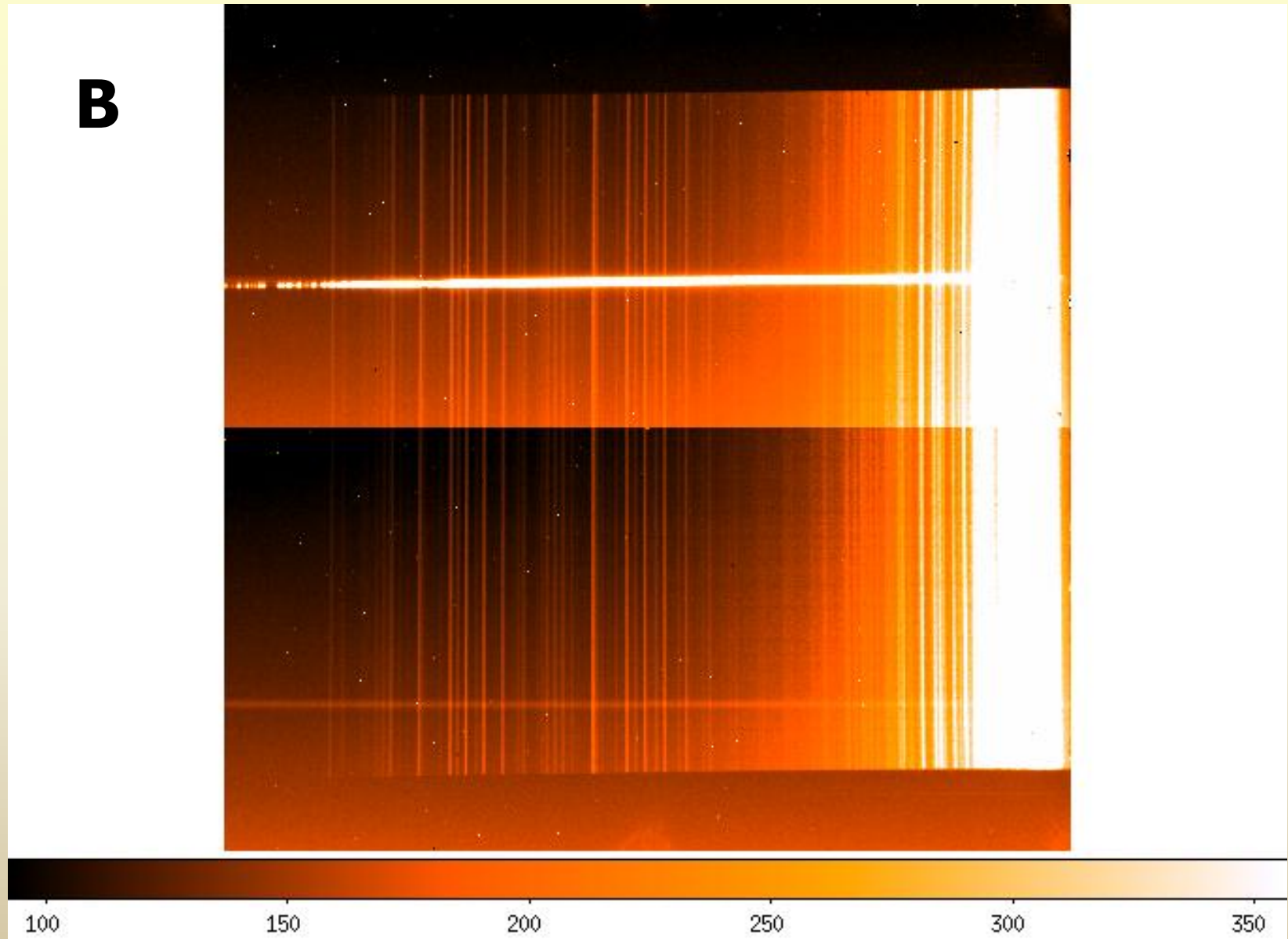
Técnicas observación en espectroscopía IR





Técnicas observación en espectroscopía IR

B





Técnicas observación en espectroscopía IR

A-B



-10 -8 -6 -4 -2 0 2 4 6 8 10



Técnicas observación en espectroscopía IR

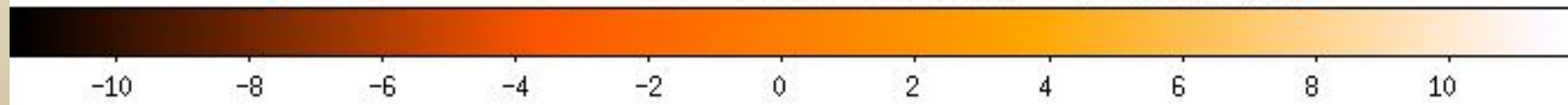
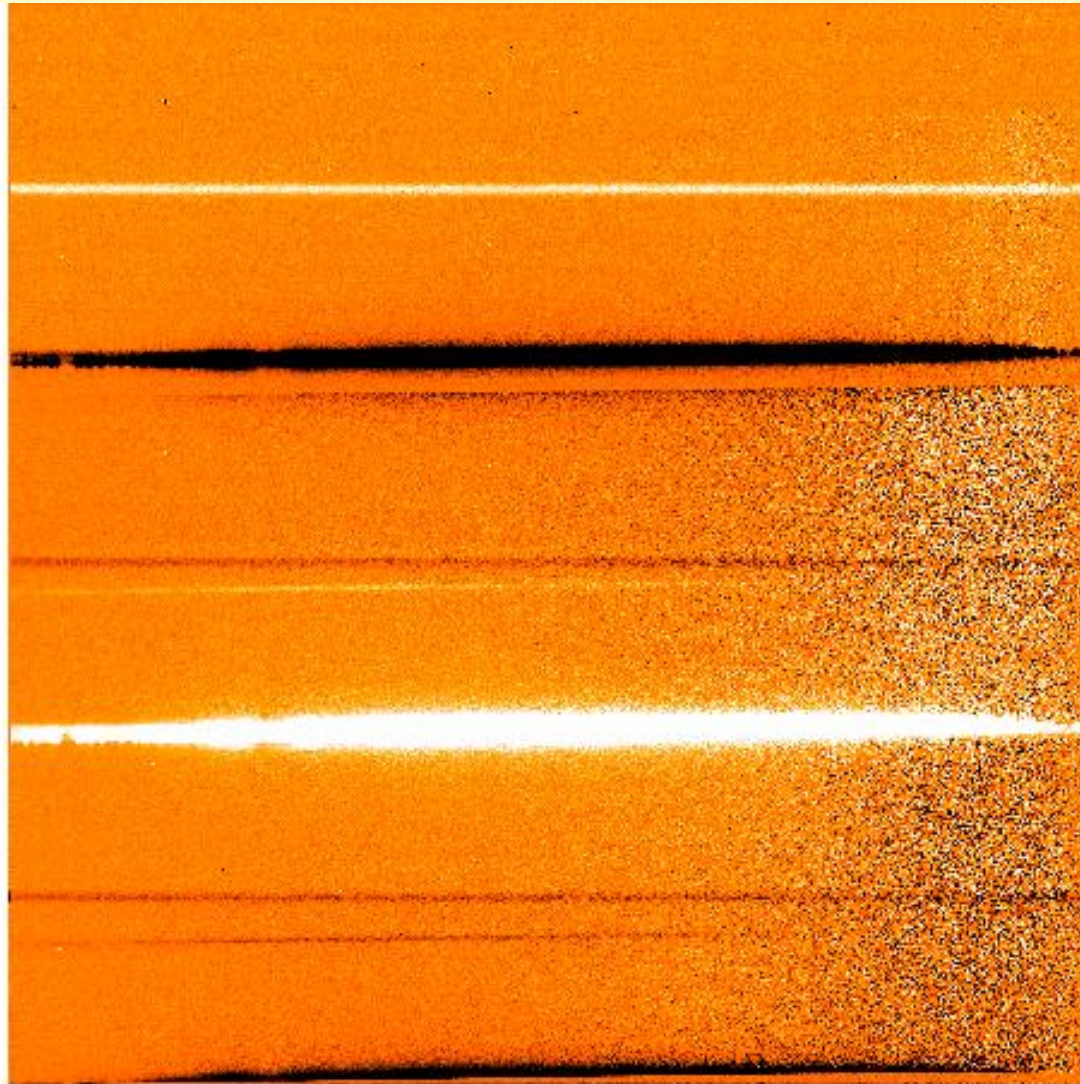
A'-B'





Técnicas observación en espectroscopía IR

all





Misiones en el IR medio y lejano

- 1983 **IRAS**, UK, USA, ND, 57cm f/10
12, 25, 60, 100 μ m
Primer all-sky survey
PSC con 245.000 fuentes, total de 350.000
Galaxias IRAS, cirros IR

- 1995-1998 **ISO**, ESA, 60cm f/15
5-200 μ m
Formación estelar

- 2010 **SOFIA**, USA, 2.5m En vuelo

- 2003 **Spitzer** (SIRTF), USA, 85cm f/12

3-180 μ m

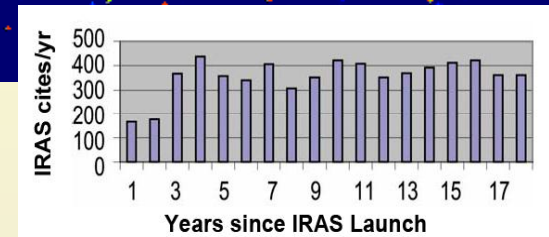
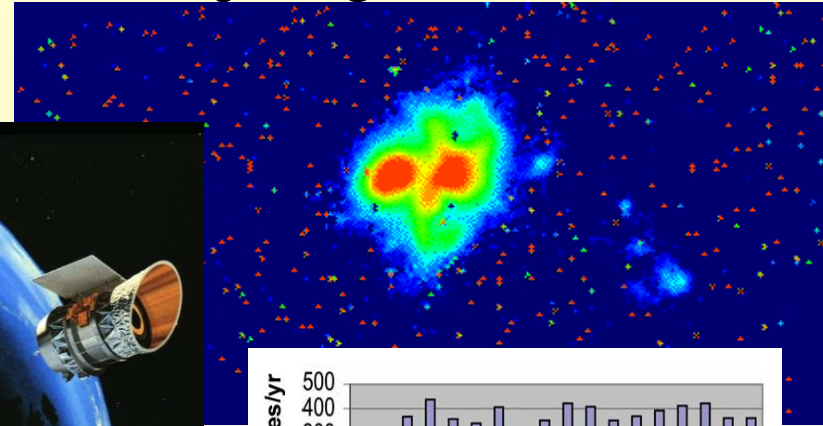
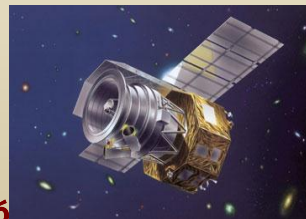
- IRAC Infrared Array Camera
- MIPS Multiband Im Phot for Spitzer
- IRS Infrared Spectrograph



- 2-2006 Akari (**ASTRO-F**), Japón, ESA, 68.5cm

2-180 μ m

- FIS Far Infrared Surveyor
- IRC Infrared Camera
- All-survey 10⁶ fuentes + targets





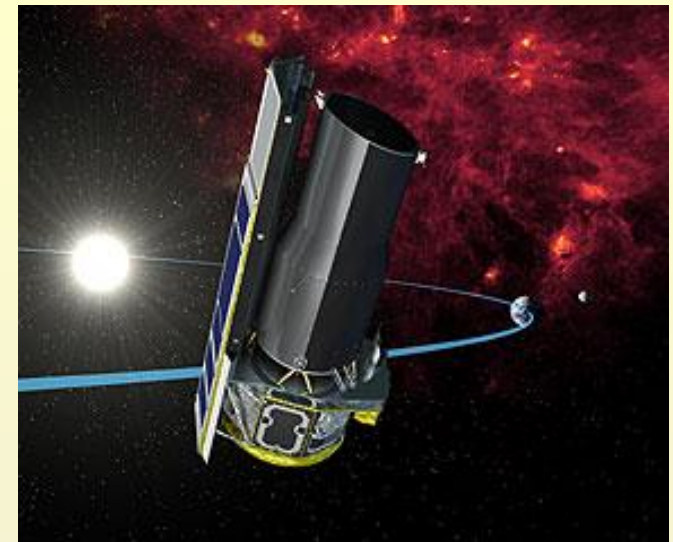
Spitzer

Observatorio espacial NASA en el IR lejano

Lanzado el 25 de agosto de 2003

Telescopio 85cm, berilio

Rango 3 – 180 μm



IRAC Infrared Array Camera

4 detectores: 2xSbIn+2xSiAs, 256x256

5x5 arcmin 3.6, 4.5, 5.8, 8 μm

MIPS Multiband Im Phot

1 detector **SiAs** 128x128 para 24 μm ; 5x5 arcmin

1 detector **GeGa** 32x32 para 70 μm ;

1 detector **GeGa** 2x20 para 160 μm 0.5x5 arcmin

IRS Infrared Spectrograph; 128x128 5-40 μm

MOPEX

SSC: MOPEX: Full List of Included Scripts

SSC: MOPEX: Full List of Included Scripts

MOPEX: Full List of Included Scripts

SPITZER HOME - SPITZER SCIENCE - INSTRUMENTS - SCIENCE USER SUPPORT - SEARCH

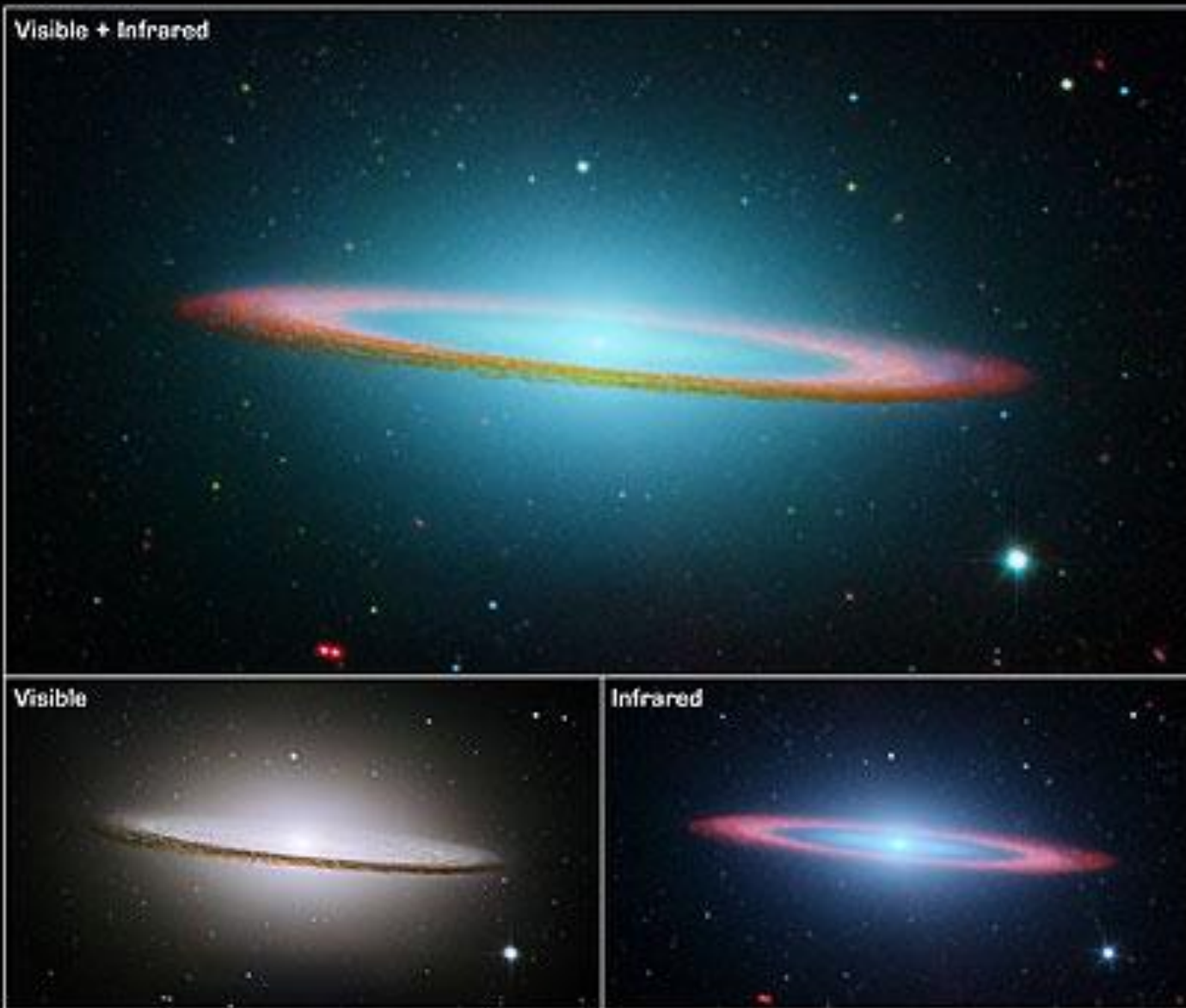
Overview

The scripts included with MOPEX are split into "Supported" and "Under Construction". Supported scripts are verified and fully-supported by the SSC, and are split into "Commonly Used" and "Auxiliary" scripts. Those under construction are either unfinished or have not been verified, and are used entirely at the user's risk. The SSC does not support scripts under construction.

Supported Scripts

Commonly Used

Tool	Description	Documentation
aperture.pl	Computes aperture fluxes	aperture.pdf
apex.pl / apex_1frame.pl	Performs multiframe / single frame point source extraction	apex.html
apex_qa.pl	Creates point source subtracted mosaic	see apex.html
cosmetic.pl	For IRAC data only ; removes muxbleed and column pull-down artifacts in IRAC images. Superseded by Sean Carey's IDL code , available as Contributed Software .	README_cosmetic.txt
fiducial_frame.pl	Creates mosaic projection table	
flatfield.pl	Performs final flatfielding. Not recommended for use with IRAC data	README_flatfield.txt
mosaic.pl	For mosaicking the BCDs with/without outlier detection	mosaicking.html
mosaic_sed.pl	Performs interpolation and coaddition of MIPS SED (spectral energy distribution) images, and extraction of the spectra	mosaic_sed.pdf
overlap.pl	Performs background matching on BCDs	background_matching.pdf
prf_estimate.pl	Not for use with IRAC data or any other undersampled data. Runs PRF (Point Response Function) estimation	PRF_estimate.pdf



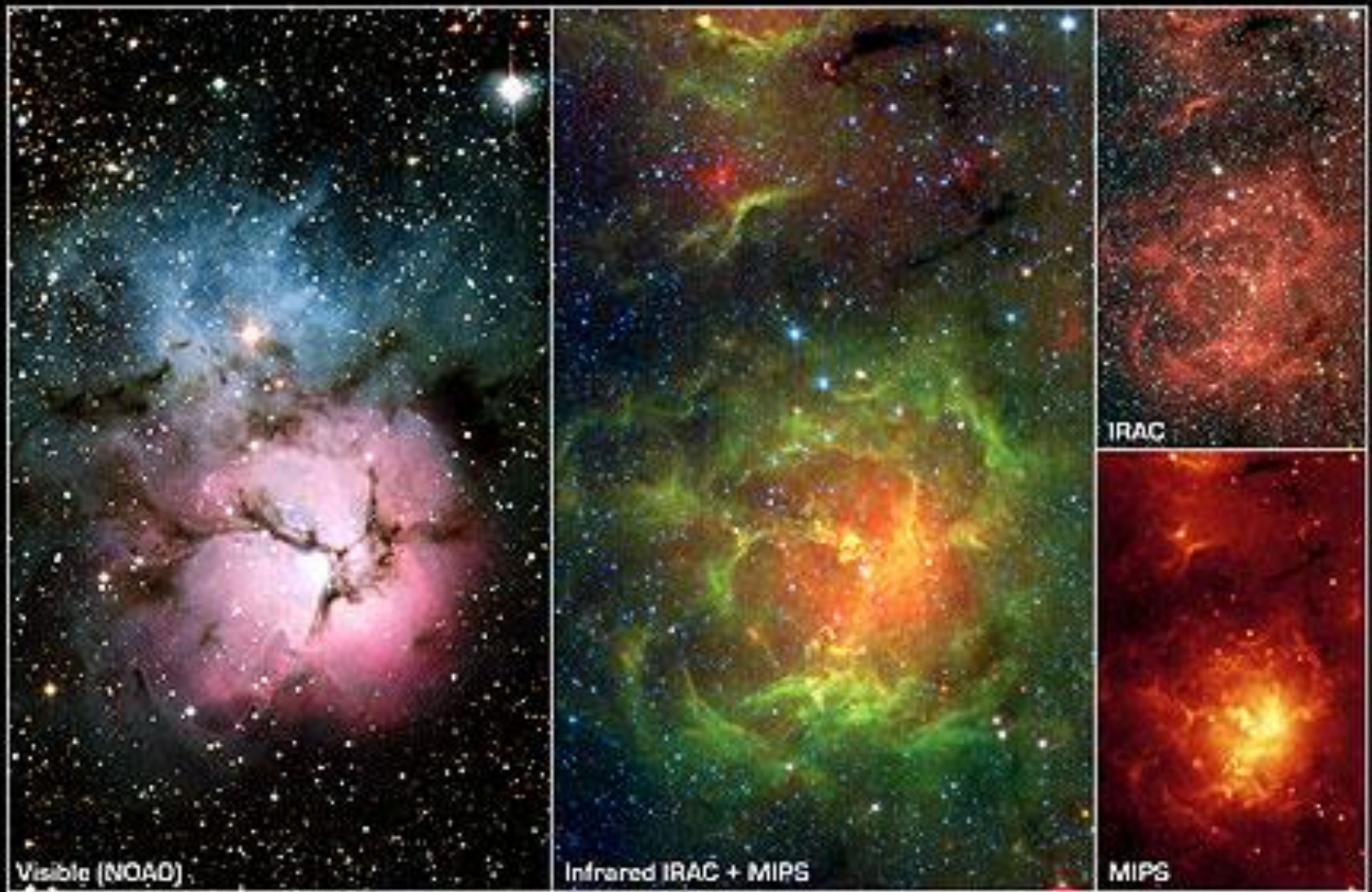
Sombrero Galaxy/Messier 104

Spitzer Space Telescope • IRAC

Visible: Hubble Space Telescope/Hubble Heritage Team

NASA / JPL-Caltech / R. Kennicutt (University of Arizona), and the SINGS Team

ssc2005-11a



Visible (NOAO)

Infrared IRAC + MIPS

IRAC

MIPS

Trifid Nebula/Messier 20

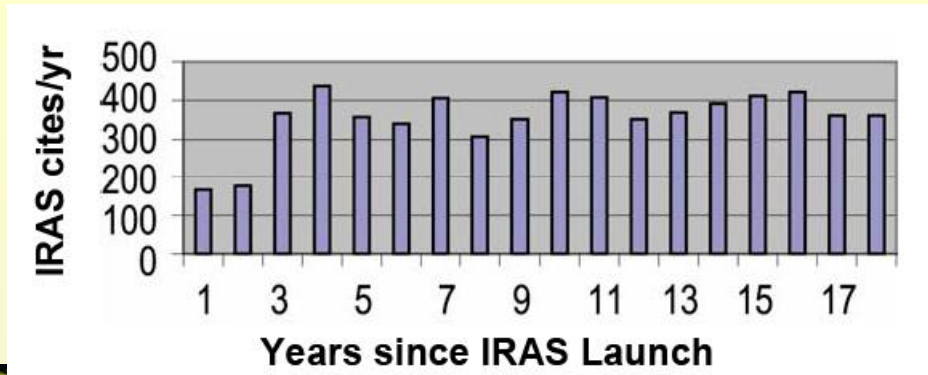
NASA / JPL-Caltech / J. Rho [SSC/Caltech]

Spitzer Space Telescope • IRAC + MIPS

ssc2005-02a



Misiones actuales

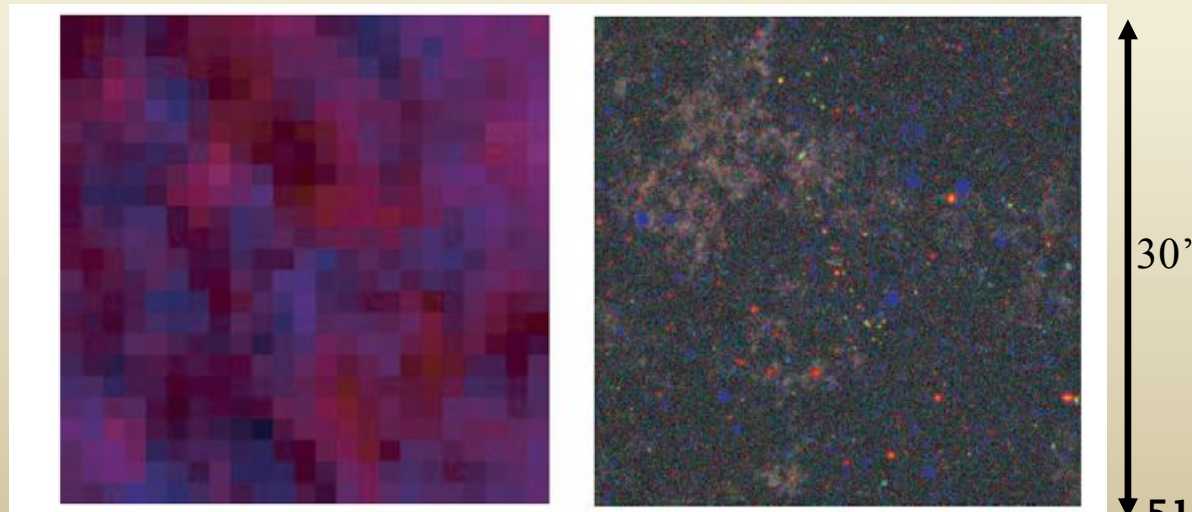


- Mayo 2009 **Herschel**, 3.5m
60-670 μ m



- Diciembre 2009 **WISE**, 40cm NASA 3.3, 4.7, 12 y 23 μ m All sky. 4'' FWHM
1024x1024 Si:As. Sensibilidad 1000x IRAS.
astro-ph/0508246

- 2015-2020 **SPICA**, 6-10m
20 - 1000 μ m





Herschel

HERSCHEL

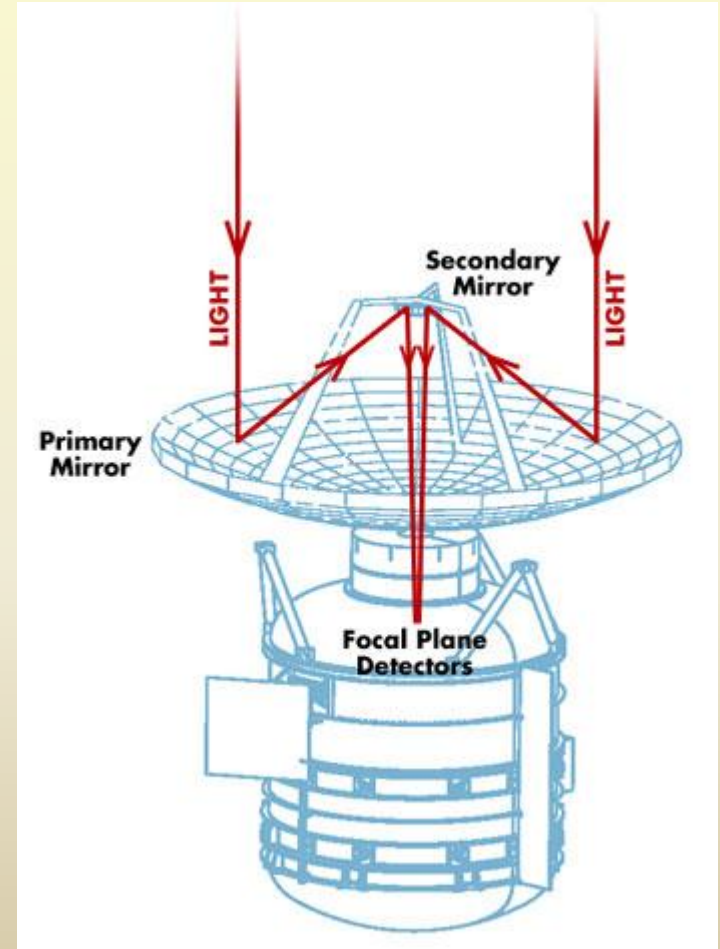


Observatorio espacial ESA en el IR lejano - Submm

Lanzamiento 14 de mayo de 2009

Telescopio 3.5m, berilio; L2 Tierra-Sol

Rango 60 – 670 μm





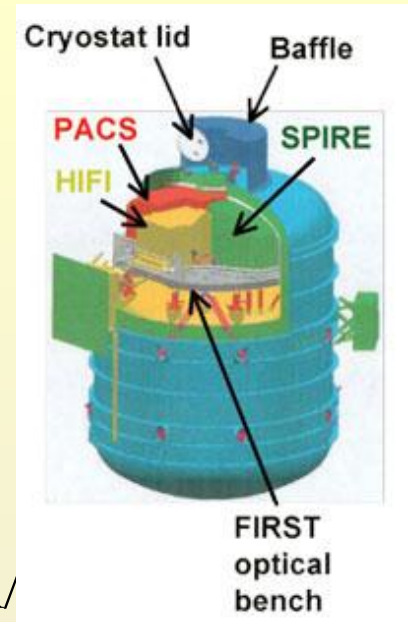
Herschel. Instrumentos

2,000 litros He superfluido, -271°C

HIFI Heterodyne Instrument for Far-IR
Espectrómetro de muy alta resolución (50 m/

PACS Photodetector Array Camera and Spectrometer
Cámara 60 – 210 μm , imagen simultánea en dos bandas
1.7 x 3.5 arcmin
Espectrómetro de resolución media (150 km/s)

SPIRE Spectral and Photometric Imaging Receiver (~50 detectores)
Cámara 4x8 arcmin, simultáneo en 250, 360, 520 μm





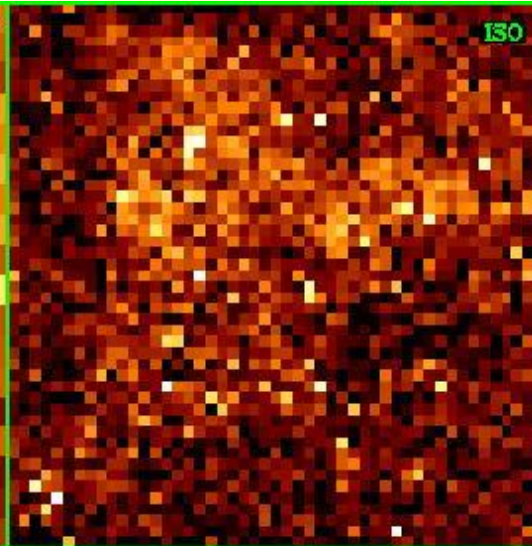
Confusión en el FIR

IRAS



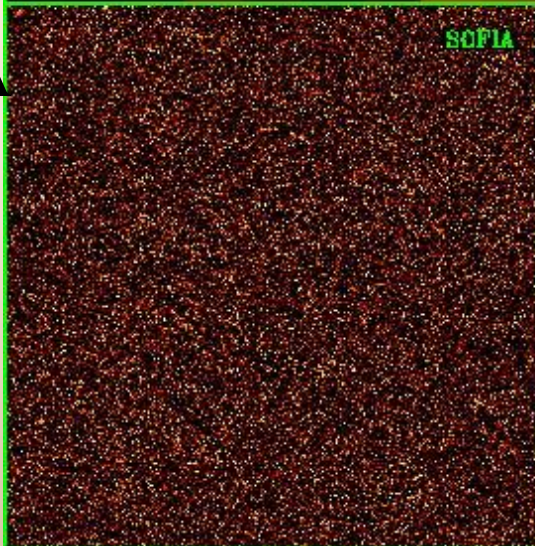
IRAS

ISO



ISO

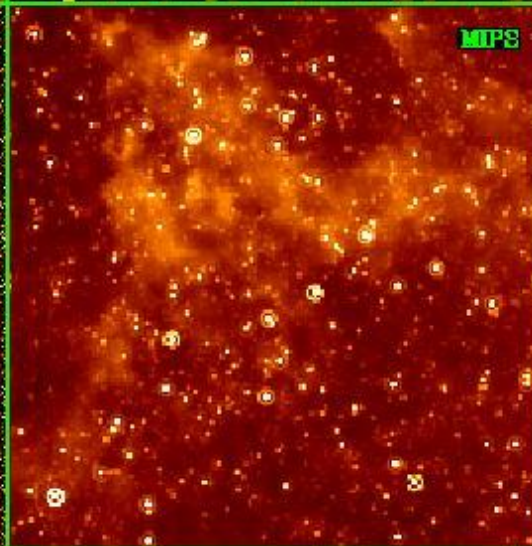
SOFIA



SOFIA

Spitzer

Resolución
30", 100 μm

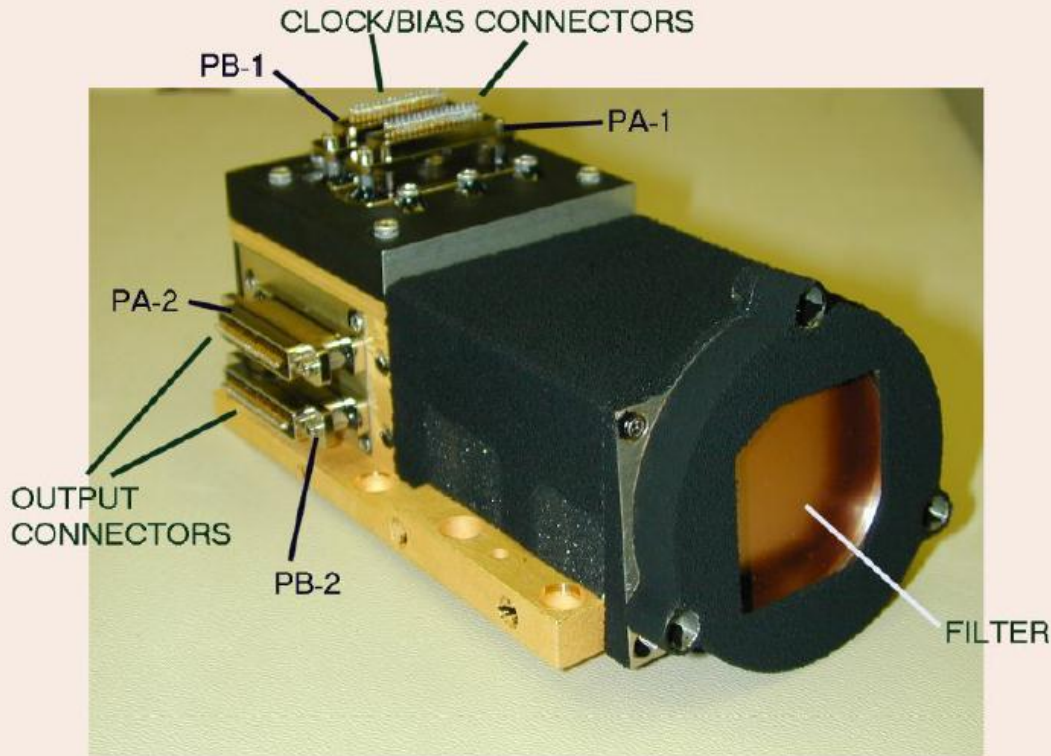


MIPS

$$\theta_{\text{arcsec}} = 0.25 \frac{\lambda(\mu\text{m})}{a(\text{m})}$$



Detectores FIR



Detectores con semiconductores: Miden fotones

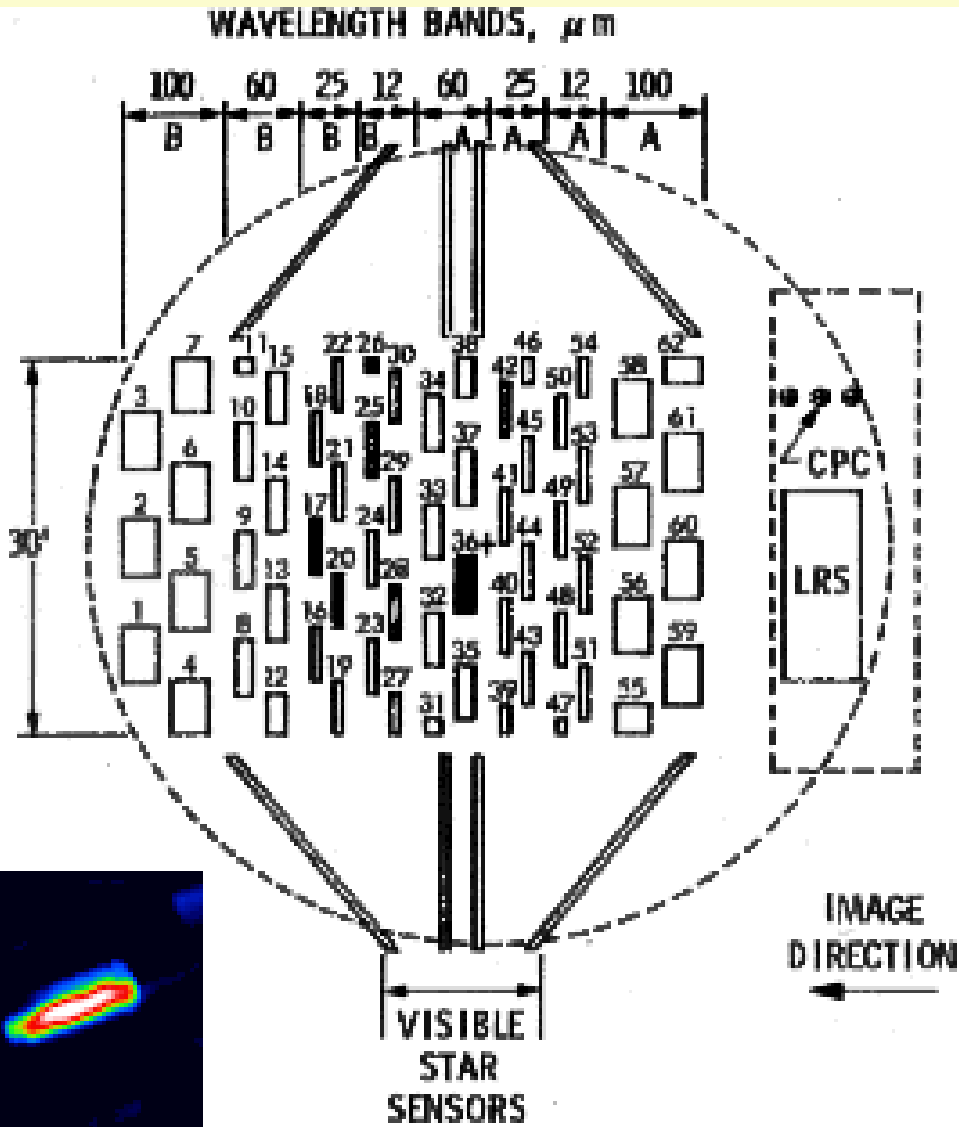
- Mosaico de 32x32 de Ge:Ga para SIRTf
- Ge 128x128 $\lambda < 130\mu$
- GaAs $\lambda > 150\mu$
- 1024x1024 Si:As WISE MIR

Detectores térmicos:

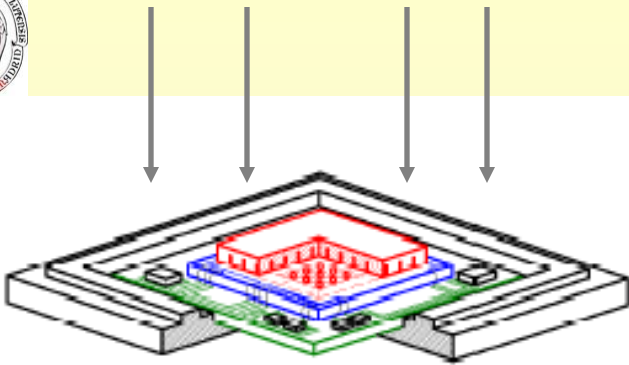
Miden calor en lugar de fotones (bolómetros en sub-mm)



Detectores semiconductores



- 63 fotoconductores de Ge:Ga para IRAS
- Mosaico 3x3 Ge:Ga ISO
- Mosaico de 5x5, KAO



Placa transparente de contacto
Pieza monolítica
Interconexión de In
Chip de lectura criogénica
Placa de cerámica de soporte

Construcción manual
Pre-óptica colectora
Preamplificadores individuales
Electrónica compleja
Problemas con los ciclos térmicos
No linealidad
Sensibilidad a radiación ionizante

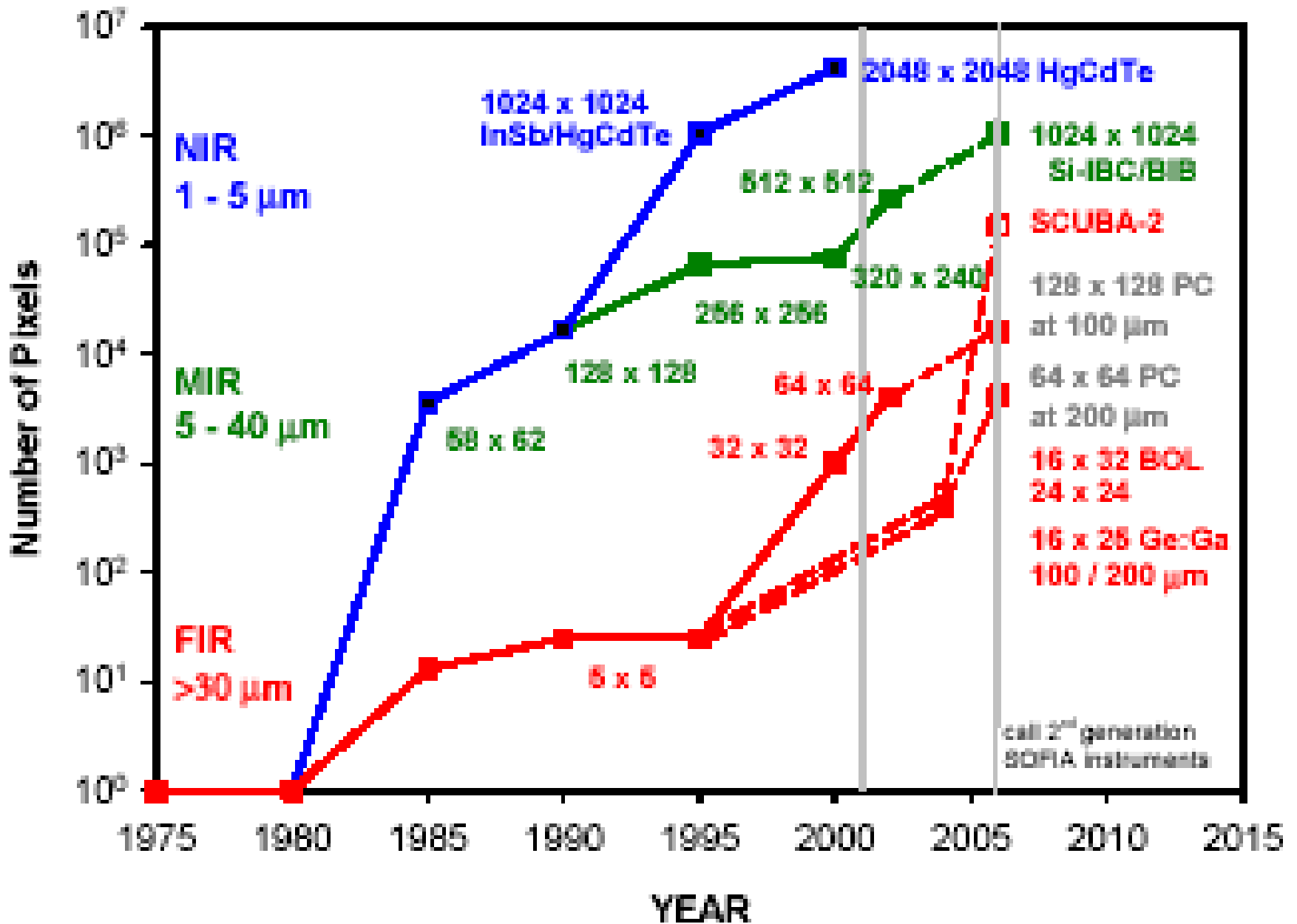
$T < 3 \text{ K}$

Tamaños $8 \times 8 \text{ mm}^2$

2 mm grosor

QE $\sim 7\%$

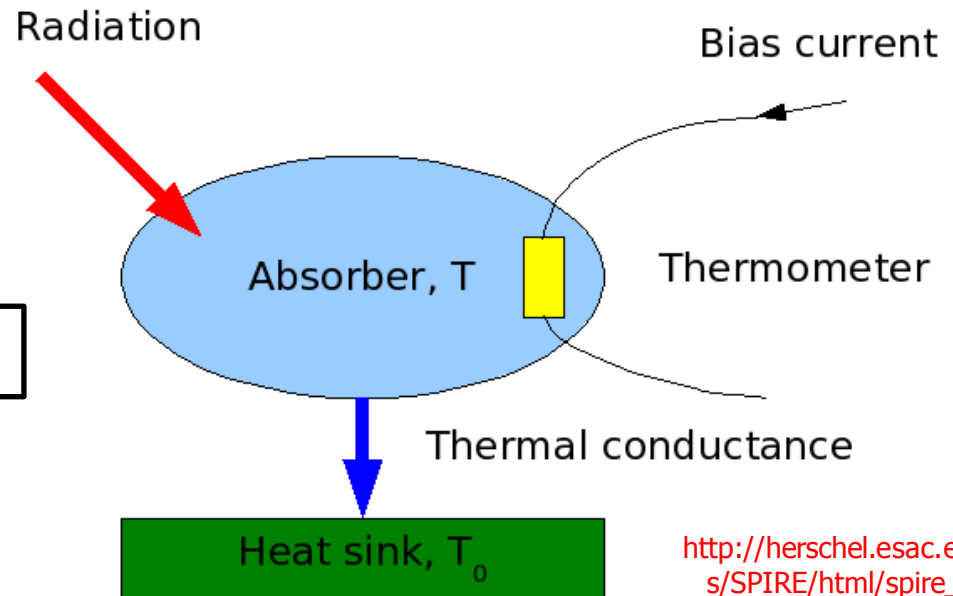
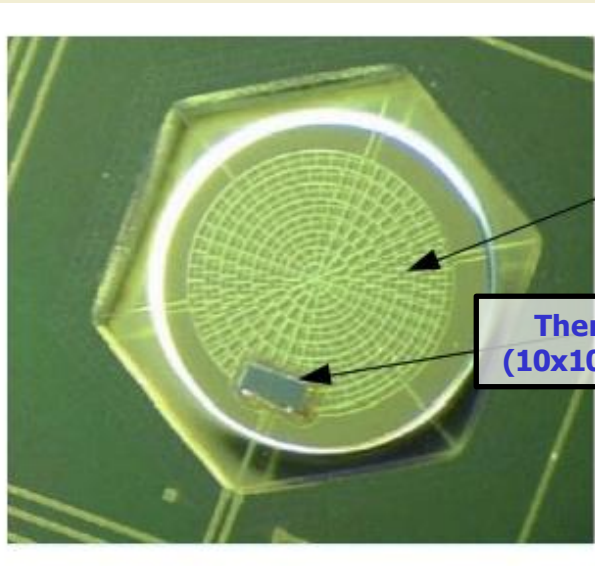
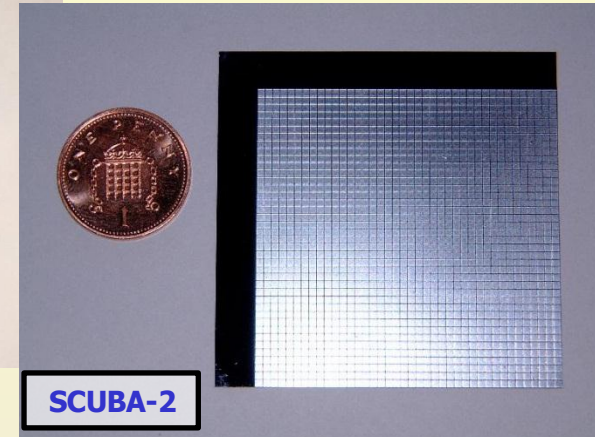
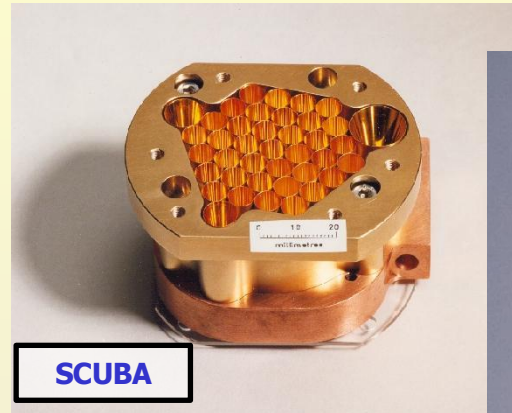
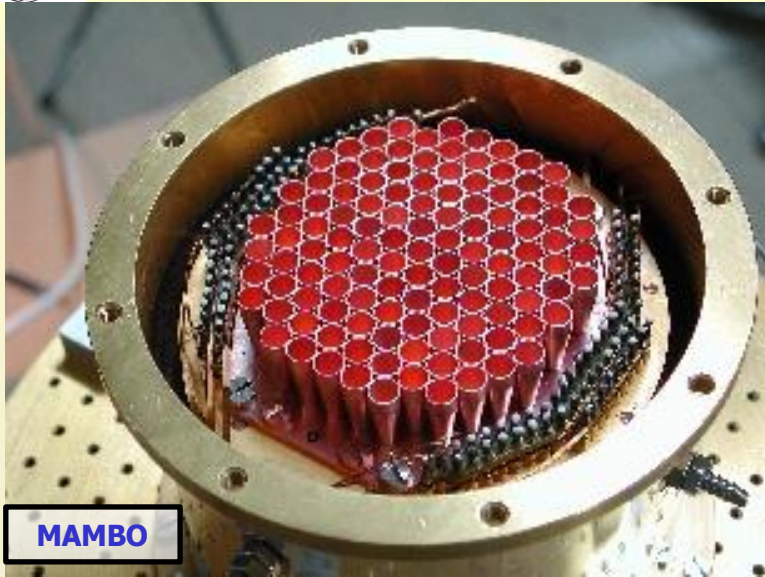
Ge:Ga





Bolómetros

<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/div/bolometer/>

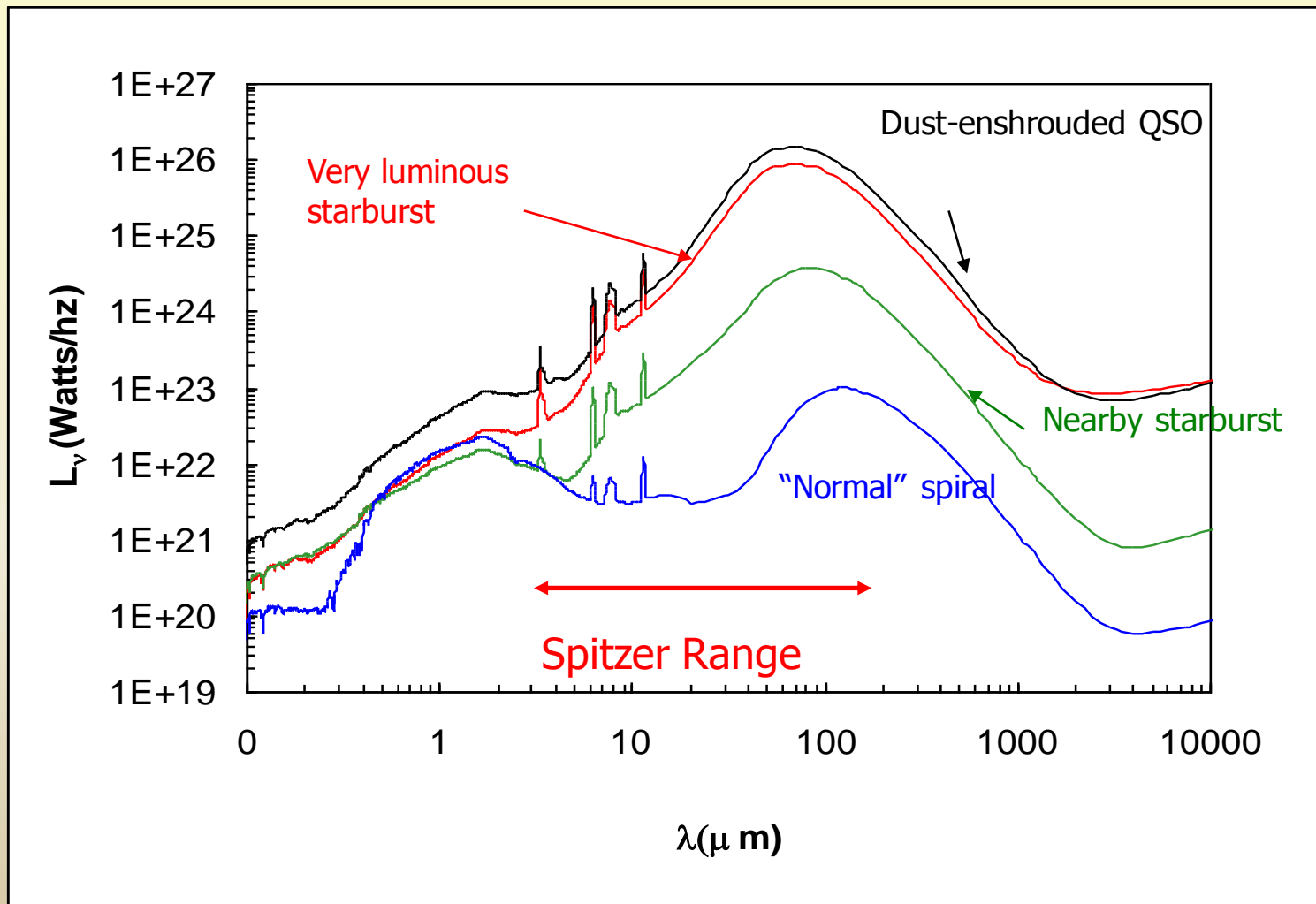


http://herschel.esac.esa.int/Documents/SPIRE/html/spire_om.html



Importancia del IR lejano en galaxias

Emisión del polvo





Importancia del IR lejano en galaxias

Bandas PAH

Bandas de emisión en 3.3, 6.2, 7.7, 8.6 μ m

Modos vibracionales de uniones C-C y C-H

Hydrocarburos policíclicos aromáticos

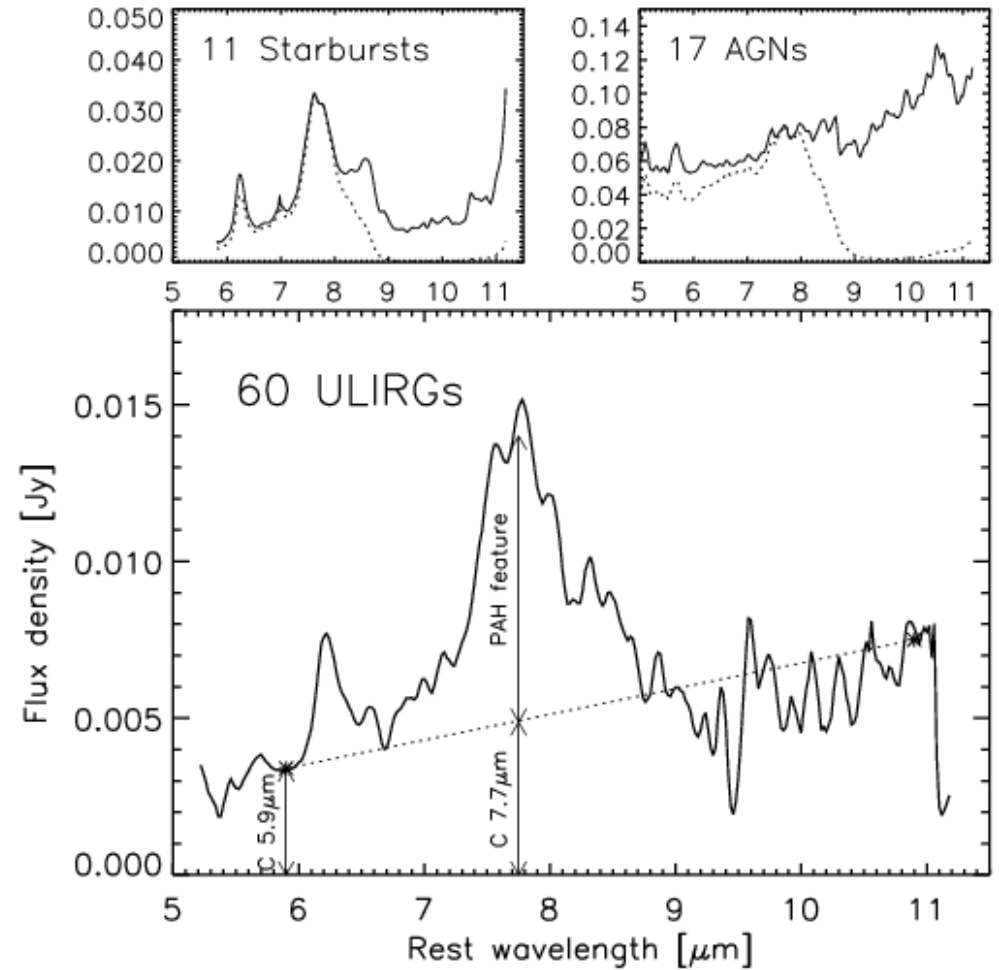
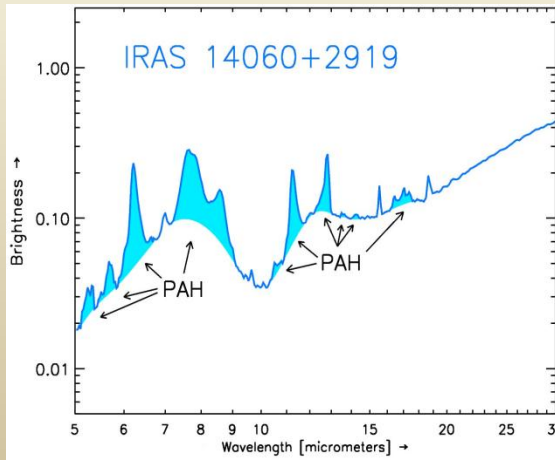
Moléculas hexagonales C₂₄H₁₂

Regiones frontera *'s calientes – nubes mol.

PNs, regiones HII, galaxias

Banda de 7.7 μ m, trazador de SFR

(fuerte dependencia de la metalicidad)

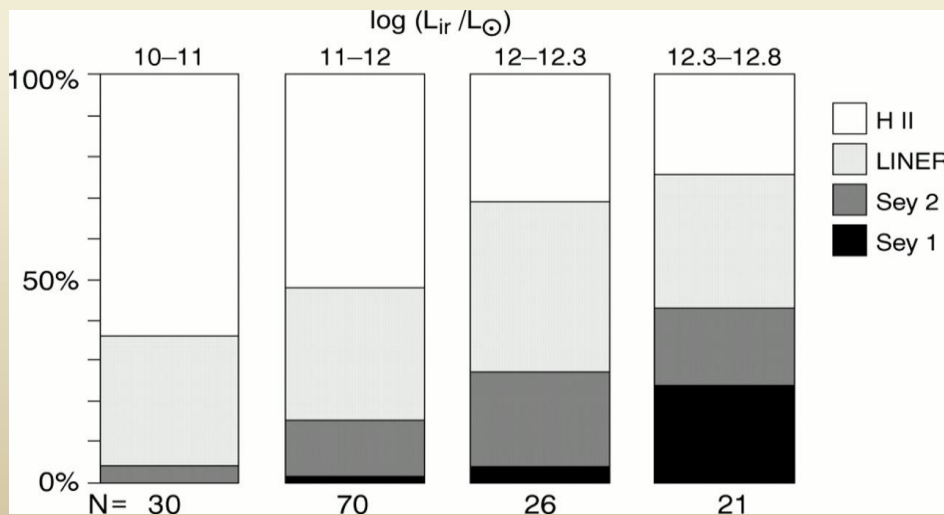
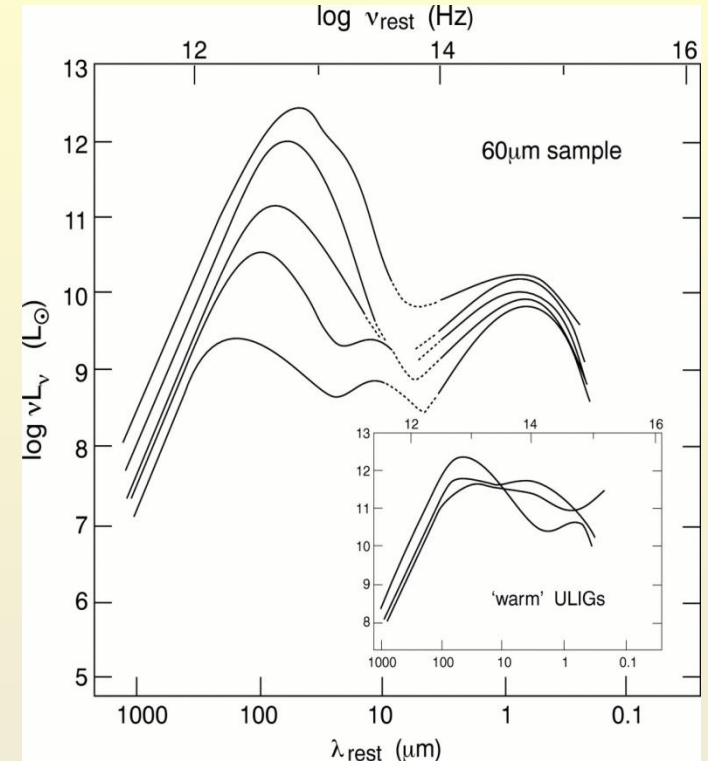
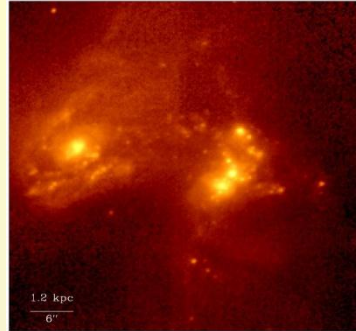




Importancia del IR lejano en galaxias

ULIRGs

- Galaxias UltraLuminosas en el IR
- Componentes de la reemisión:
 - Gal. normales: *'s calientes + cirrus
 - Gal. L(IR): componente "starburst"
 - IR + Sy: componente AGN
- Alto porcentaje de sistemas en interacción
- La fracción AGN crece con la L en el IR





Resumen de contenidos

- **Bandas de observación en el IR: NIR, MIR, FIR, sub-mm.**
- **Detectores en el IR. Funcionamiento y características.**
- **Técnicas de observación en el IR.**
- **Instrumentos y misiones en el IR.**