Radioespectroscopía molecular extragaláctica en el futuro próximo

Pere Planesas
Observatorio Astronómico Nacional

26-27 de enero de 2006
4° workshop *Estallidos de formación estelar en galaxias*

Hitos de la radioespectroscopía molecular extragaláctica

1975: Rickard et al detectan CO.

1977: Rickard et al cartografían CO.

>1977: Se detectan otras moléculas.

Hacia 1980:

detectadas unas 30 galaxias en CO,
cartografiadas en CO 8 galaxias,
detectadas otras 6 moléculas adicionales.

Galaxies with several species reported

	OH	H_2CO	CO	H_2O	HCN	HCO^+	NH_3
NGC224 = M31	—	22	6[a], 15	—	—	—	—
NGC253	1	3	5	17	13	—	25
NGC1068 = M77	—	—	12	—	—	—	—
NGC3034 = M82	1	21	5	4[b]	13	24	—
NGC4945	2	3	—	23	—	—	—
NCG5128	11	9	—	—	—	—	—
IC342	—	—	19	20	—	—	25
LMC	10	8	7	—	—	—	—

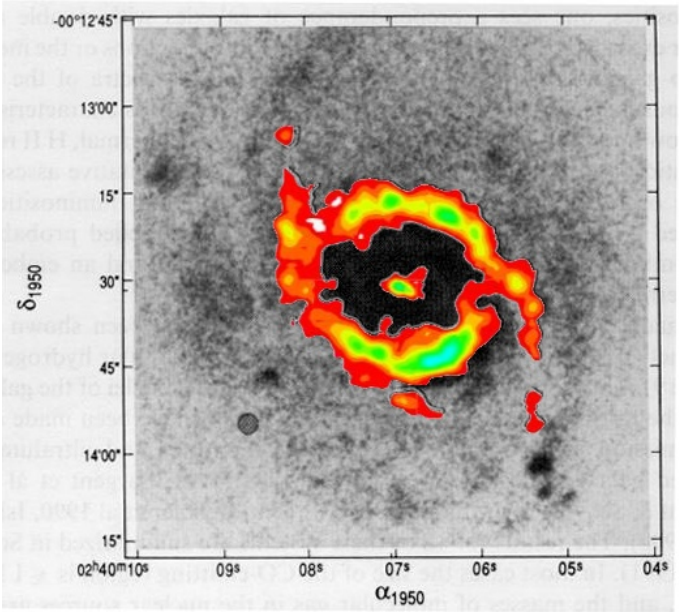
Hacia 1990:

> 30 surveys específicos o globales.

CO detectado en > 400 galaxias, hasta $z = 0{,}16$.

Distribución radial o mapa de unas 120 galaxias (resolución $20'' - 60''$).

Unos 10 mapas de alta resolución ($3'' - 7''$).



NGC1068 (P. Planesas et al 1990)

Hacia 2000:

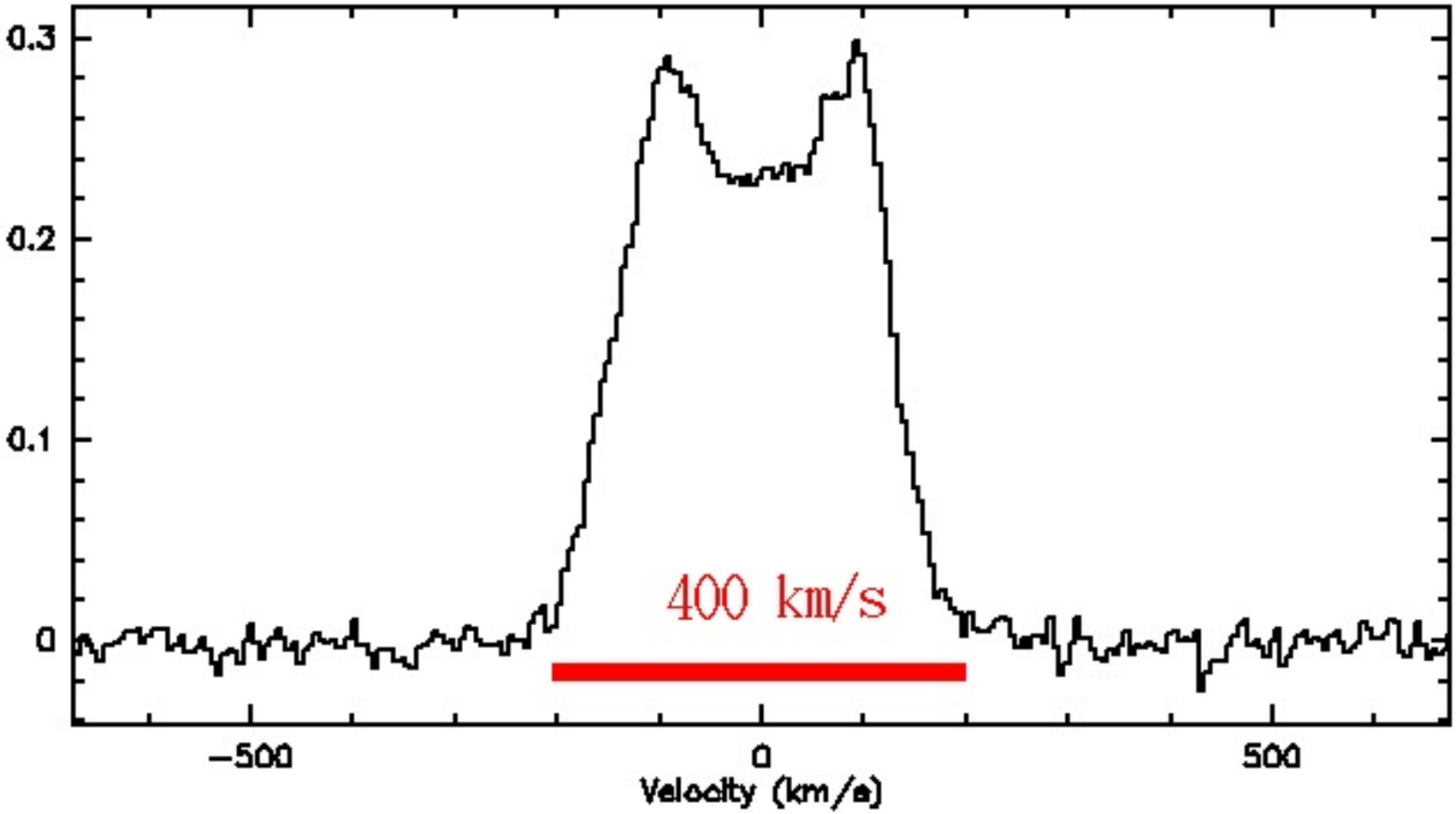
Cartografías detalladas de galaxias cercanas, con alta resolución.

Surveys de objetos lejanos (eg. ULIRGs, radiogalaxias).

Detecciones a alto redshift ($1 < z < 4{,}7$): 13 objetos.

Espectroscopía molecular en ondas de radio: Instrumentación

Típicamente provee una resolución de $\nu/\Delta\nu \sim 10^5 - 10^7$:



Detección de la molécula de CO en la galaxia Seyfert NGC 7469 con el radiotelescopio de 30 m de IRAM. La resolución en velocidades es de 5 km s^{-1} a la frecuencia de la transición CO $2 \rightarrow 1$ (230 GHz) que supone una resolución de: $\nu/\Delta\nu \simeq 10^5$.

Sensibilidad:

$$\sigma \propto \frac{T_{sys}}{A} \sqrt{\frac{\delta V}{t_{obs}}}\, e^{\tau}$$

Cualitativamente:

$$\sigma \propto \frac{\text{Receptor}}{\text{Antena}} \sqrt{\frac{\text{Espectrometro}}{t_{obs}}}\, \text{Atmosfera}(\nu)$$

Para una σ dada (detección fuente puntual):

$$t_{obs} \propto A^{-2} \propto D^{-4}$$

Requisitos a la instrumentación futura

Mayor sensibilidad: $\rightarrow$ mayor superficie colectora.

$\lambda 21$cm : Arecibo 73.000 m^2

$\lambda 13$mm : VLA 13.000 m^2

$\lambda 1{,}3$mm : IRAM@Bure 1.060 m^2





Mayor resolución angular:

$\lambda 21$ cm : VLA $1''4$

$\lambda 7$ mm : VLA $0''05$

$\lambda 1{,}3$ mm : $\sim 1''$

Panorama of large (>200m^2) mm and sub-mm instruments

Name	Area	λ_{min}	θ (“)
IRAM-30m	707	1mm	10
IRAM-PdB (6x15m)	1060	1mm	0.5
NRO-45m	1590	1.3mm	8
NRO (6x10m)	509	1.3mm	0.5
SMA (8x6m)	226	0.3mm	0.1
CARMA	791	1.3mm	0.5
GBT-100m	7854	2.6mm	7
LMT-50m	1963	1mm	6
ALMA (64x12m)	7238	3-0.3mm	0.1-0.01
EVLA (35x25m)	17200	6mm	0.004

Mayor frecuencia: *rango submm ($\lambda < 1$ mm, $\nu > 300$ GHz)*

ν400-1.000 GHz (λ750-300 μm): Pobremente explorado.

$\nu > 1$ THz (< 300 μm): Inexplorado.

Desde tierra: los interferómetros SMA y ALMA alcanzarán $\lambda = 350$ μm.

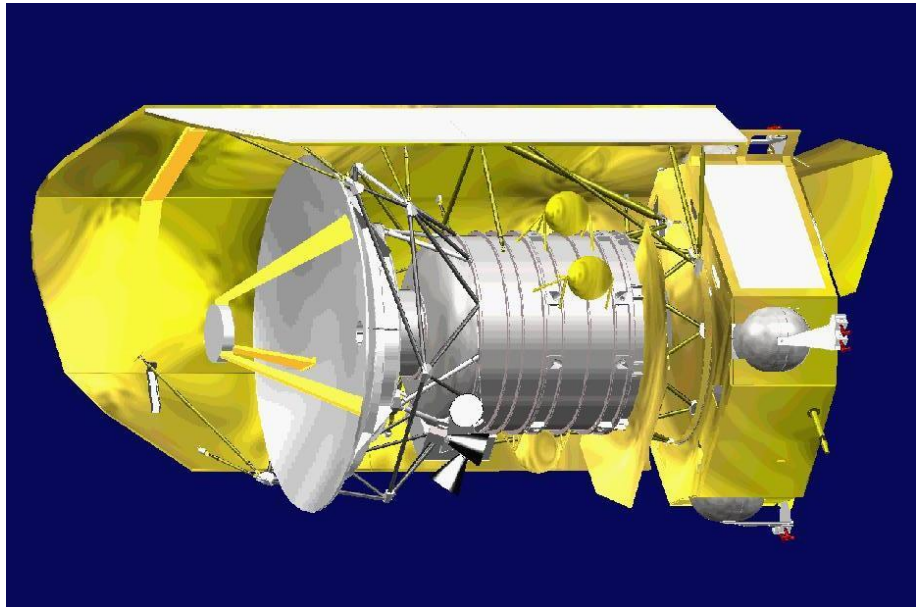
Desde el aire: SOFIA alcanzará $\lambda = 250$ μm (140 μm?).

Desde el espacio: HSO alcanzará $\lambda = 150$ μm con el instrumento HIFI.

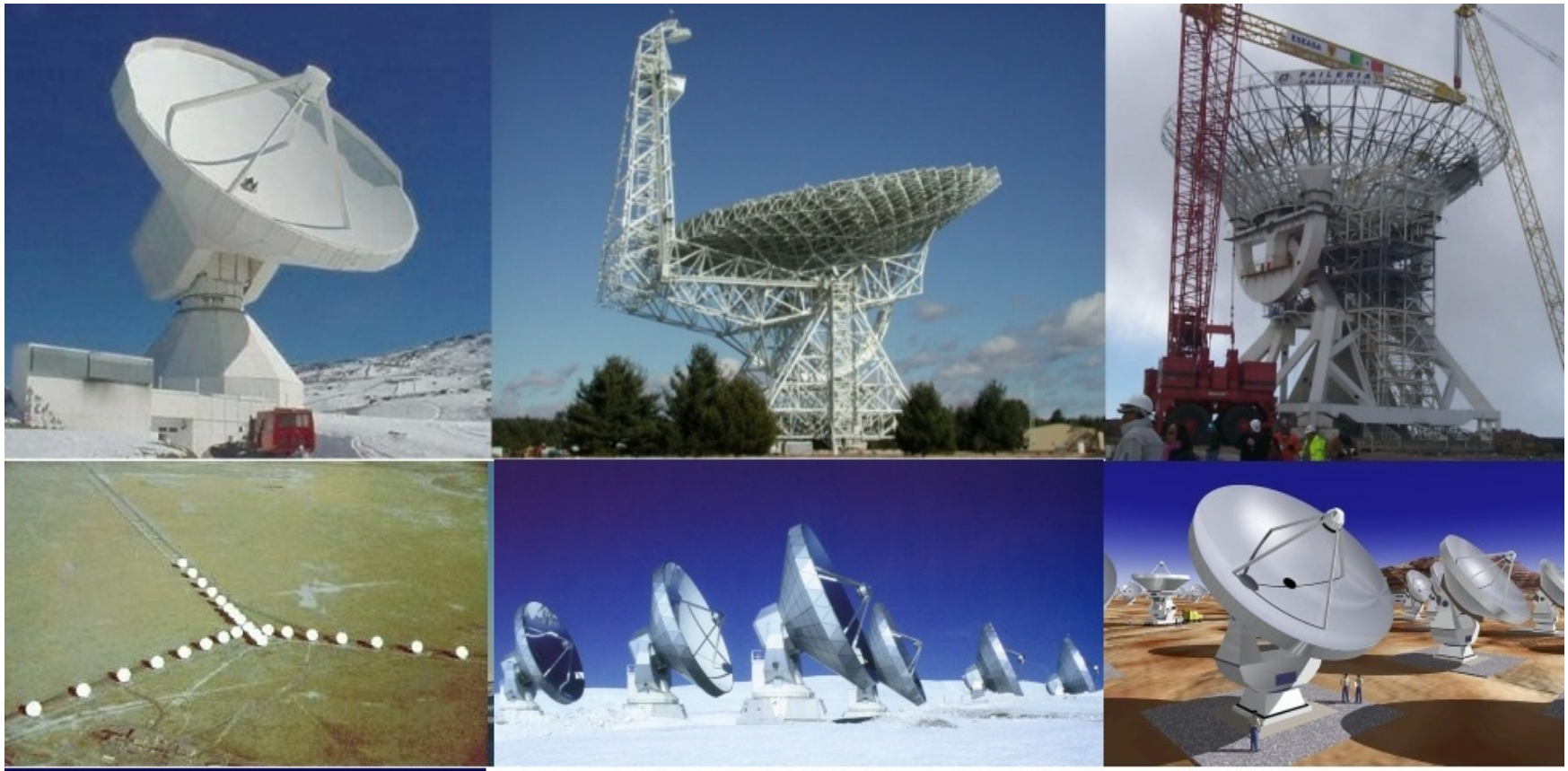
Sofia (2007): D_{eff}=2,5 m (A=5 m^2).



Herschel (2008): D=3,5 m (A=9 m^2).



Grandes radiotelescopios mm y submm accesibles libremente



IRAM 30m, NRAO GBT, LMT,
NRAO EVLA, IRAM Bure, ALMA,
Herschel-HIFI

Grandes radiolescopios mm y submm accesibles con limitaciones

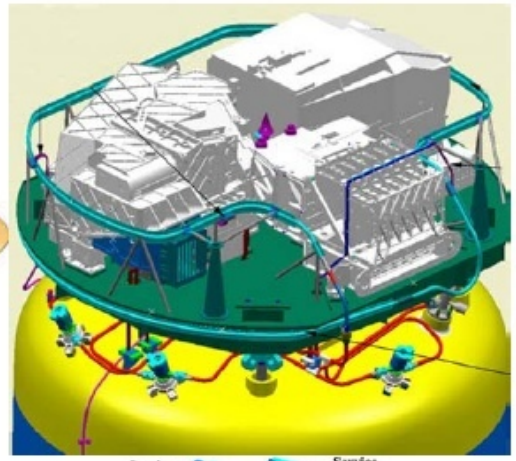


NRO 40m, NRO NMA, SOFIA, CARMA, SMA

HERSCHEL SPACE OBSERVATORY (HSO)

- telescope diameter 3.5 m
- telescope WFE < 6 µm
- telescope temp < 90 K
- telescope emissivity < 4%
- abs/rel pointg (68%) < 3.7” / 0.3”
- science instruments 3
- science data rate 130 kbps
- cryostat lifetime 4.0±0.4 years
- height / width ~ 7.5 / 4 m
- launch mass ~ 3200 kg
- power ~ 1500 W
- orbit ‘large’ Lissajous around L2
- solar aspect angle 60-120 deg
- launcher (w Planck) Ariane 5 ECA







HSO: instrumentos

HIFI Espectrómetro heterodino de muy alta resolución ($R \sim 10^6 - 10^7$), rango $\lambda 157 - 625\,\mu$m.

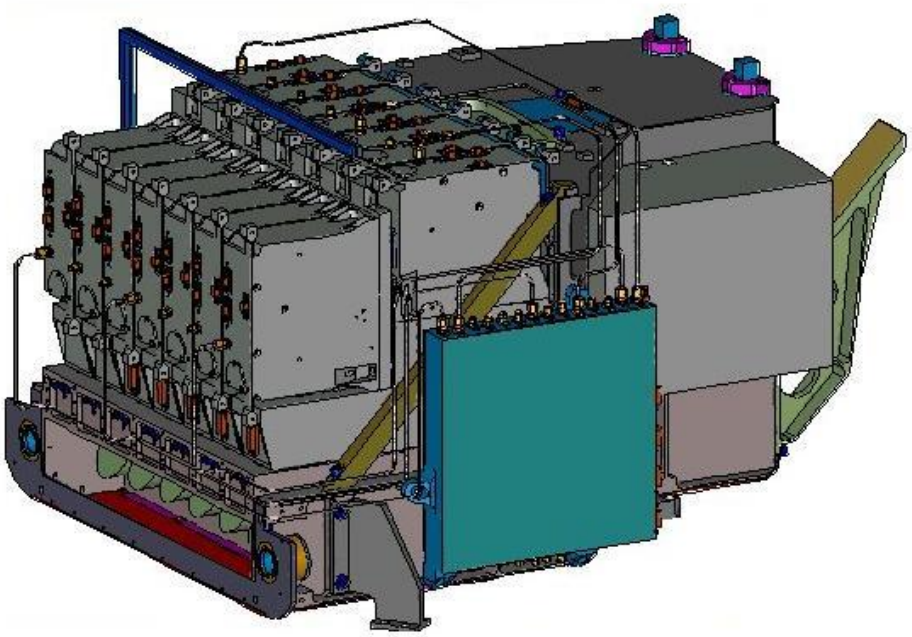
PACS Cámara (64×32) y espectrómetro (5×5) de resolución media ($R \sim 10^3$), rango $\lambda 57 - 210\,\mu$m.

SPIRE Fotómetro y espectrómetro de baja resolución ($R \sim 10 - 10^3$), rango $\lambda 200 - 670\,\mu$m.



HIFI, instrumento heterodino para el infrarrojo lejano

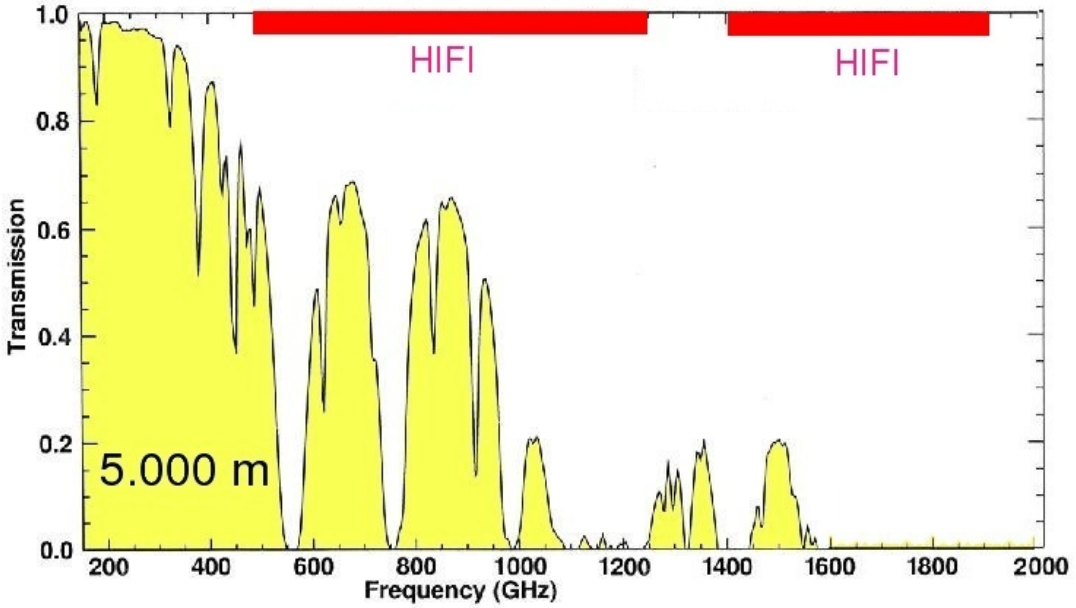
Rango de trabajo: $\nu 480 - 1250,\ 1410 - 1910$ GHz.
Banda instantánea: 4 GHz (2 polarizaciones).
Resolución: 0.14 a 1 MHz, 0.022–0.62 km s^{-1}.
Haz de la antena: $12 - 45''$.

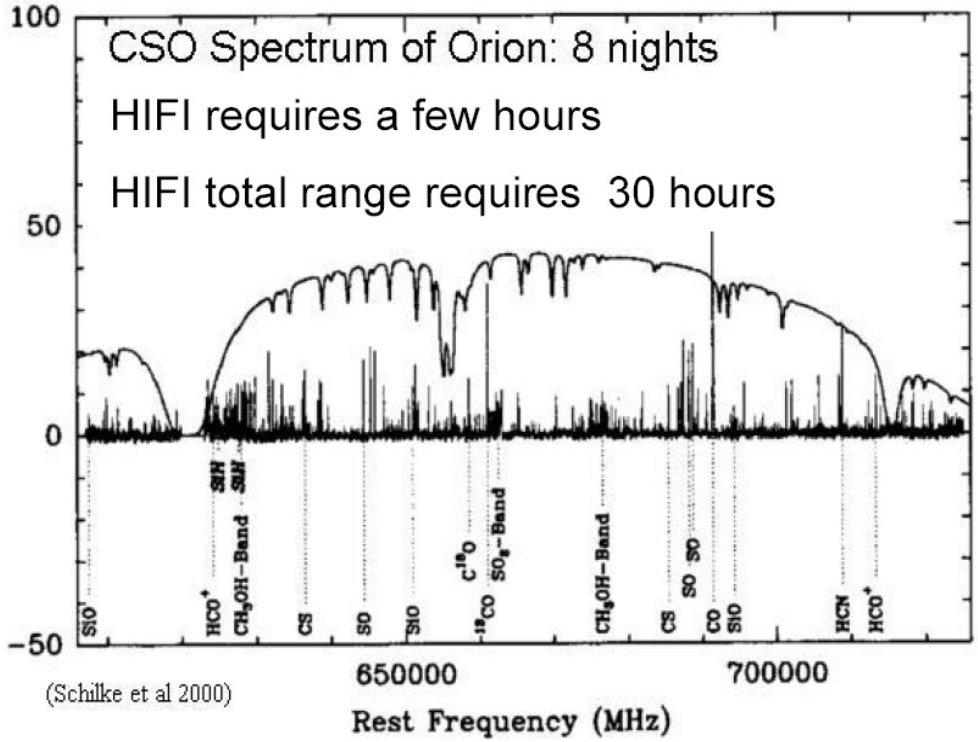




España colabora en la construcción de HIFI a través del Observatorio Astronómico Nacional.

HIFI: extragaláctico





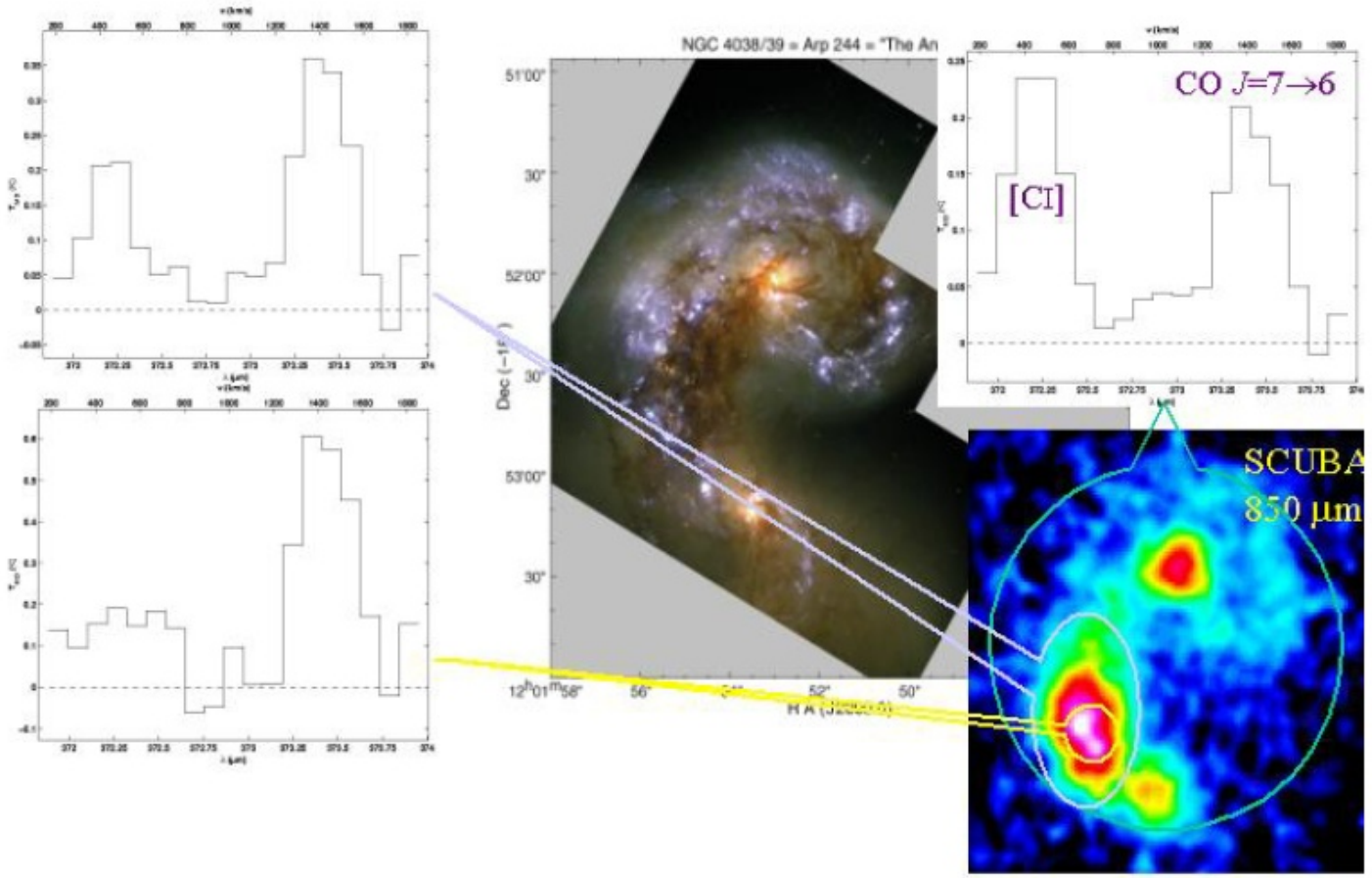
Galaxias cercanas.

Exploración de nuevos rangos de frecuencias con muy alta resolución espectral.

Información cinemática.

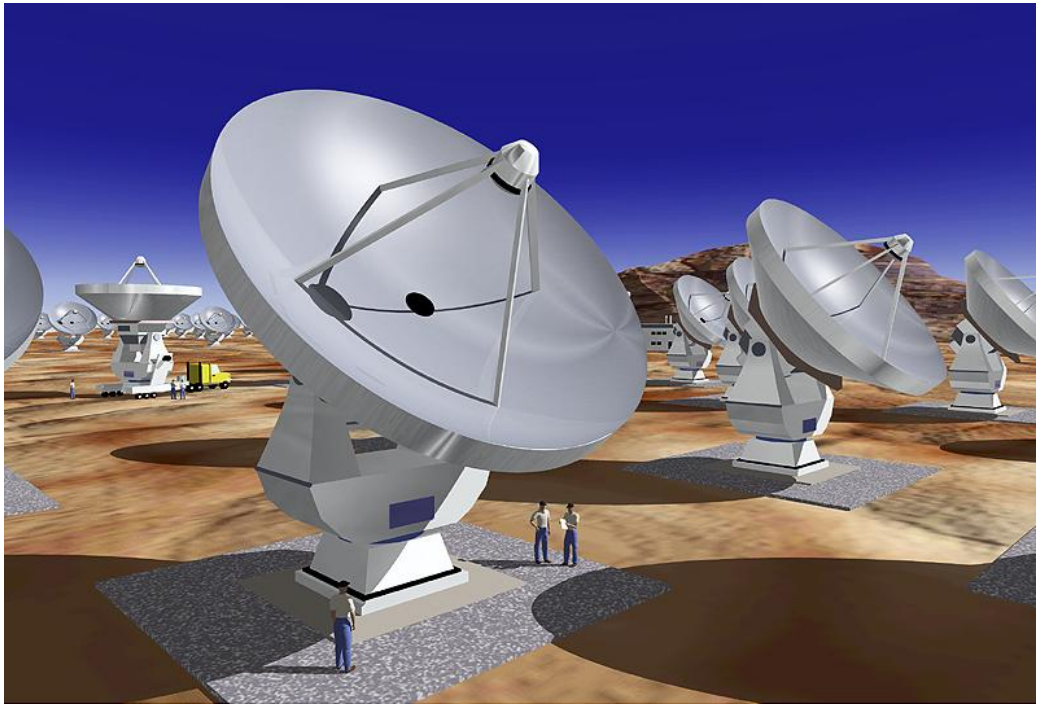
Trazadores de gas caliente (líneas de alta excitación, CO 5–4 hasta 13–12, CI, C^+) y de gas denso (HCN, HCO^+, H_2O).

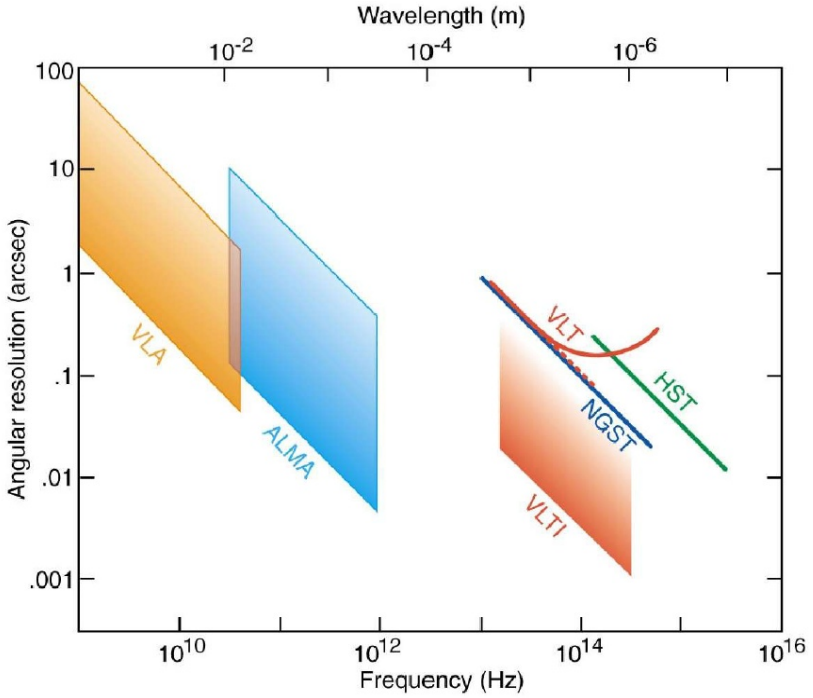
Condiciones físicas, cinemáticas y químicas del medio interestelar en núcleos galácticos. Estudios de excitación de galaxias starburst, en interacción, AGNs (incluyendo la muestra NUGA), ULIRGs. Complejidad química (surveys).



K. Isaak et al, in prep.

ALMA: extragaláctico





- 54-68 antenas de 12 m de diámetro, y 12 antenas de 7 m, $A \sim 7.000$ m^2.
- Líneas de base desde 15 m hasta 18 km.
- 10 rangos de observación, discontinuos desde 30 a 920 GHz

(inicialmente 84 - 119, 211 - 275, 275 - 370 y 602 - 720 GHz)

- Resolución angular $0''2\ \lambda_{mm}/L_{km}$

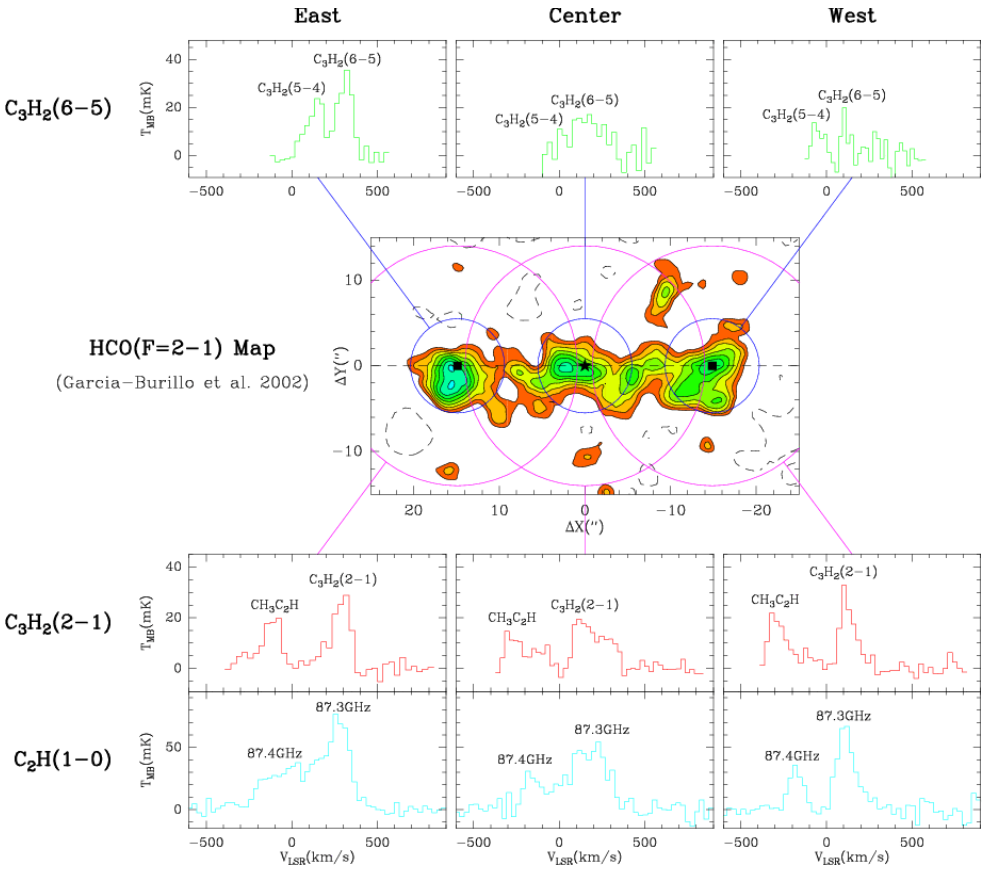
(eg. ν345 GHz y $L = 4$ km es $\theta = 0{,}04''$).

- Ancho de banda instantáneo: 16 GHz.

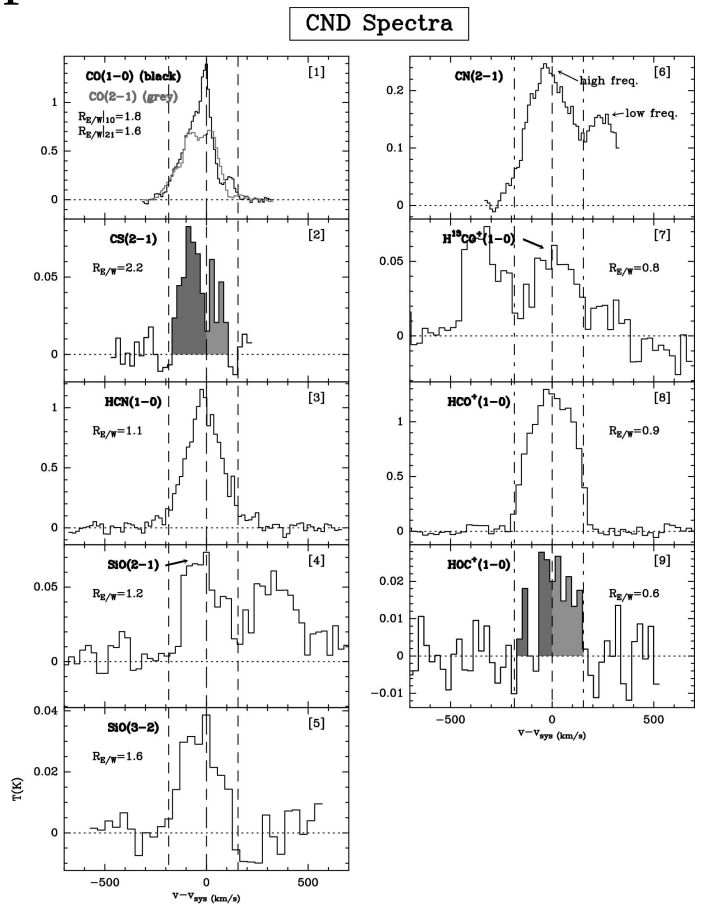
Tendencias actuales y futuro próximo

Galaxias cercanas

1. Condiciones físico-químicas mediante múltiples trazadores.



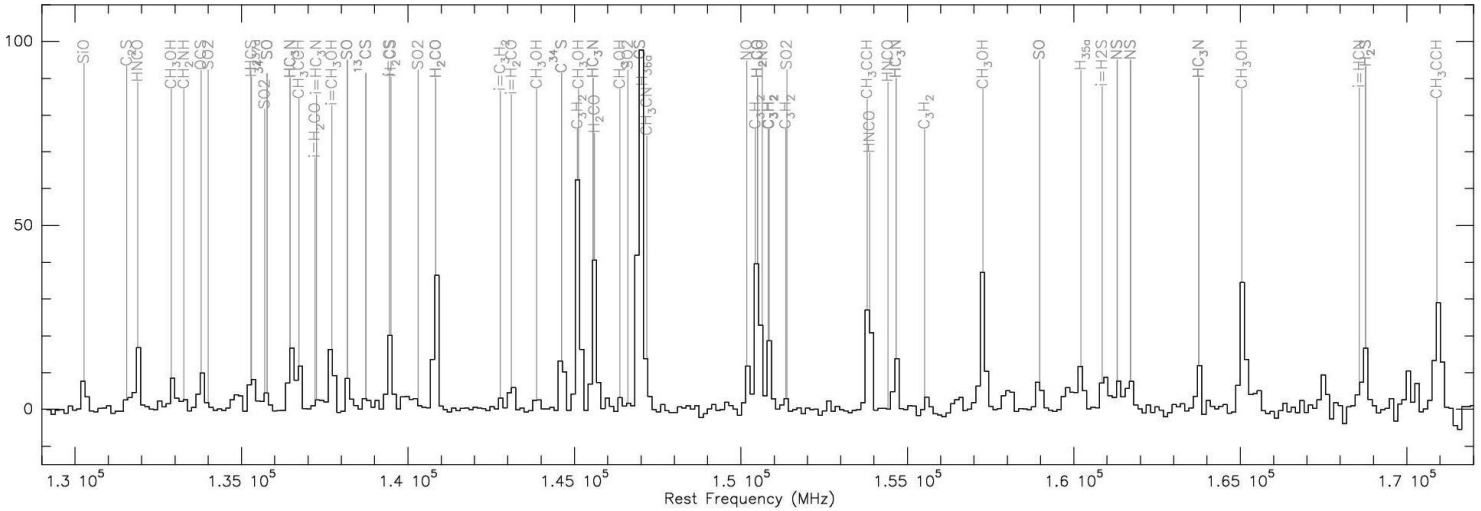
A. Fuente et al 2005



A. Usero et al 2004

ALMA: detección de mayor variedad de moléculas (surveys de líneas, química).

2. Surveys espectrales en galaxias seleccionadas.



S. Martín et al, en prep.

ALMA: surveys en otros rangos de frecuencia y en otros tipos de galaxia.

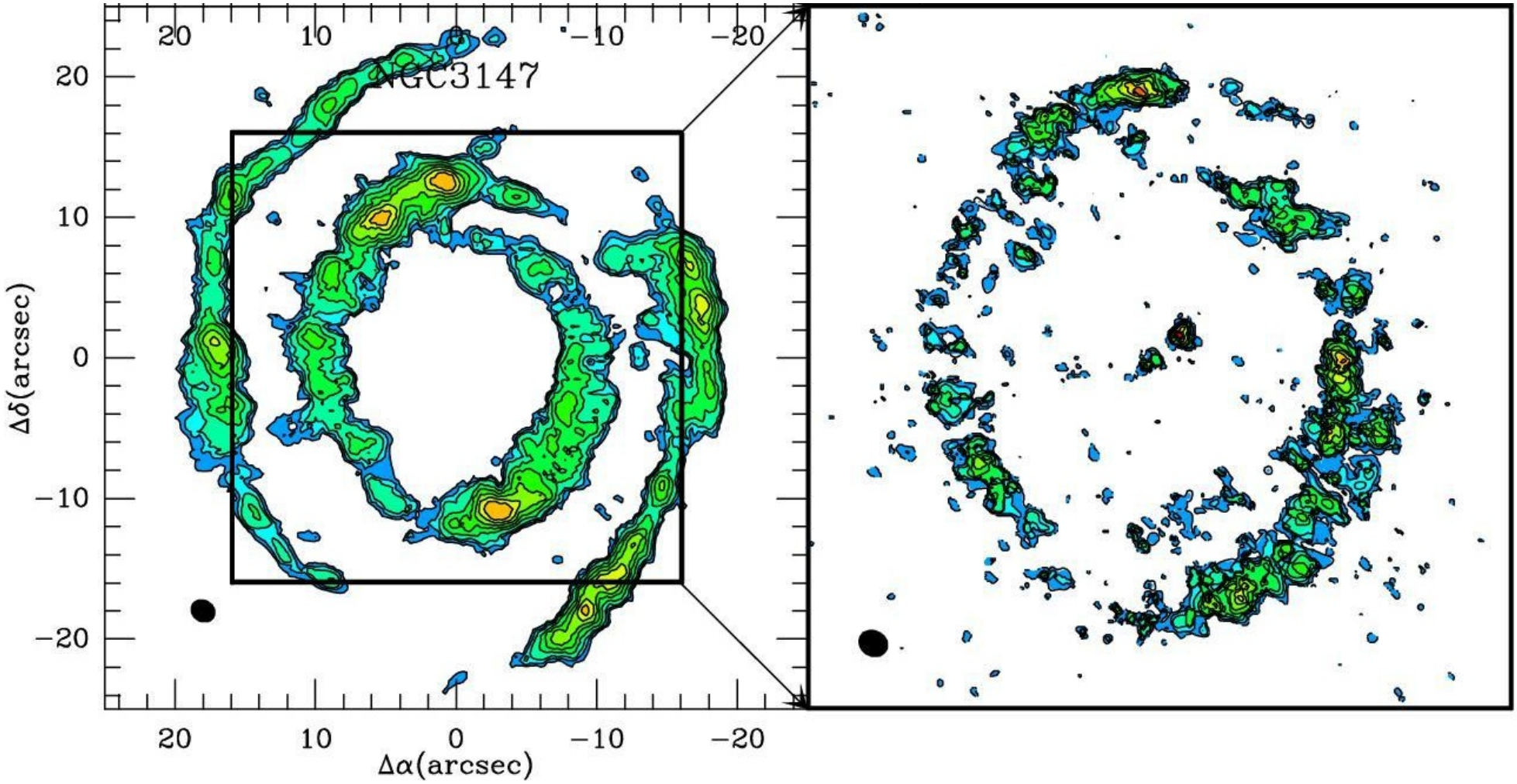
3. Cartografía de galaxias (en interacción).



C. Wilson et al 2000

ALMA: estudio de nubes moleculares gigantes individuales, espectro de masas de las nubes moleculares.

4. Estudios sistemáticos detallados (dinámica, etc) de muestras (eg. NUGA, $< 1''$).

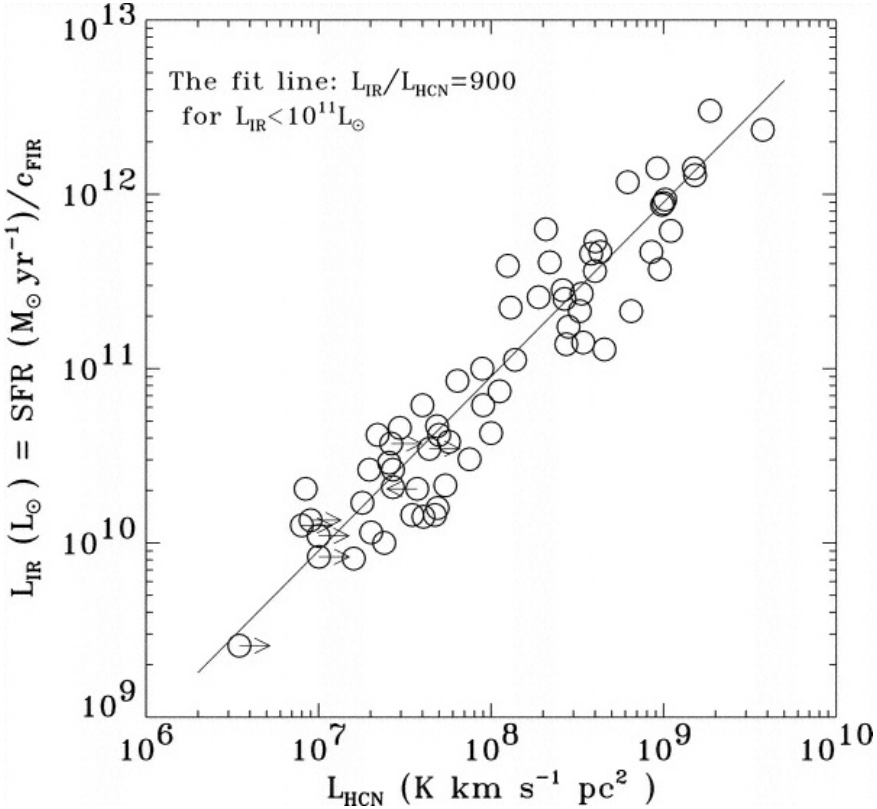


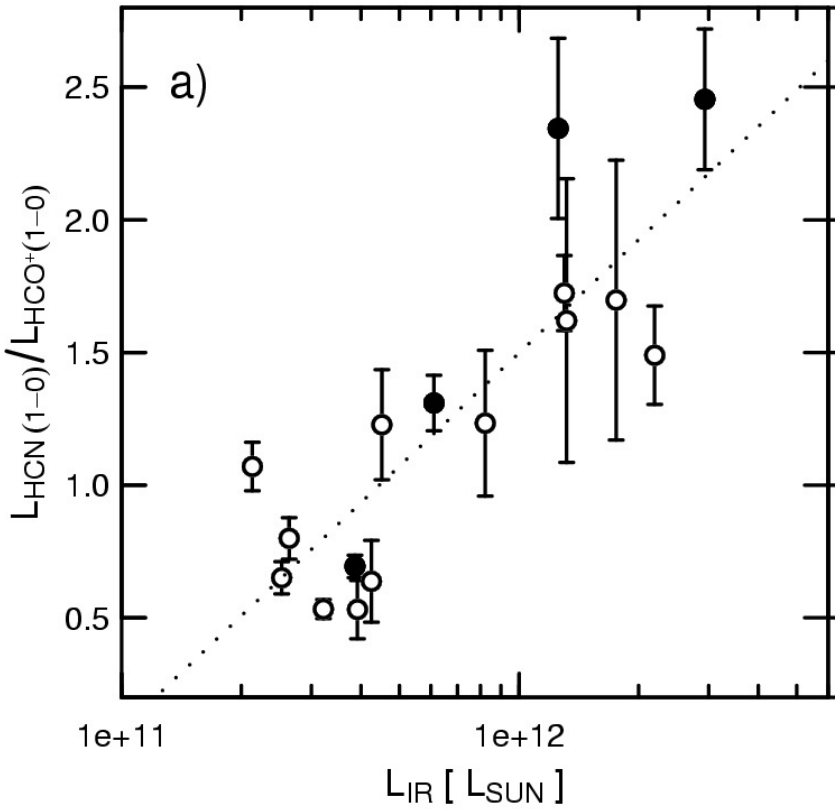
S. García-Burillo et al 2004

ALMA: cartografía y dinámica con resolución de parsecs.

5. Surveys de objetos poco luminosos (eg. elípticas, exterior de discos).
6. Surveys de otras moléculas (HCN, HCO^+)

(eg. Y. Gao et al 2004ab; J. Graciá-Carpio et al, en prep.):



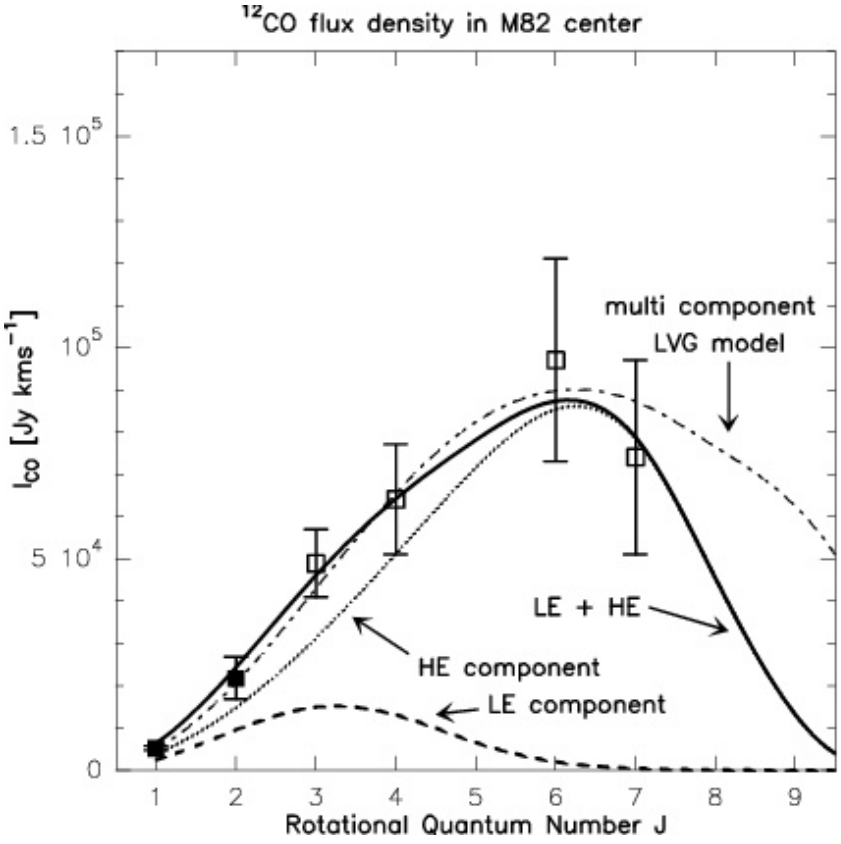


7. Detección del toro molecular nuclear en muy alta resolución ($< 1''$).

ALMA: estudio del gas molecular en los alrededores de AGN: toros, starbursts circumnucleares resueltos.

Galaxias a redshift medio y alto

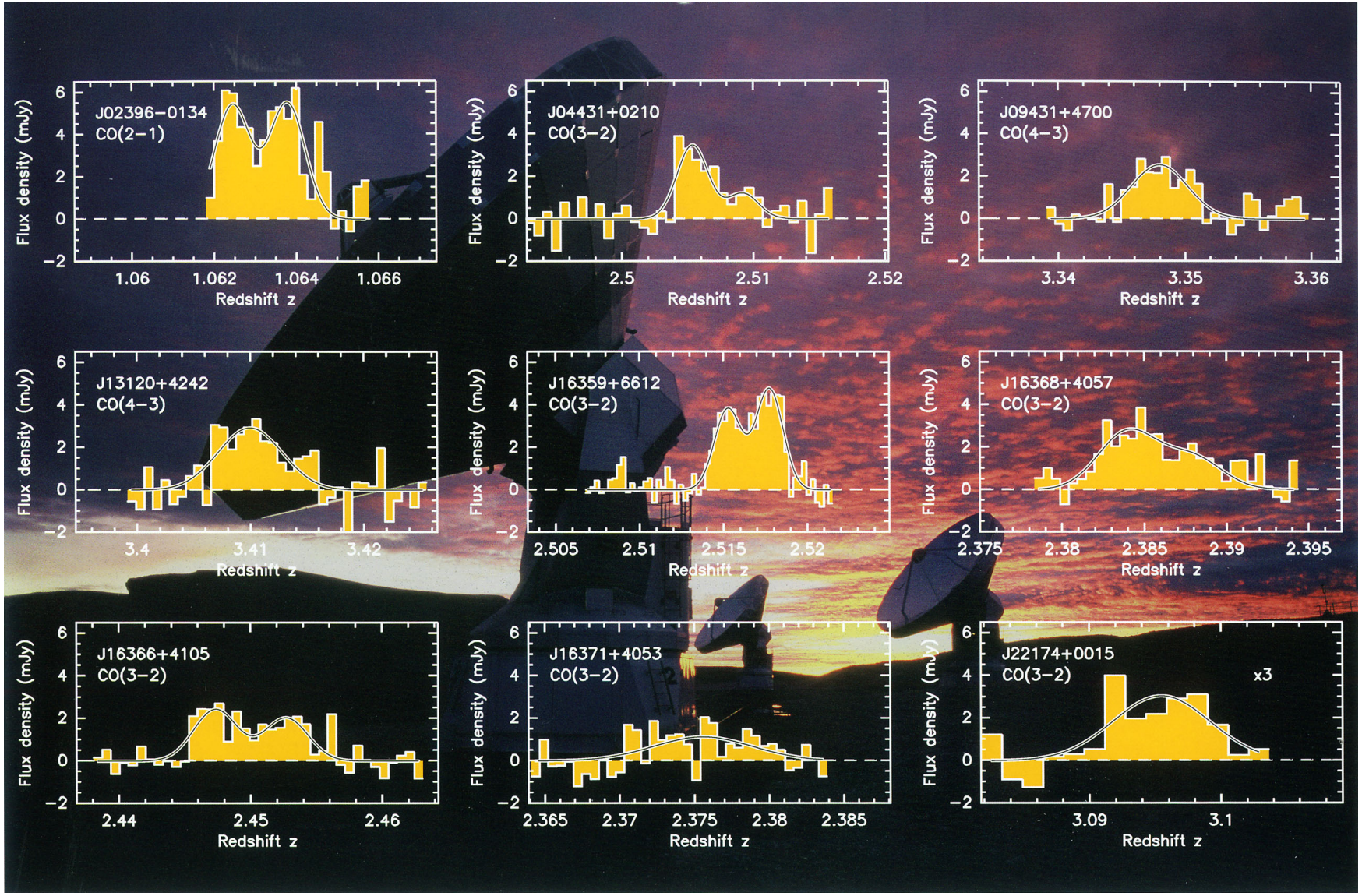
8. Escalas de múltiples transiciones de CO.



A. Weiss et al 2005

ALMA: Transiciones de CO detectables a cualquier z para objetos tipo ULIRG, se complementa con EVLA y GBT.

9. Surveys de CO a z intermedios ($z < 1$).
10. Búsqueda de objetos a alto redshift (galaxias submm) y HLIRGs.



ALMA: Galaxias a redshift intermedio y alto:

Contribución al conocimiento de la historia de la formación estelar:

evolución de las galaxias y de las poblaciones de galaxias,

distribución en redshift de objetos con elevadas tasas de formación estelar,

evolución química del gas molecular,

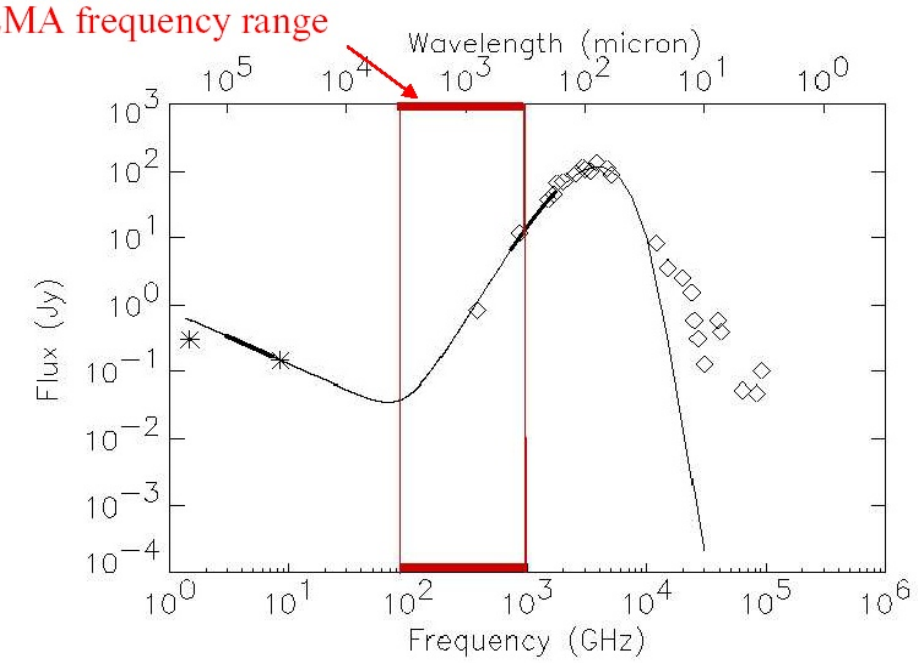
naturaleza de las galaxias submm,

aparición de los primeros metales en el medio interestelar.

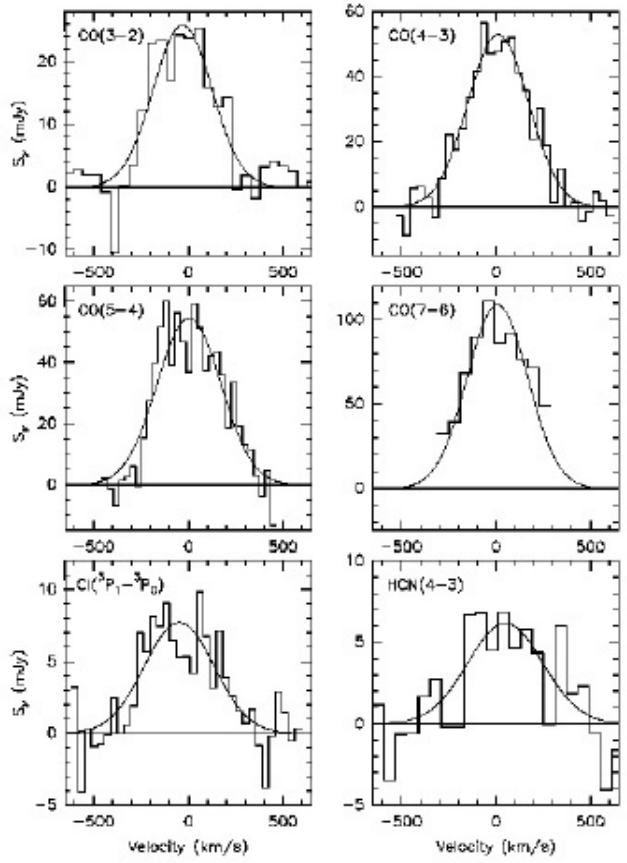
En todos los redshifts:

Contribución al conocimiento de las SEDs en el rango mm y submm.

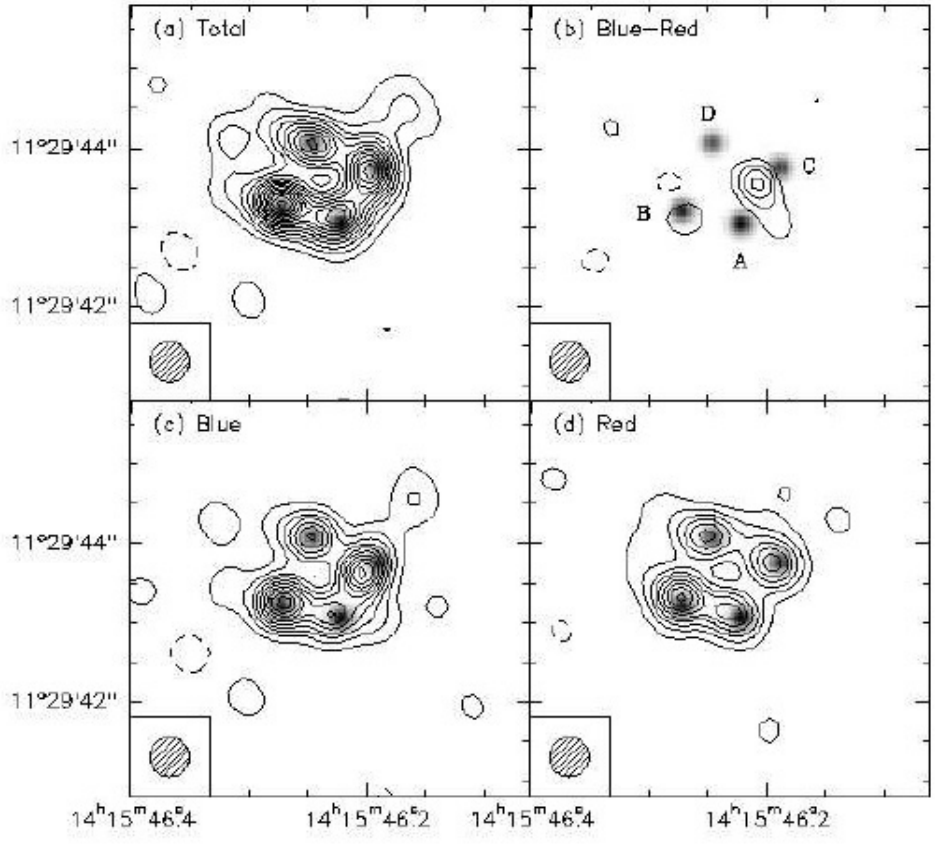
Arp 220 (A. Barger et al 2000)



11. Estudio de lentes gravitatorias.



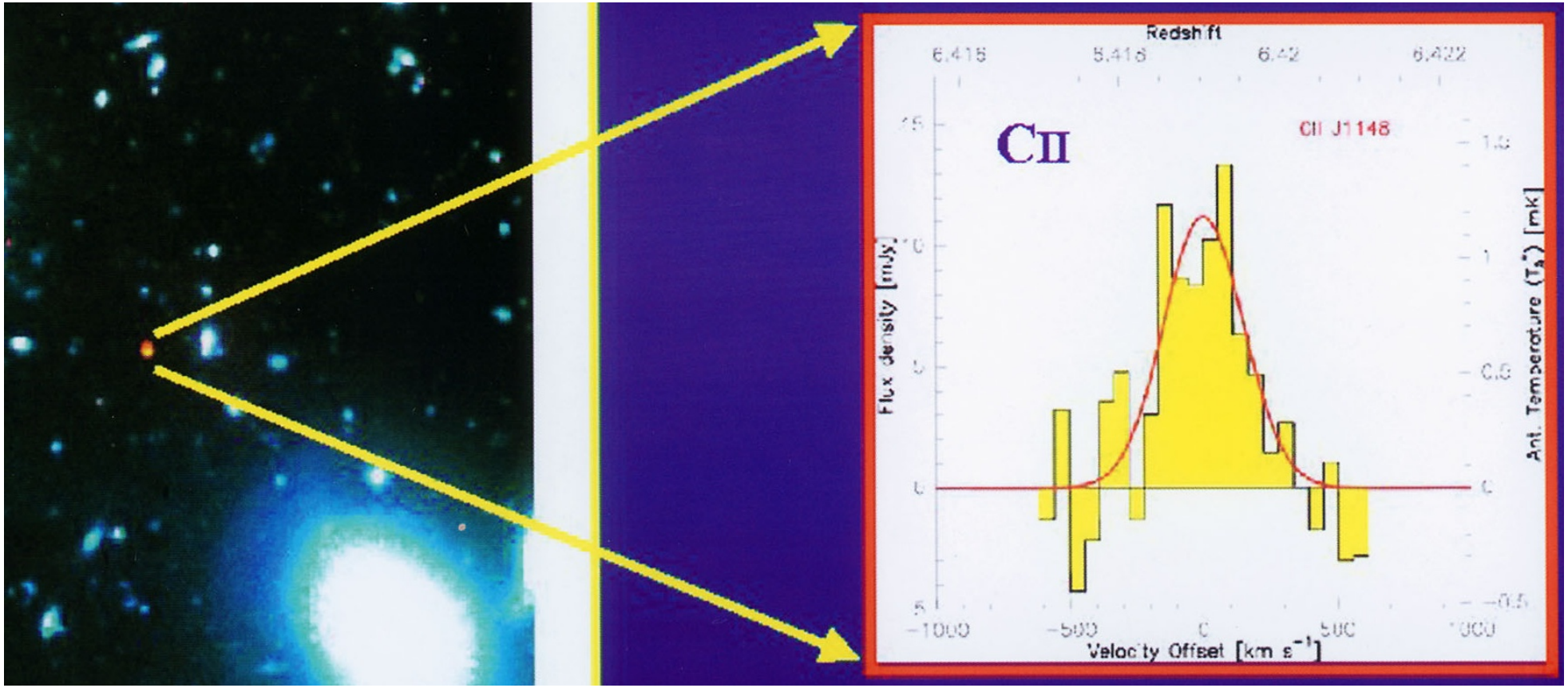
Barvainis et al. 1997



Kneib et al. 1998

ALMA: cartografiado de arcos en moléculas.

12. Detección de C^+ ($\lambda 158\,\mu$m) a $z = 6{,}4$ (R. Maiolino et al 2005).



ALMA: estudio y cartografiado de C^+ a $z > 1$.

Conclusiones

1. La espectroscopía molecular provee de sofisticadas herramientas de análisis del medio interestelar.
2. El traslado de estas herramientas al estudio de otras galaxias es un fenómeno emergente.
3. La exploración con HSO de rangos del espectro electromagnético inexplorados con técnicas de alta resolución espectral (instrumento HIFI) facilitará el estudio del gas molecular denso y caliente en galaxias.
4. La cartografía con ALMA permitirá estudiar galaxias con una resolución angular y una sensibilidad mejores en un orden de magnitud que los instrumentos actuales.
5. La comunidad española tiene y seguirá teniendo acceso a muchos de los mejores y mayores instrumentos en este campo.