



# ESTUDIO DE LA ACTIVIDAD NUCLEAR Y DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EN LA EVOLUCIÓN DE GALAXIAS

Fernando Rico Villas CAB (INTA-CSIC)

Directores :

Jesús Martín-Pintado - CAB (INTA-CSIC)

Eduardo González-Alfonso - UAH

Tutor UCM :

Pablo G. Pérez-González



### Objetivos

- Estudio del impacto de la formación estelar en las evolución de galaxias analizando el gas molecular denso en el núcleo de galaxias
- Establecer los procesos que conducen a:
  - Brotes intensos de formación estelar (SB)
  - Acrecimiento de material en el entorno del SMBH (AGN)
  - Calentamiento del gas
- Conocer el impacto del “feedback” (positivo o negativo)

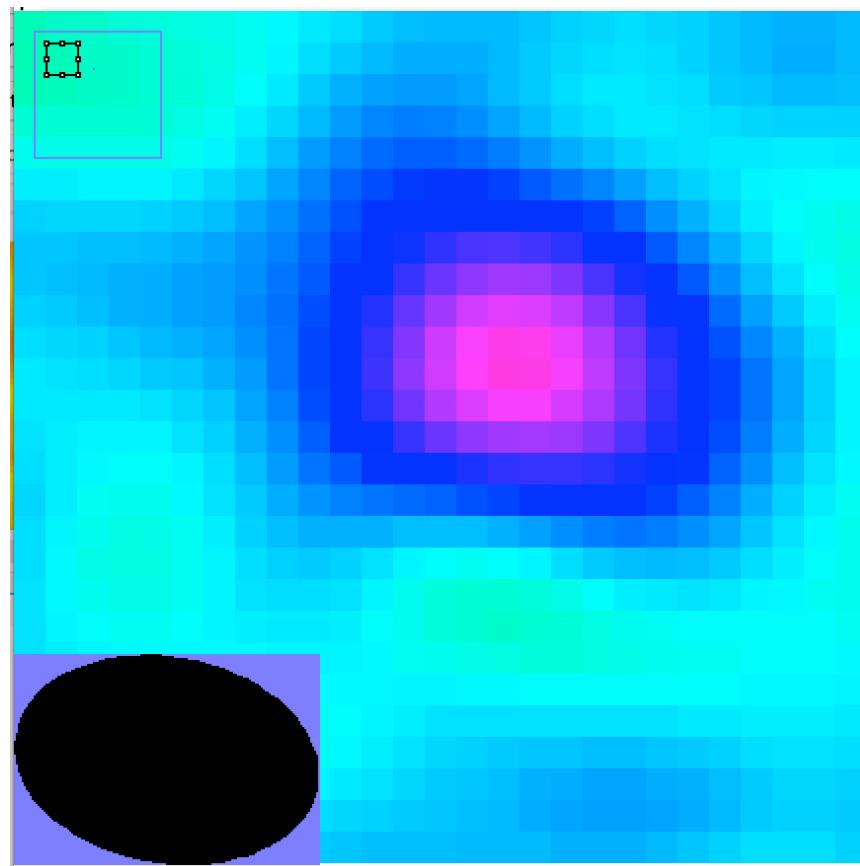
## • Proto-superclusters - Hot Cores

- Químicamente ricos
- Muy densos  $n > 10^7 \text{ cm}^{-3}$
- Calientes  $T > 200\text{K}$
- Alta Extincion ( $\text{Av} > 20 \text{ mag}$ )
- Formación proto-estrellas (No hay región H II todavía)
- Polvo caliente brillante en el mIR -> reemite la radiación de las proto-estrellas masivas

## • HC3N

- Estados vibracionales excitados por el mIR (15-50 micras) sin extincion.
- Traza las regiones de alta densidad que envuelven a las proto-estrellas masivas

# FORMACIÓN ESTELAR - HC3N NGC253



HC3N  $v7=1$  a 219GHz  
Beam =  $0.3'' \times 0.2''$

## Observaciones de ALMA -> Reducción de datos

- Caracterizar  $T_{\text{ex}}$ ,  $N$  y tamaño mediante análisis LTE
  - $T_{\text{ex}} \sim 240$  K
  - $\log N(\text{HC3N}^*) \sim 15.8$
  - $\log N(\text{H}_2) \sim 24.6$
  - Size  $< 0.2''$
  - $L > 7.9 \times 10^7 L_{\odot}$  (size  $\sim 0.060''$ )
- Tamaño del orden del beam de mejor resolución ( $0.19''$ )  
No resuelto (pero  $> 0.060''$ )
- Nueva propuesta de observación con ALMA a mejor resolución angular para resolver su morfología y cinemática (ALMA Cycle 6 ~Abril 2018)

# FORMACIÓN ESTELAR - HC3N

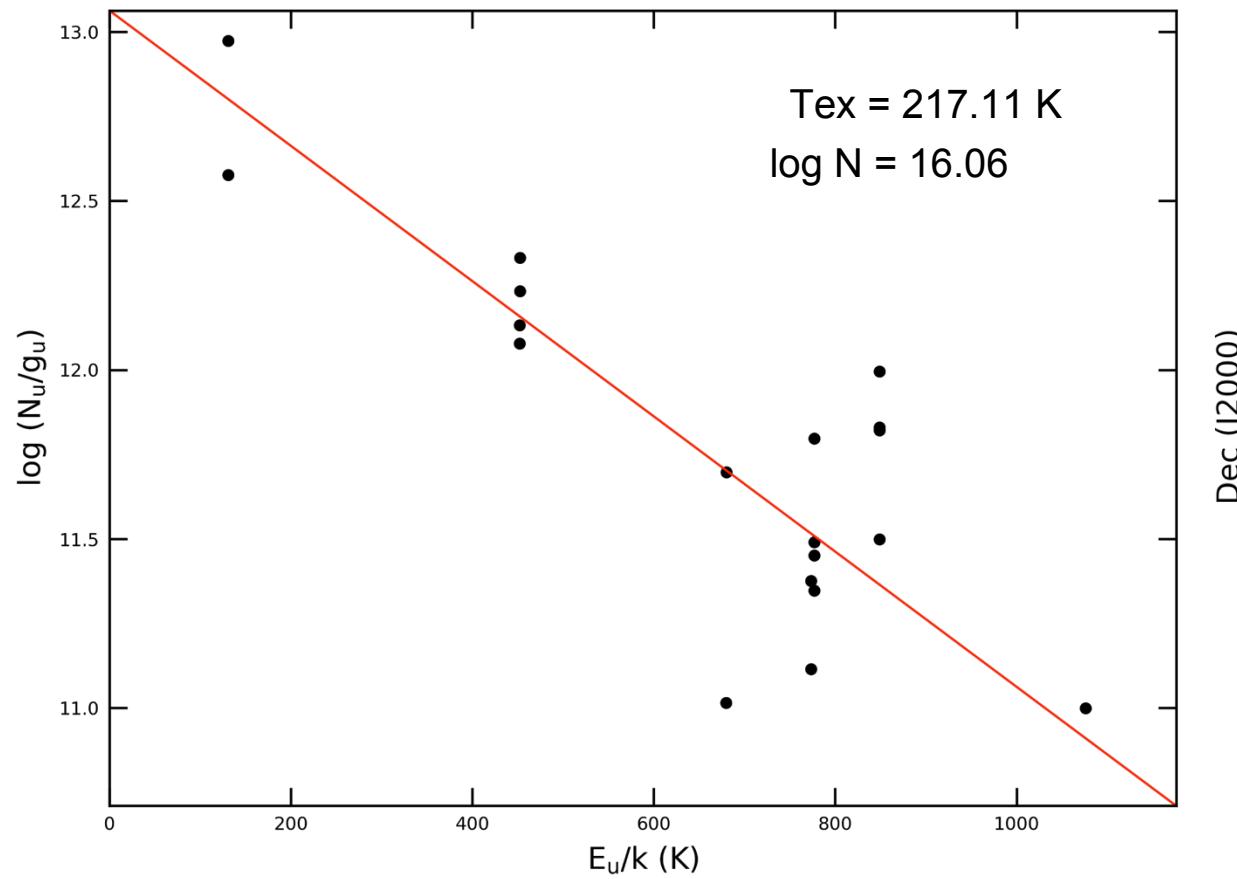
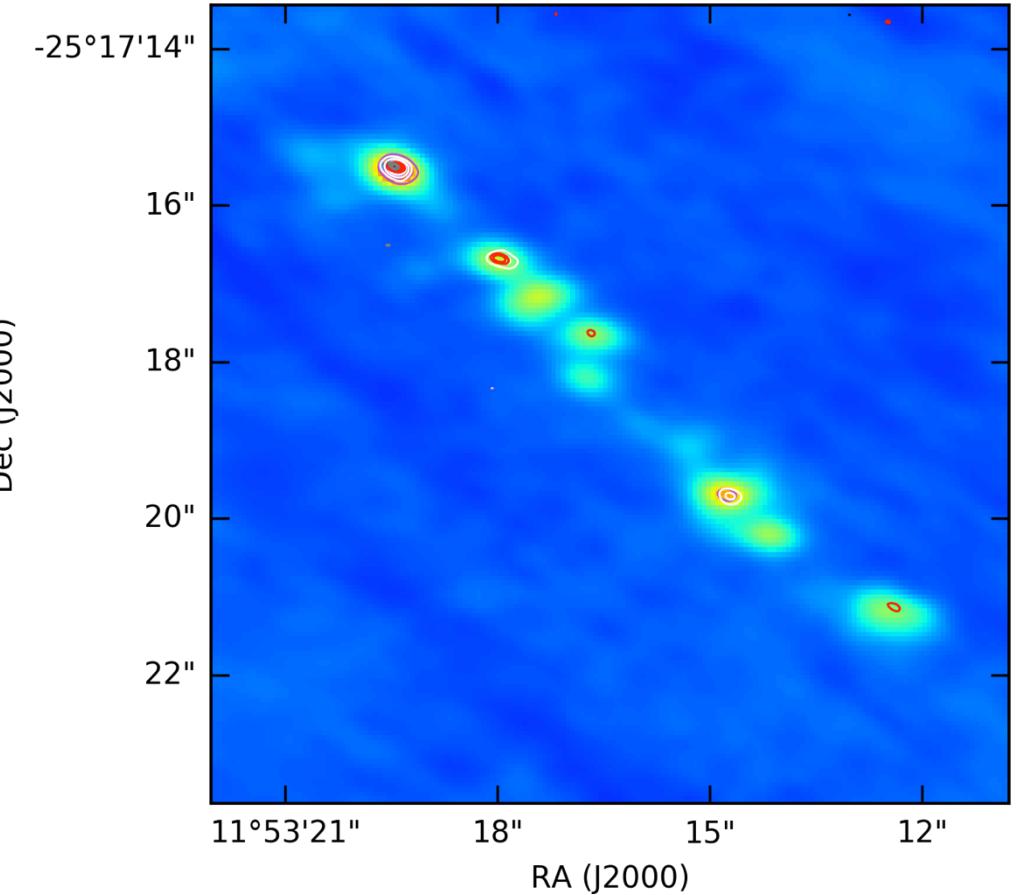


Diagrama rotacional de HC3N\*



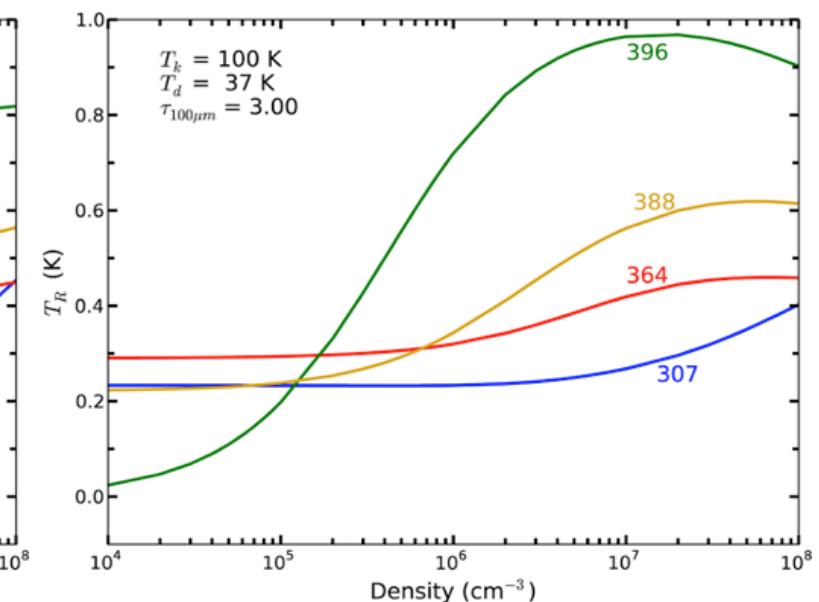
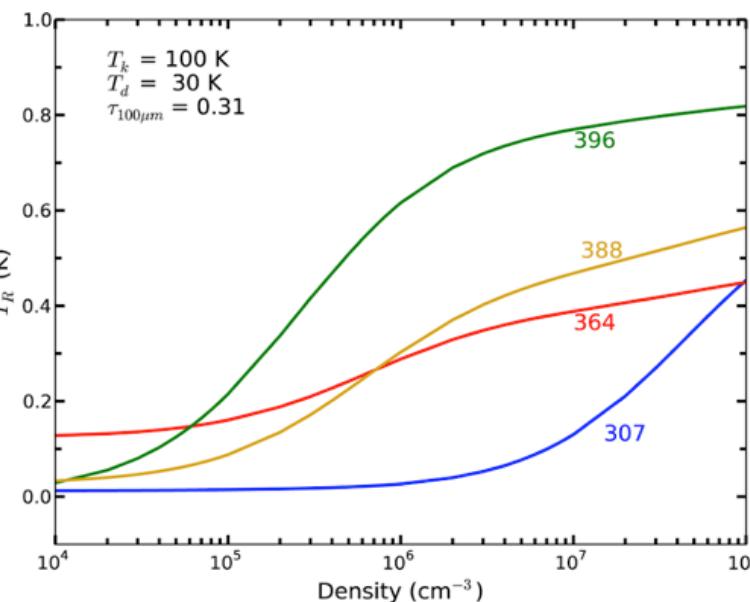
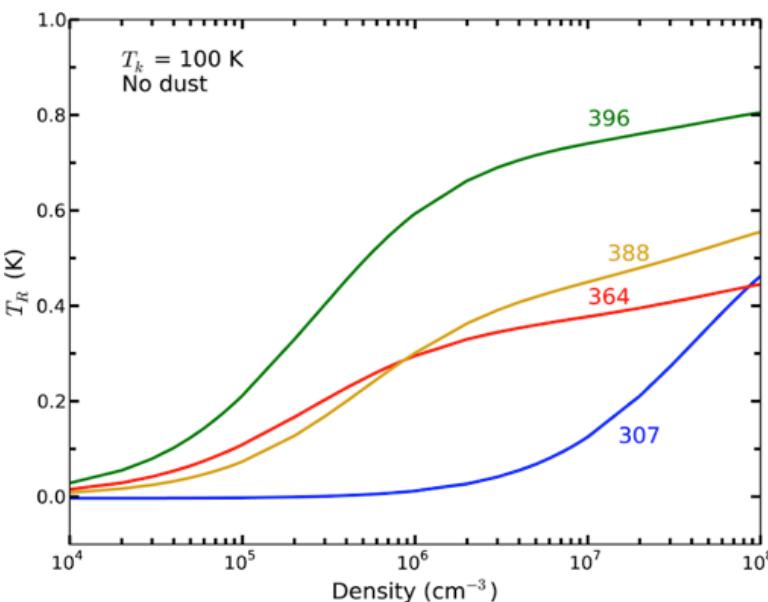
HC3N v7=1 a 219GHz ( $0.3'' \times 0.2''$ )  
sobre el contínuo de NGC253 a 350 GHz

# FORMACIÓN ESTELAR - H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> NGC253

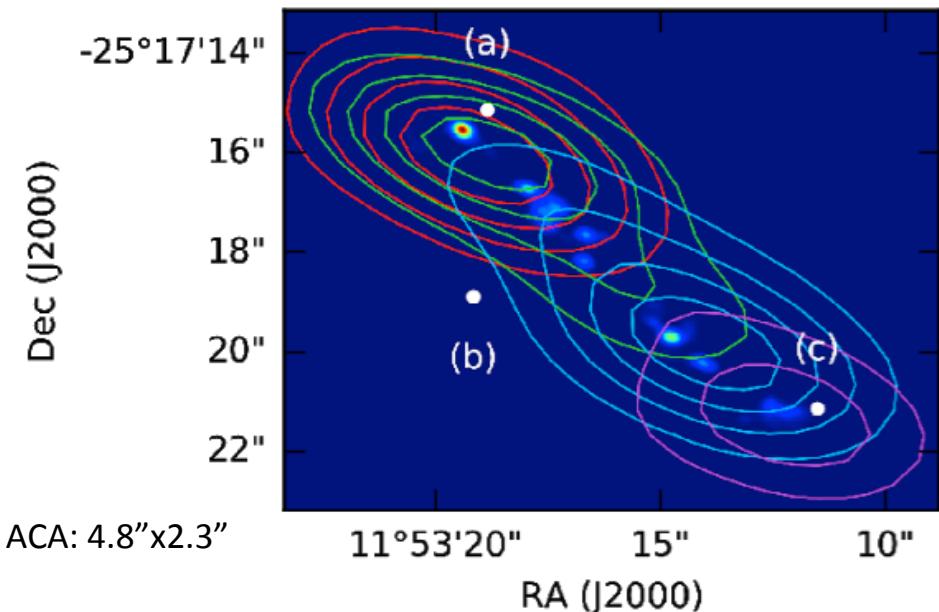
H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>

- Papel clave en la química del O
- Gas molecular denso y caliente
- Estimar el grado de ionización:
  - Debido a rayos cósmicos (Supernovas i.e. Starbursts)
  - Debido a rayos-X (AGN)

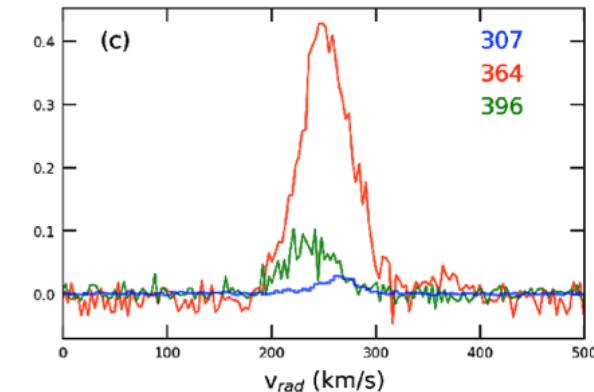
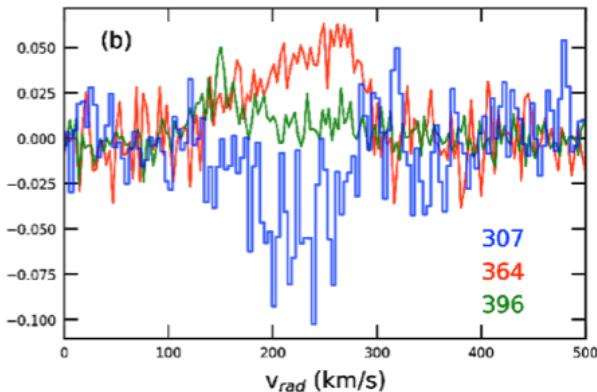
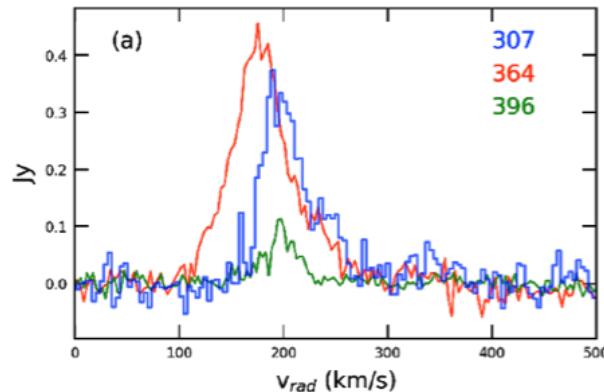
- A estas  $\lambda$  (submm) la emisión del polvo en IR  $\rightarrow$  importante en la ex. de H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>
- Modelos de excitación radiativa no-LTE
- 396GHz única no afectada por la radiación del polvo (a bajas densidades)



# FORMACIÓN ESTELAR - H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>

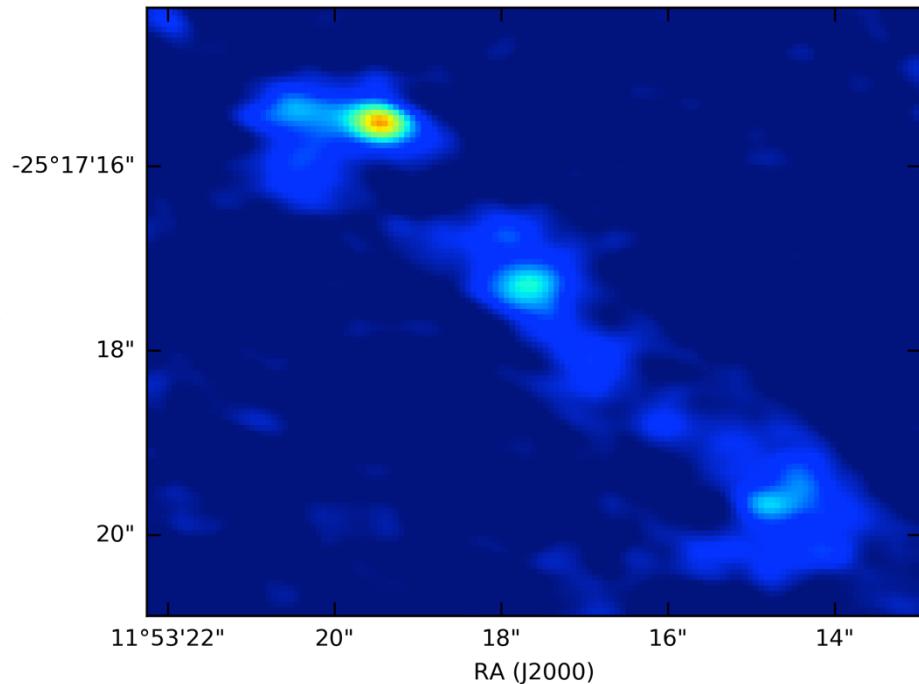


- Observaciones APEX (1 antena 12m )
  - No detectan la de 396GHz
  - Línea de 364GHz traza la componente difusa
  - Ionización dominada por rayos cósmicos (*Villicana-Pedraza 2017*)
  - Densidad  $n(\text{H}_2) \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$
  - Escalas de  $\sim 150$  pc (Todo el núcleo)
- Observaciones ACA (12 antenas 7m )
  - Detección 396GHz
  - Densidad  $n(\text{H}_2) \sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$
  - Escalas de  $\sim 50$  pc (GMCs)
  - Densidad mayor a estas escalas



## FORMACIÓN ESTELAR - H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>

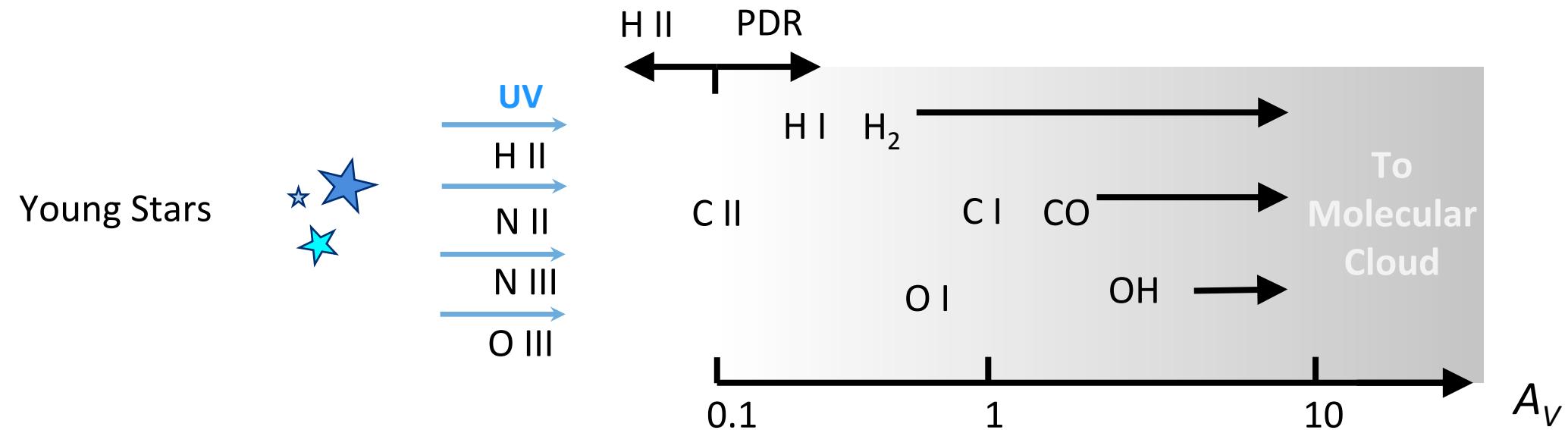
Dec (J2000)



*Intensidad integrada (100km/s) de la línea de 364 GHz a 0.4" de resolución*

- Alta resolución:
  - ALMA 50 antenas de 12m
  - Beam 0.5"x0.4"
  - H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> 364GHz muestra estructuras de pequeña escala
- Propuesta de observación (aceptada):
  - Línea de 396GHz
  - Misma resolución que la de 364GHz
  - Obtener abundancias precisas
  - Determinar la fuente de ionización
  - A la espera datos ALMA

# DÉFICIT LÍNEAS ESTRUCTURA EN (U)LIRGs CON HERSCHEL

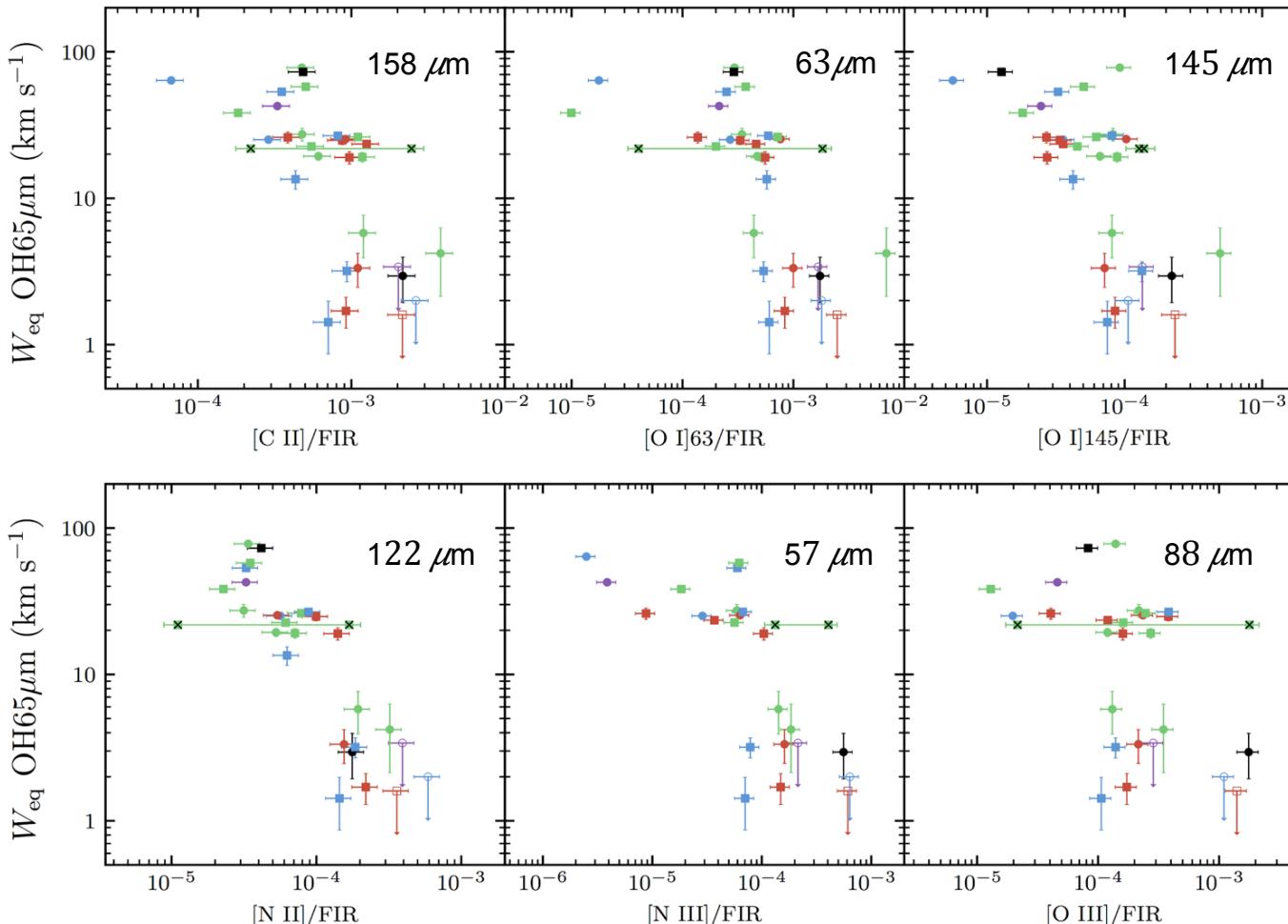


| Line    | Type | $\lambda$<br>(μm) | $E_u$<br>(K) | $E_l$<br>(K) | $A_{ul}$<br>( $s^{-1}$ ) | $n_u$ | $n_l$ | $g_u$ | $g_l$ | EP<br>(eV) | IP<br>(eV) | $n_{crit}$<br>(cm <sup>-3</sup> )      |
|---------|------|-------------------|--------------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|------------|------------|--|
| (1)     | (2)  | (3)               | (4)          | (5)          | (6)                      | (7)   | (8)   | (9)   | (10)  | (11)       | (12)       | (13)                                   |
| [C II]  | PDR  | 157.74            | 91.25        | 0            | $2.36 \times 10^{-6}$    | 3/2   | 1/2   | 4     | 2     | 11.26      | 24.38      | $\sim 3 \times 10^3$ [H] $\sim 50$ [e] |
| [O I]   | PDR  | 63.18             | 227.77       | 0            | $0.89 \times 10^{-4}$    | 1     | 2     | 4     | 2     | ...        | 13.62      | $\sim 4.7 \times 10^5$ [H]             |
| [O I]   | PDR  | 145.53            | 326.64       | 227.77       | $0.18 \times 10^{-4}$    | 0     | 1     | 1     | 3     | ...        | 13.62      | $1 \times 10^5 (T/100)^{-0.57}$ [H]    |
| [N II]  | H II | 121.90            | 188.16       | 70.13        | $7.46 \times 10^{-6}$    | 2     | 1     | 5     | 3     | 14.53      | 29.6       | $3.1 \times 10^2$ [e]                  |
| [N III] | H II | 57.32             | 250.93       | 0            | $4.79 \times 10^{-5}$    | 3/2   | 1/2   | 4     | 2     | 29.60      | 47.45      | $3 \times 10^3$ [e]                    |
| [O III] | H II | 88.36             | 162.85       | 0            | $2.61 \times 10^{-5}$    | 1     | 0     | 3     | 1     | 35.12      | 54.93      | $5.1 \times 10^2$ [e]                  |

# RADIATIVE FEEDBACK OF STAR FORMATION IN GALAXIES



## Déficit líneas estructura fina en (U)LIRGs con Herschel



- Estancia Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics
- (U)LIRGs - LIR >  $10^{11} - 10^{12} L_{\odot}$ 
  - IR del UV reprocesado por polvo
  - Líneas EF fIR trazan la form. estelar

Alta formación estelar



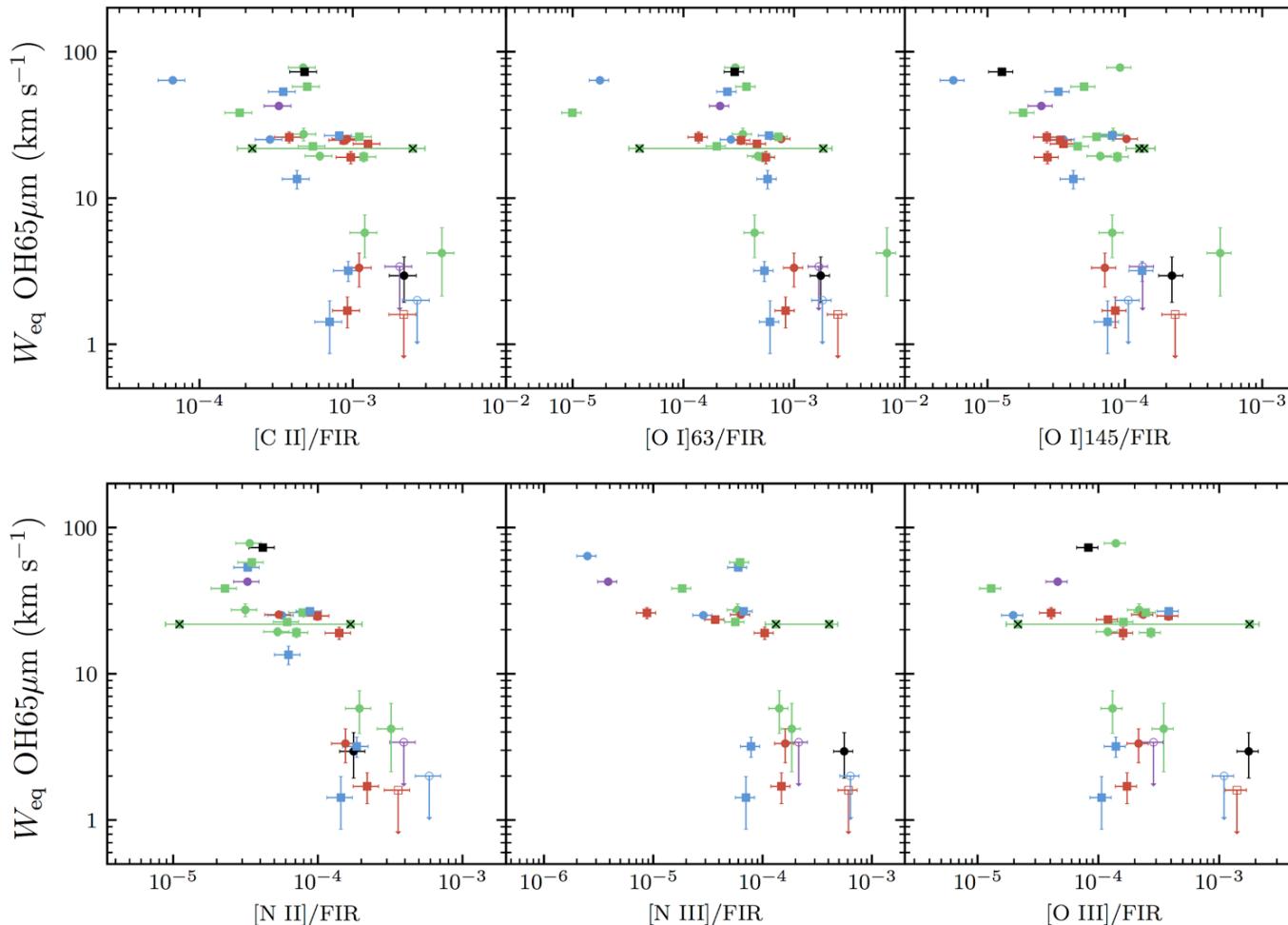
Líneas de EF fIR + intensas

- Alta absorción molecular en fIR
  - OH 65μm
  - Traza el gas más oscurecido y denso

# RADIATIVE FEEDBACK OF STAR FORMATION IN GALAXIES

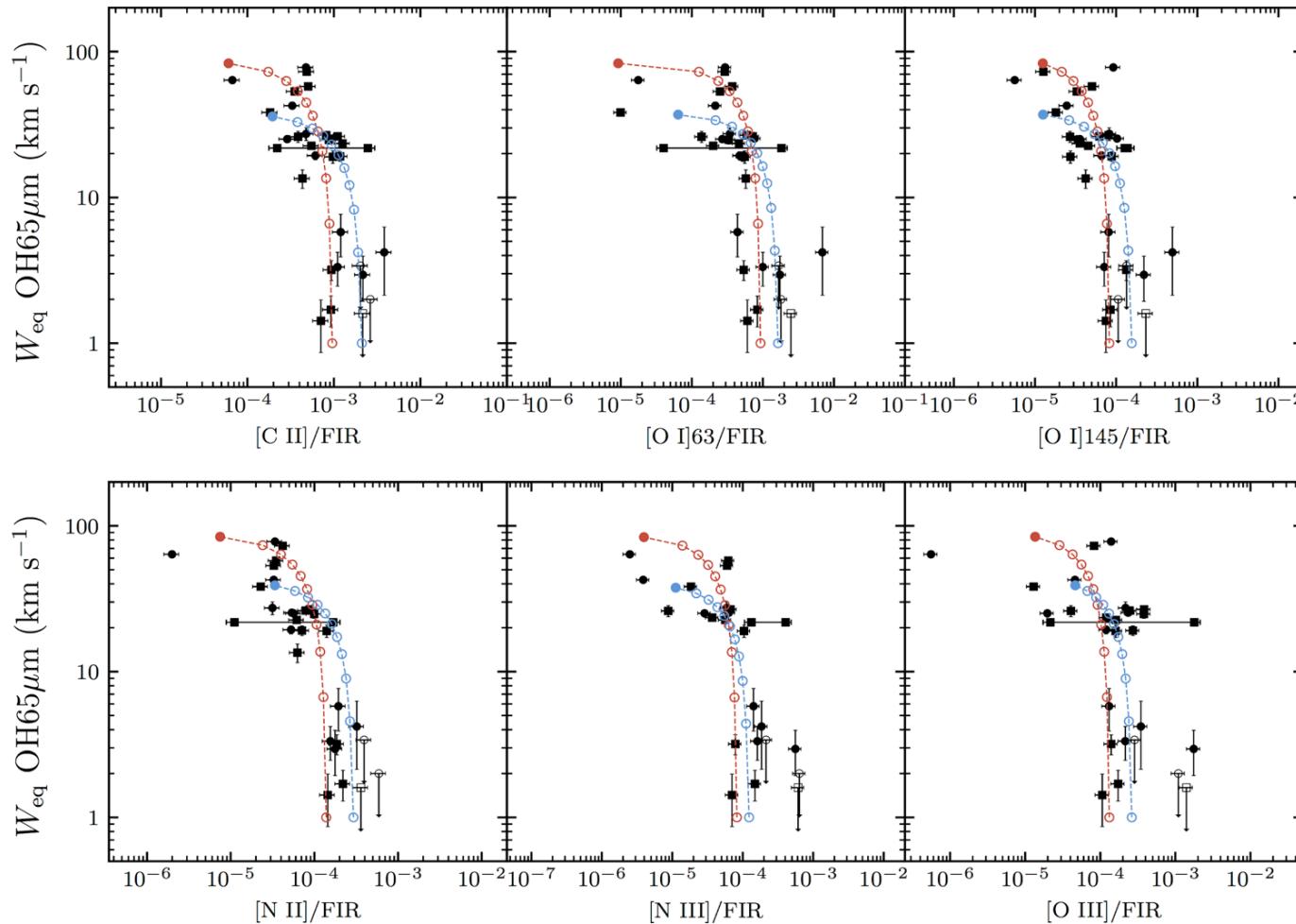


## Déficit líneas estructura fina en (U)LIRGs con Herschel

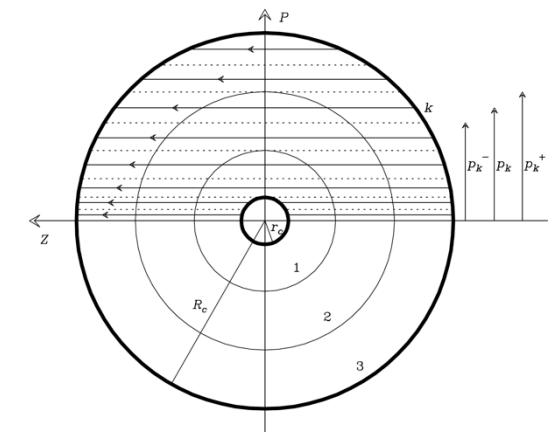


- Estancia Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics
- (U)LIRGs - LIR >  $10^{11} - 10^{12} L_{\odot}$ 
  - IR del UV reprocesado por polvo
  - Líneas EF fIR trazan la form. estelar
- Alta formación estelar
- No en (U)LIRGs!  
(D-Santos 2013)
- Líneas de EF fIR + intensas
- Alta absorción molecular en fIR
  - OH 65μm
  - Traza el gas más oscurecido y denso

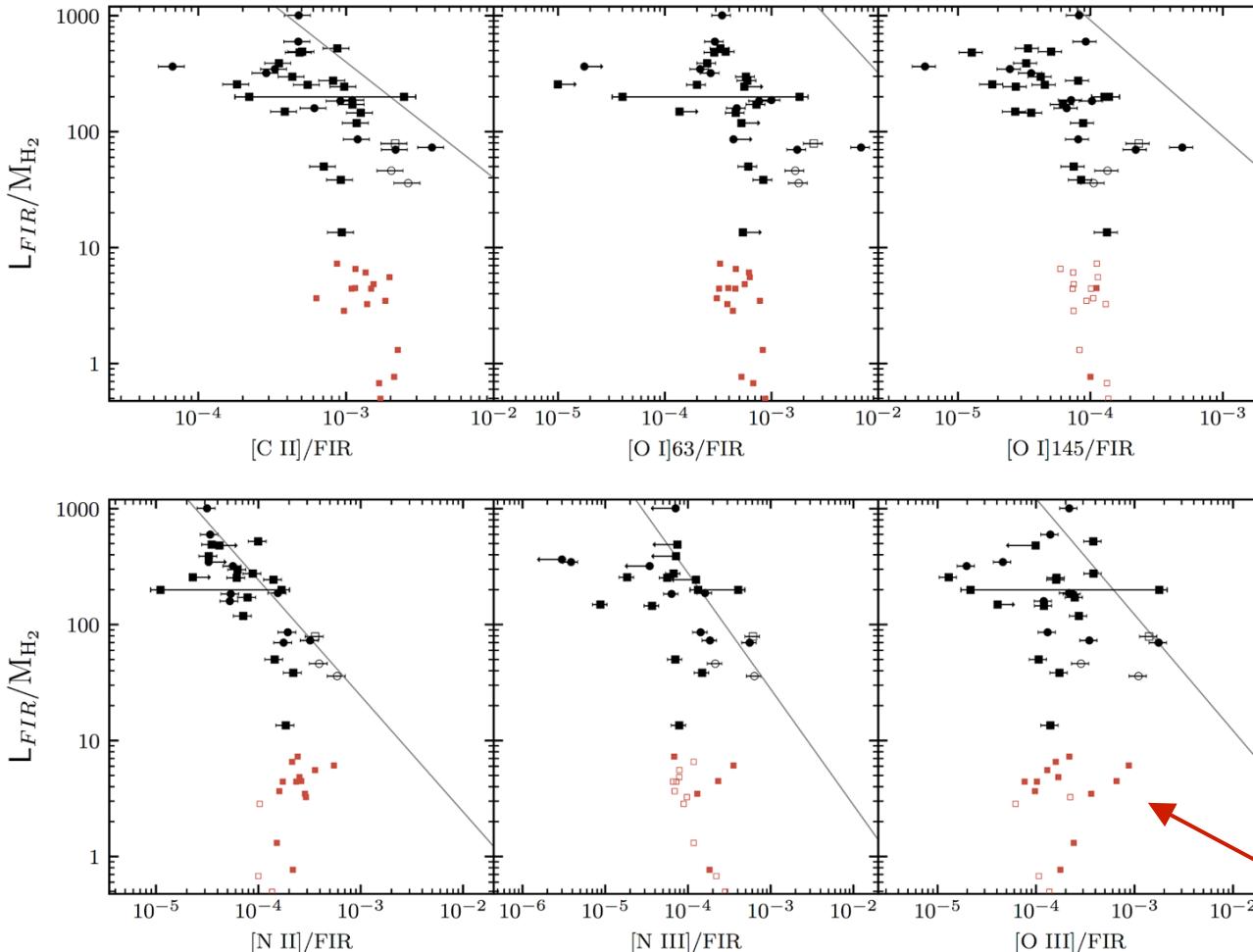
# DÉFICIT LÍNEAS ESTRUCTURA FINA EN (U)LIRGs CON HERSCHEL



- Modelos de Transferencia Radiativa
  - Gonzalez-Alfonso 2015
  - No-LTE
  - Condiciones uniformes
  - Parametrizado por:
    - $T_{\text{dust}}$
    - $T_{\text{gas}}$
    - $\tau_{100}$
    - $n(\text{H}_2)$
    - $N$



# DÉFICIT LÍNEAS ESTRUCTURA FINA EN (U)LIRGs CON HERSCHEL



- De los modelos:
  - Altas columnas de densidad ( $> 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ )
  - Altas  $T_{\text{dust}}$  ( $\sim 90 \text{ K}$ )
- Indican volúmenes pequeños
- Origen del déficit:
  - Regiones HII y PDRs muy compactas
  - Menos material para emitir  $L_{\text{line}} \propto N_{\text{H}}^{1.2}$
- Comparamos con regiones de formación estelar Galácticas, que son muy extensas

Regiones de formación estelar del centro galáctico  
(Rodríguez-Fernández 2004, 2005)

## PRÓXIMOS PASOS

---

- HC3N → Finalizando propuesta de observación (Cycle 6 ALMA ~Abril )
- H<sub>3</sub>O+ → Esperando observación
- Déficit líneas estructura fina → Artículo en preparación
- Ampliar el estudio a otras galaxias

