

Hielos astrofísicos

Belén Maté

Departamento de Física Molecular
IEM-CSIC

belen.mate@csic.es

HIELOS ASTROFÍSICOS

Especies volátiles condensadas sobre superficies



Moléculas sencillas congeladas
 CO_2 , CO , N_2 , CH_4 , NH_3 , CH_3OH .

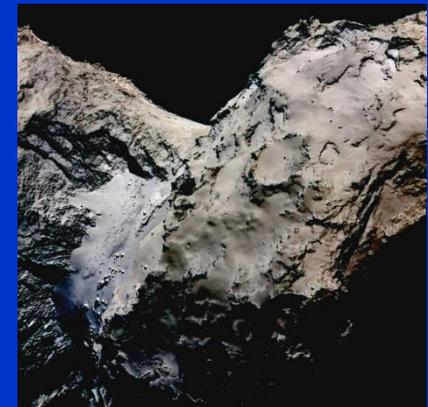
**Medio
interestelar**



**Cuerpos
Sistema Solar**



Cometas



Plutón: Objeto del cinturón de Kuiper

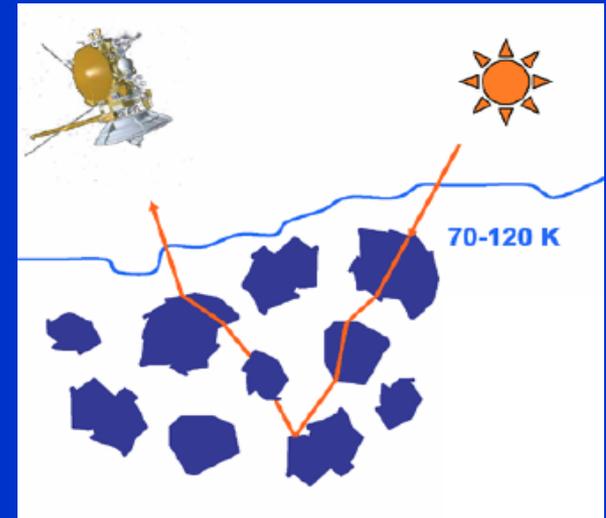
Distancia al Sol : 39,264 UA ($5,9 \times 10^9$ km)

Misión New Horizont de la NASA.

Lanzamiento: Jan 19, 2006. Máximo acercamiento: 14 Julio 2015.



Imagen tomada 14 de julio de 2015.
La nave estaba a 450,000 km.
Long Range Reconnaissance Imager (LORRI):
visible (350-850 nm)
(NASA/JHUAPL/SwRI).



La luz solar que recibe Plutón es 1000 veces mas tenue que en la Tierra

Surface compositions across Pluto and Charon

W. M. Grundy,^{1*} R. P. Binzel,² B. J. Buratti,³ J. C. Cook,⁴ D. P. Cruikshank,⁵ C. M. Dalle Ore,^{5,6} A. M. Earle,² K. Ennico,⁵ C. J. A. Howett,⁴ A. W. Lunsford,⁷ C. B. Olkin,⁴ A. H. Parker,⁴ S. Philippe,⁸ S. Protopapa,⁹ E. Quirico,⁸ D. C. Reuter,⁷ B. Schmitt,⁸ K. N. Singer,⁴ A. J. Verbiscer,¹⁰ R. A. Beyer,^{5,6} M. W. Buie,⁴ A. F. Cheng,¹¹ D. E. Jennings,⁷ I. R. Linscott,¹² J. Wm. Parker,⁴ P. M. Schenk,¹³ J. R. Spencer,⁴ J. A. Stansberry,¹⁴ S. A. Stern,⁴ H. B. Throop,¹⁵ C. C. C. Tsang,⁴ H. A. Weaver,¹¹ G. E. Weigle II,¹⁶ L. A. Young,⁴ and the New Horizons Science Team

LEISA:
1 - 3 μm
Infrarrojo cercano

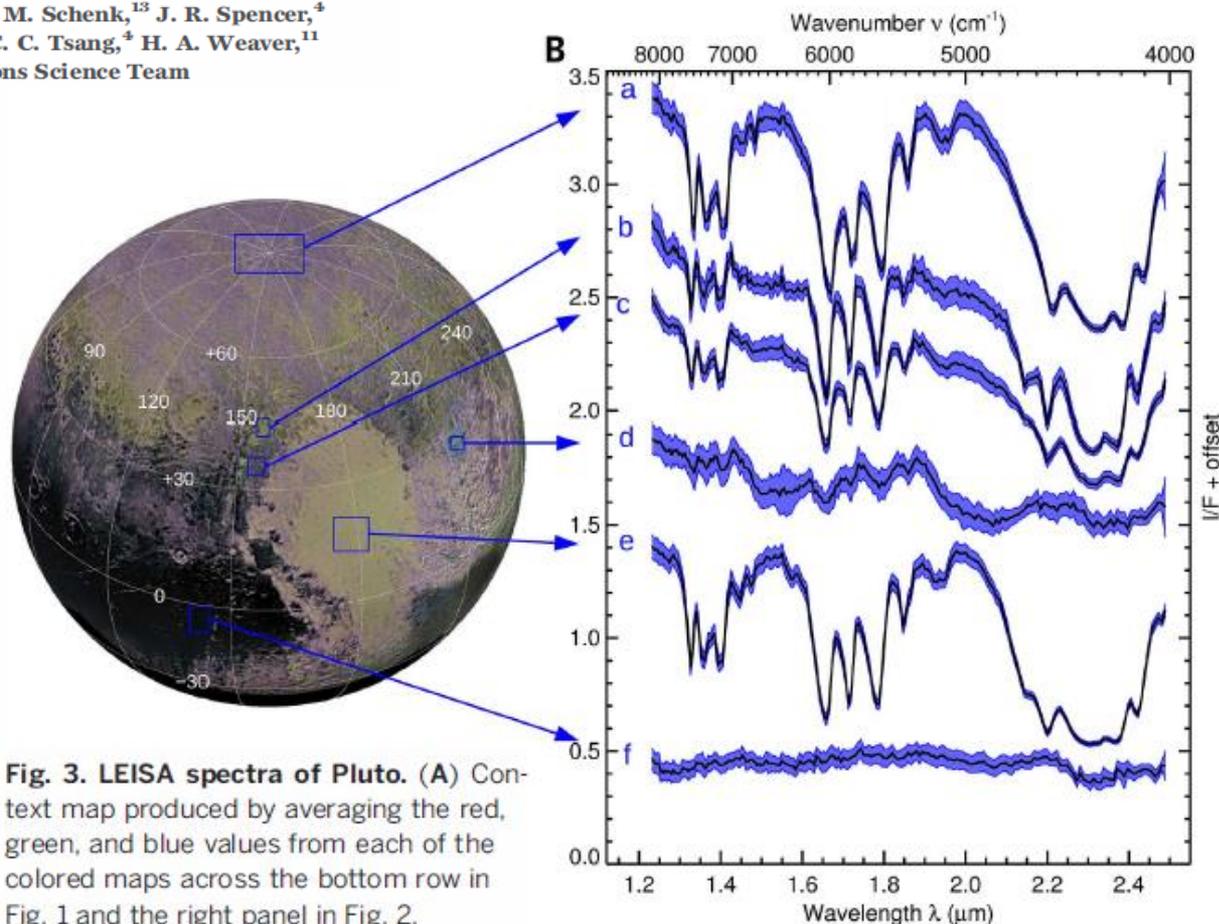
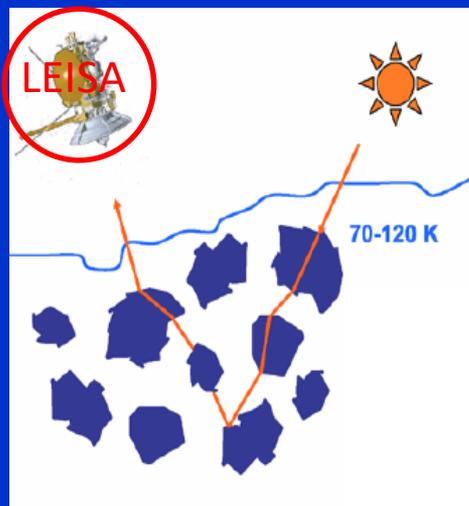


Fig. 3. LEISA spectra of Pluto. (A) Context map produced by averaging the red, green, and blue values from each of the colored maps across the bottom row in Fig. 1 and the right panel in Fig. 2.

Nubes moleculares del medio interestelar

Gran riqueza química.

Mas de 200 moléculas observadas

Densidad “alta” (10^4 - 10^6 cm^{-3}) y T baja (10-50 K)
(10^{19} cm^{-3} en superficie terrestre)



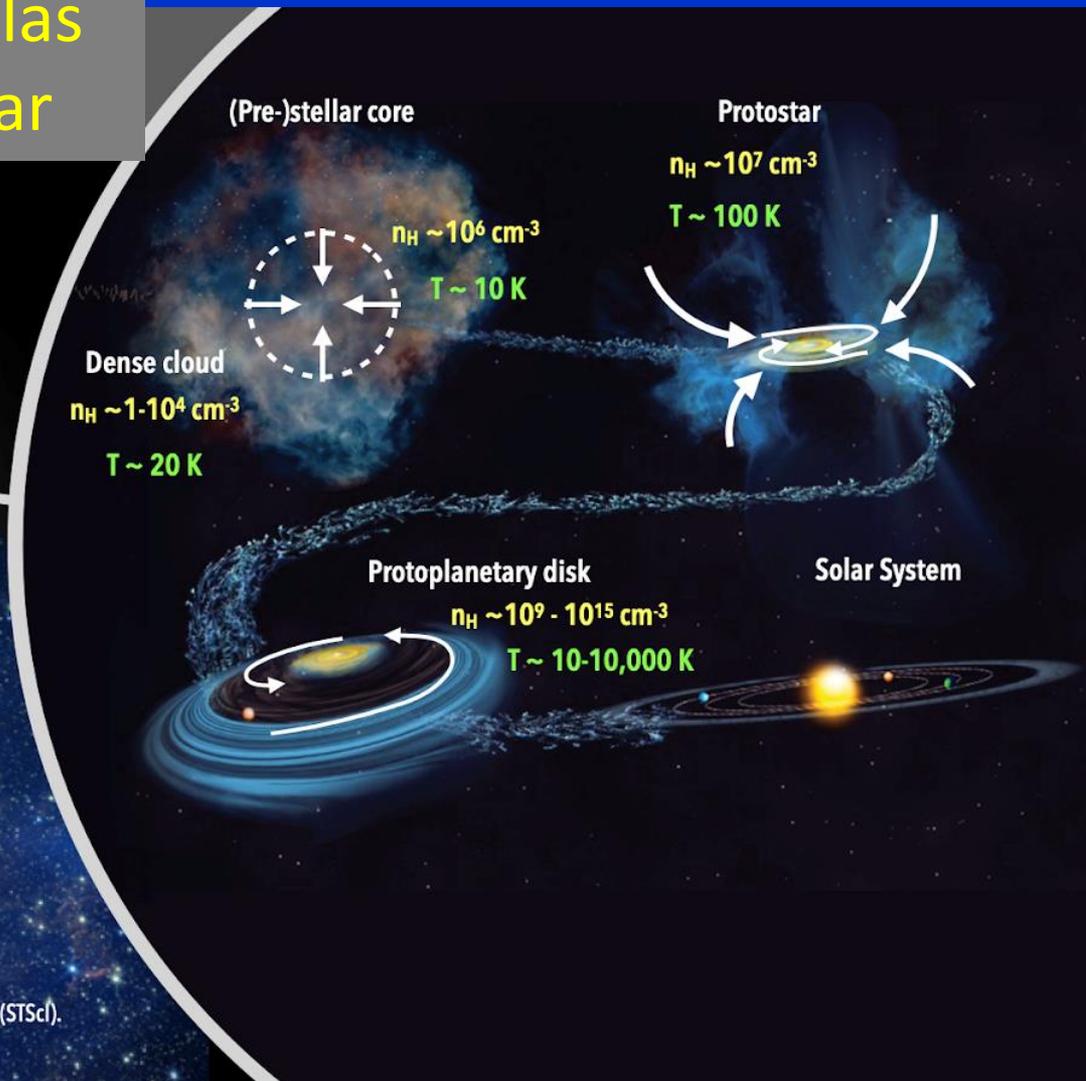
Las moléculas condensan (o se forman) en los granos de polvo (silicatos, carbonáceos) formando mantos de hielo



Los granos de hielo y polvo catalizan la formación de nuevas moléculas



Evolución de los hielos en las zonas de formación estelar



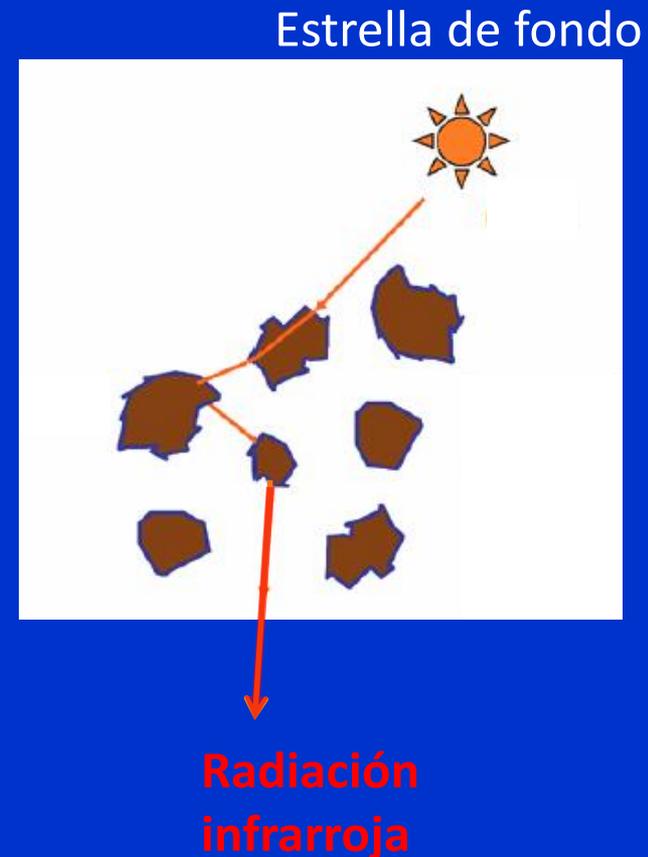
Las moléculas formadas en los hielos son los ingredientes iniciales de los sistemas planetarios

Los hielos en nubes densas se detectan a través de su absorción en el infrarrojo de la radiación de una estrella de fondo

Imagen de luz visible



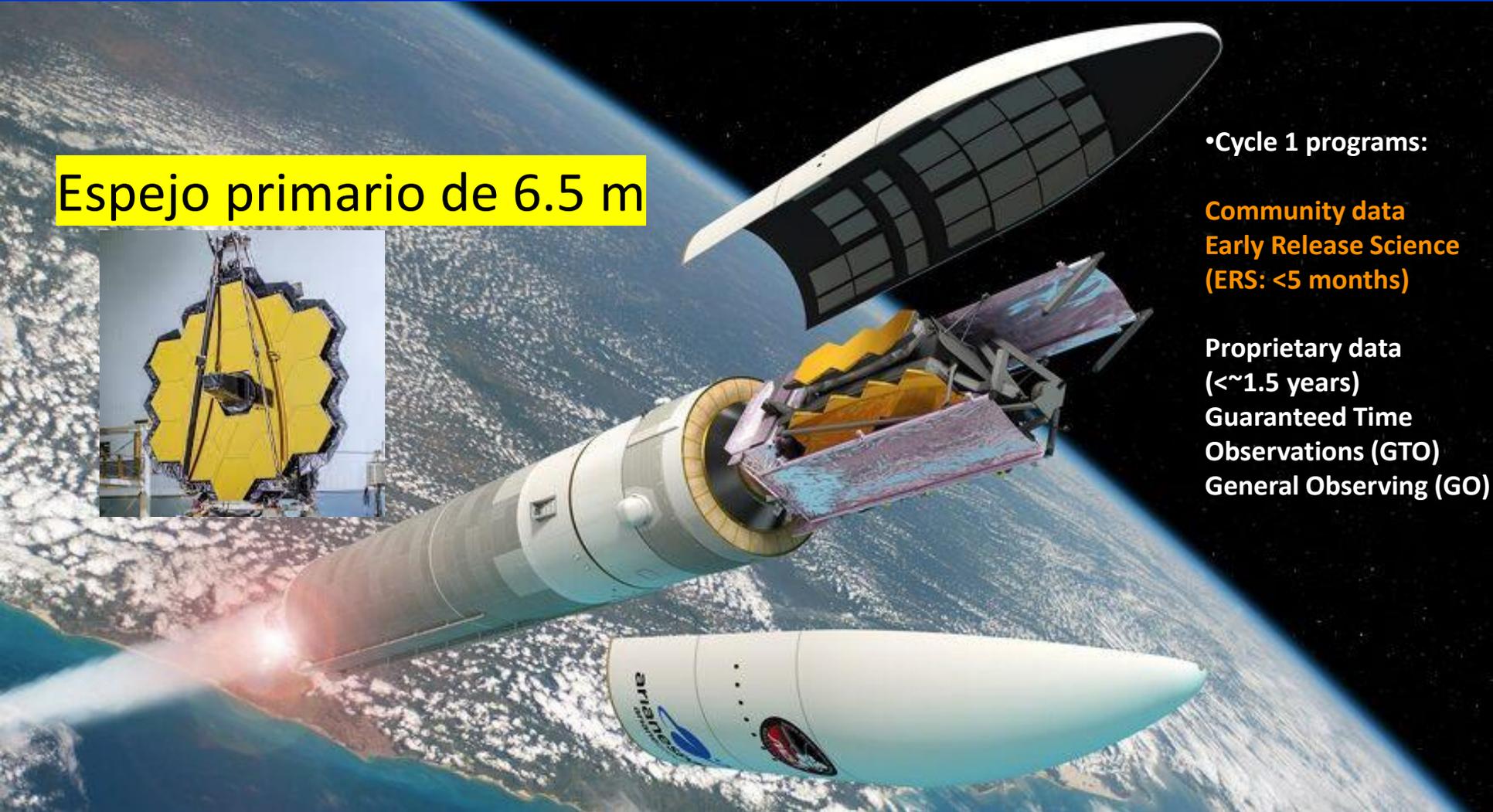
Barnard 68 . (FORS Team, 8.2-meter VLT Antu, ESO)



The James Webb Space Telescope (JWST)

- NASA/ESA/CSA **10+ year mission**
- Launched December 25th, 2021!

Espejo primario de 6.5 m



• Cycle 1 programs:

Community data
Early Release Science
(ERS: <5 months)

Proprietary data
(<~1.5 years)
Guaranteed Time
Observations (GTO)
General Observing (GO)

Espectros IR registrados con JWST de hielos en nubes densas frías

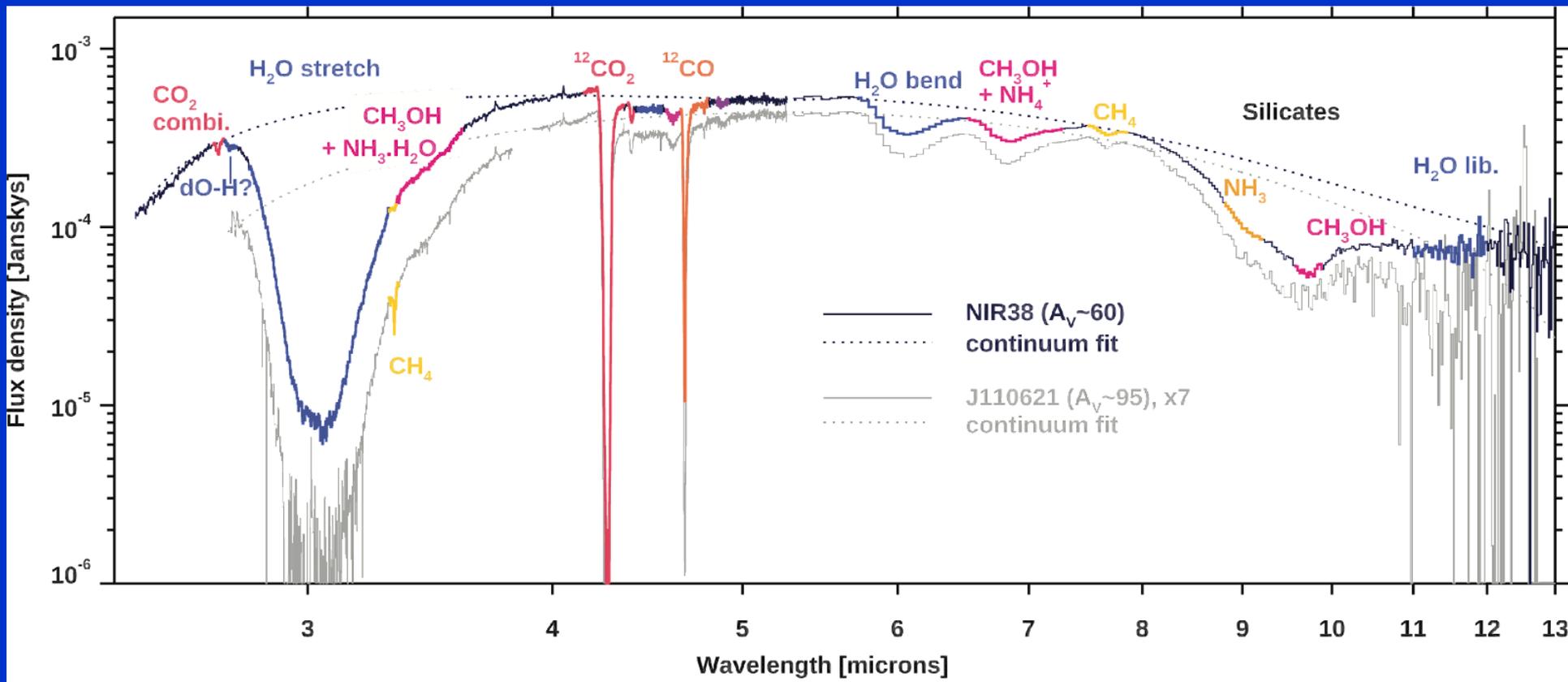
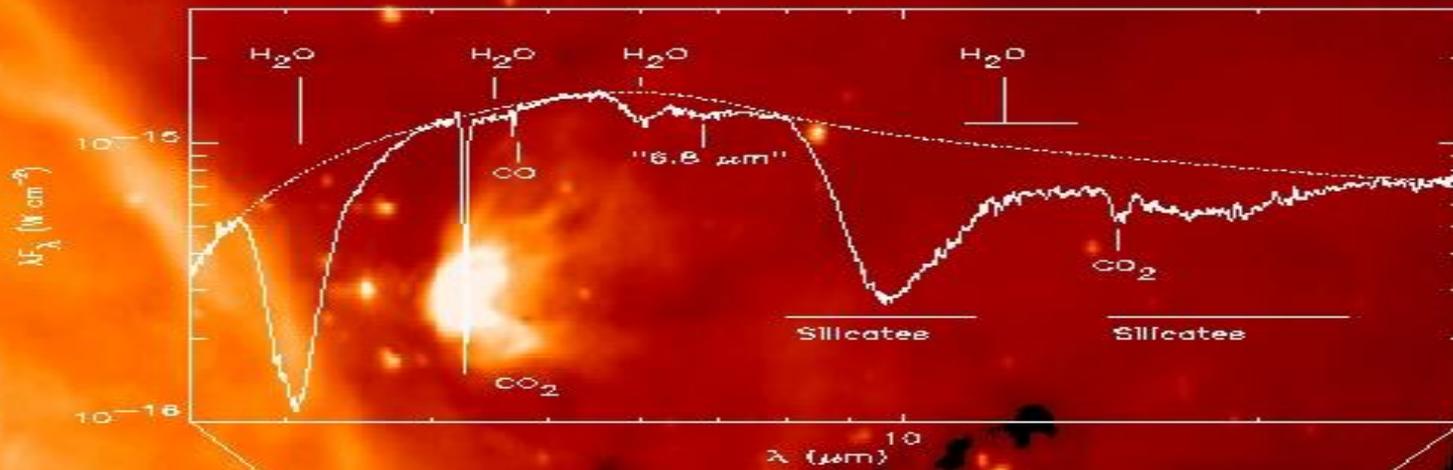
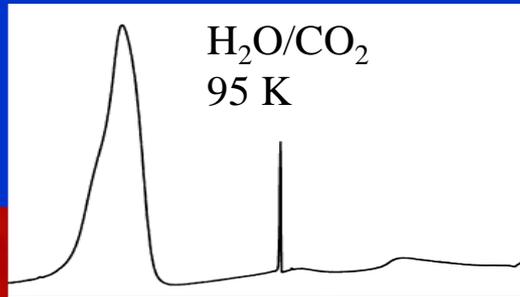


Figure 1: McClure + Ice Age, Nature Astronomy 2023

ICE AGE EARLY RELEASE PROGRAM

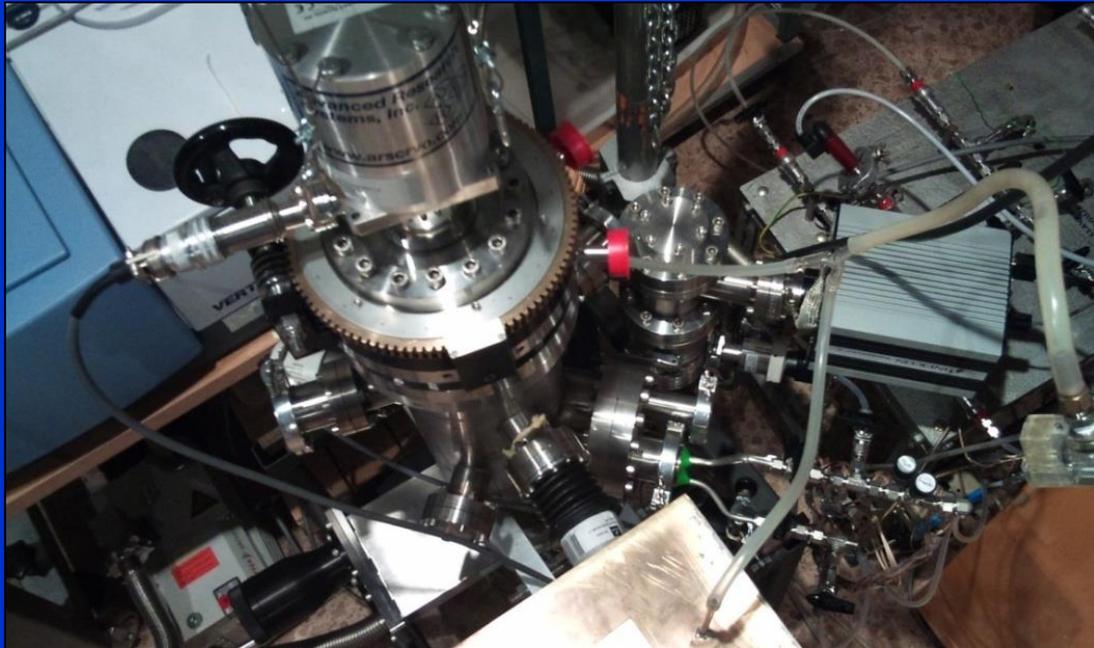
Hielo de laboratorio

Los datos de laboratorio son necesarios para la interpretación de las observaciones espaciales



Sistema experimental

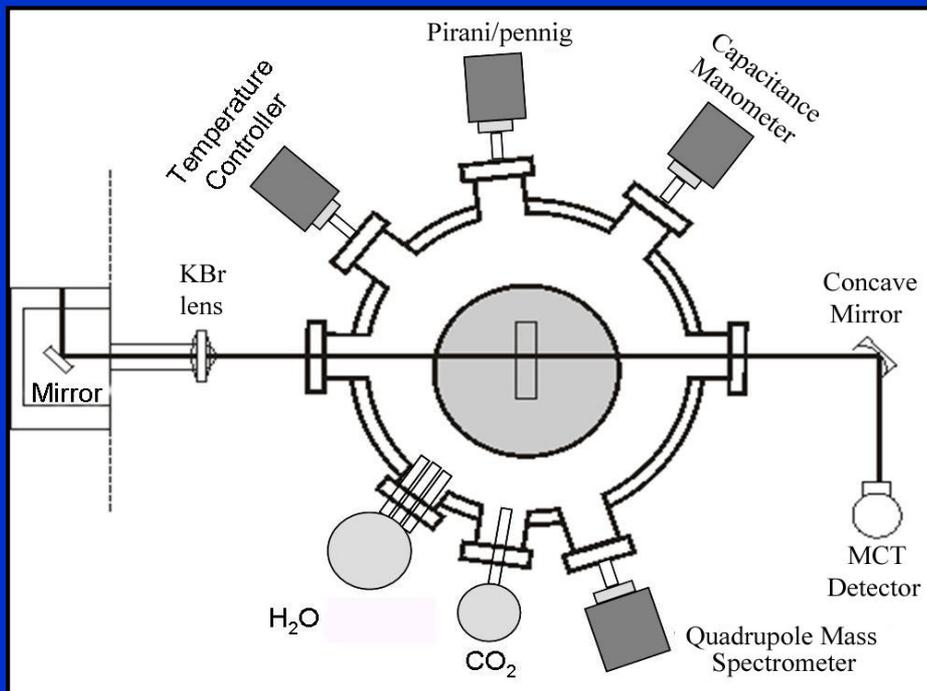
Simulación de entornos astrofísicos



Sistema experimental

Cámaras alto (10^{-8} mbar) y ultra-alto (10^{-10} mbar) vacío

Temperatura controlada entre: 6 -300 K



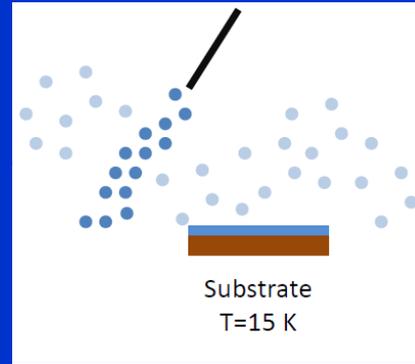
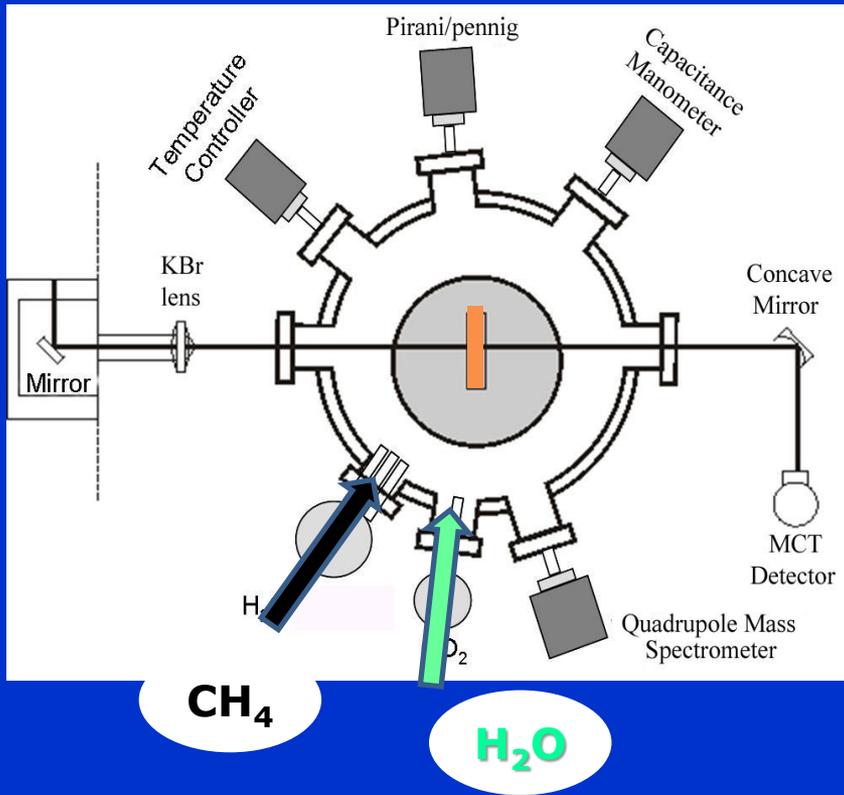
CARACTERIZACIÓN:

**ESPECTROSCOPIA
INFRARROJA
TRANSMISIÓN O
REFLEXIÓN-ABSORCIÓN**

**ESPECTROMETRÍA
DE MASAS**

GENERACIÓN DE HIELOS: condensación

Alto vacío + bajas temperaturas



No-dirigido:
Hielo poroso

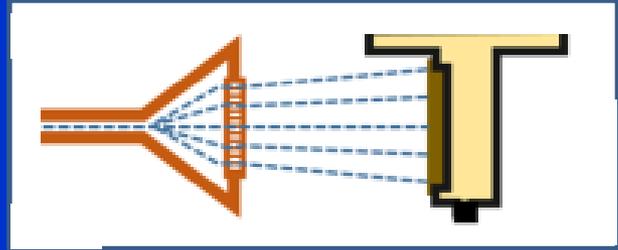
secuencial



simultaneo



Dirigido: hielo compacto

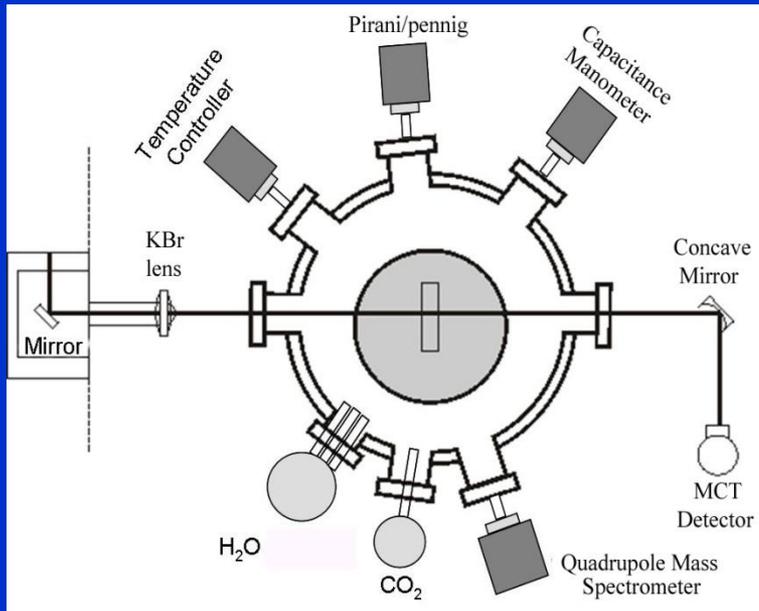


Las condiciones de depósito
afectan a las propiedades del hielo

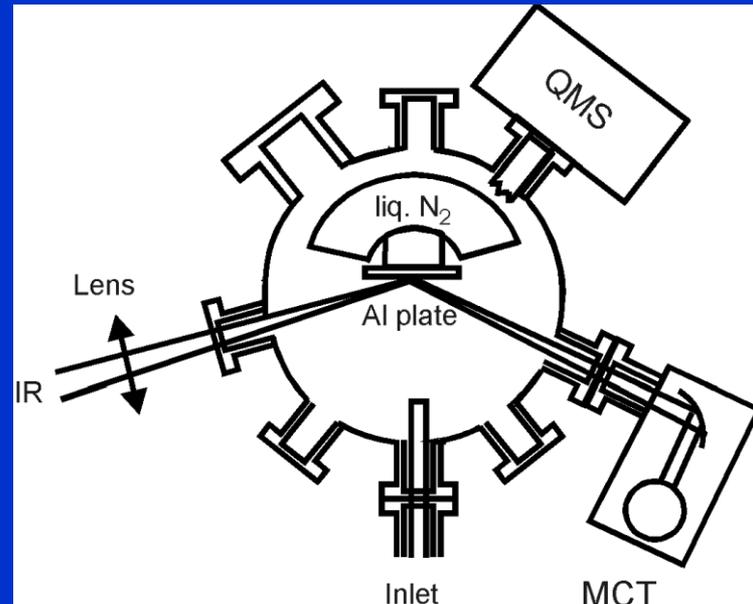
CARACTERIZACIÓN DEL HIELO

Espectroscopía infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

Rango espectral: $16000 - 600 \text{ cm}^{-1}$ ($0,625-16,6 \text{ }\mu\text{m}$).



transmisión



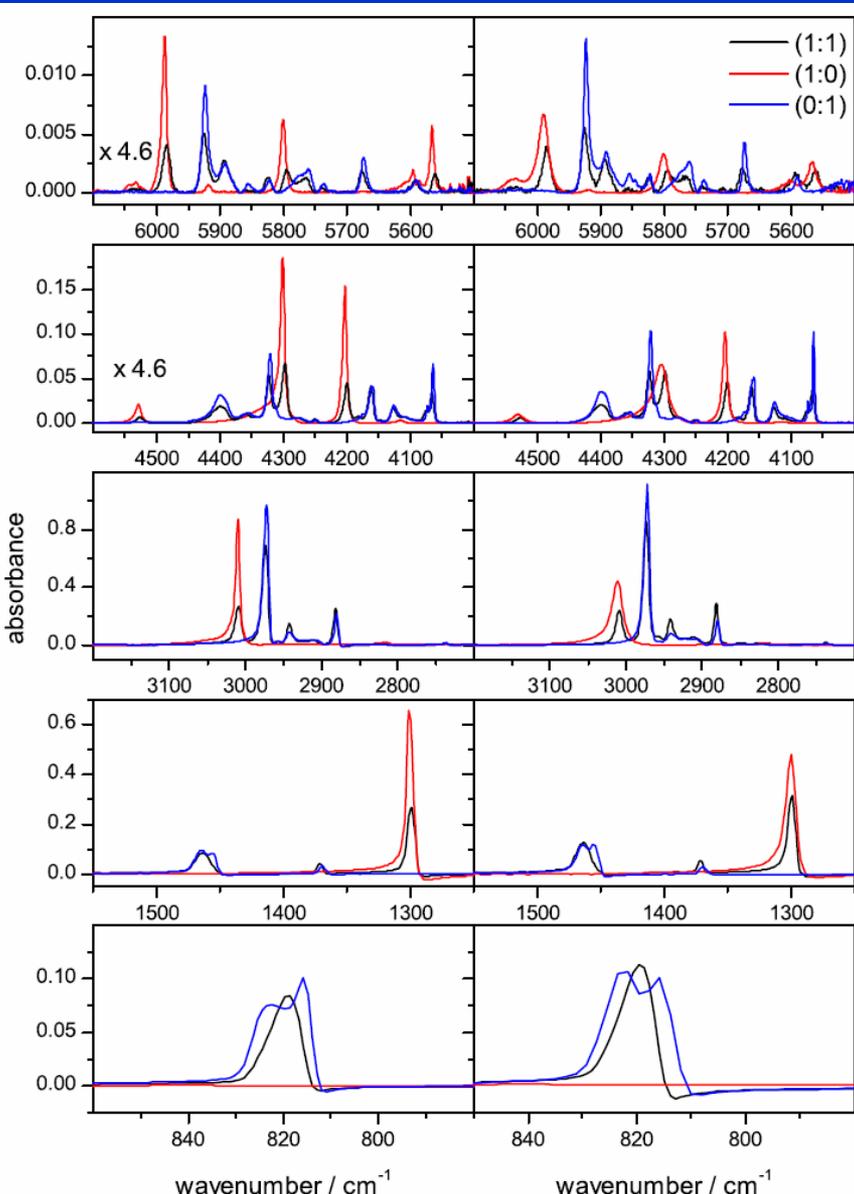
reflexión-absorción

Lineas de investigación:

- 1) Espectros IR de hielos de especies puras y de mezclas
Fuerzas de banda en el IR
Indices de refracción, $n+ik$, (constants ópticas) en el IR

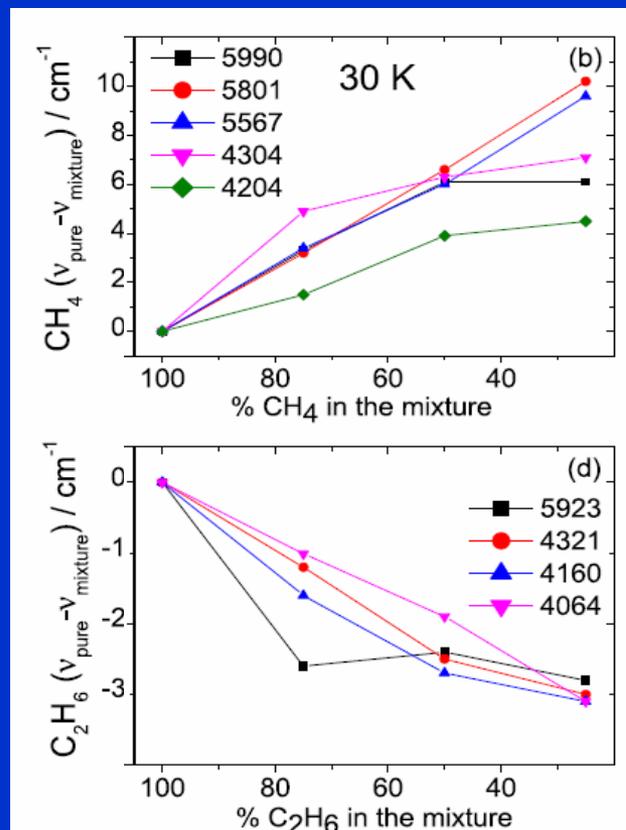
I. $\text{CH}_4:\text{C}_2\text{H}_6$ at 30K

IR transmission spectra



← 50 % CH_4
 ← Pure CH_4
 ← Pure C_2H_6

Despazamientos
en frecuencia



Espectros IR de glicina en distintos entornos helados

25 K

* H₂O or CH₄ bands

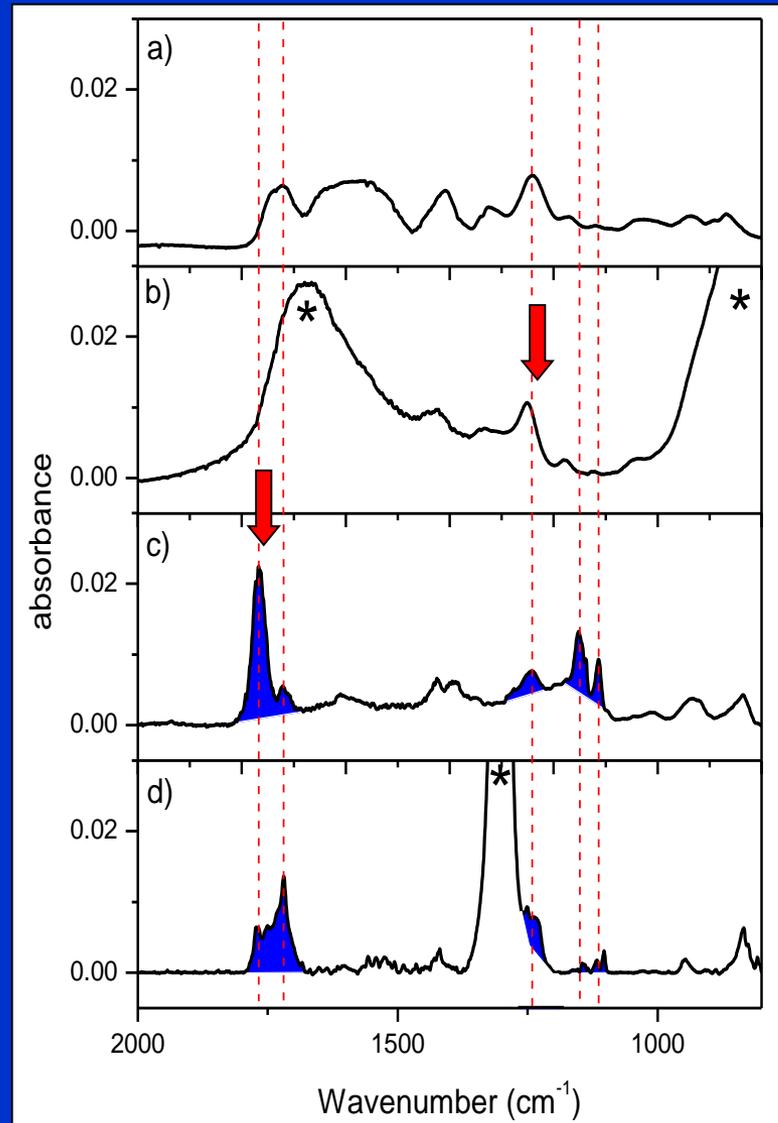
Objetivo:
identificación de
esta especie en
hielos en el medio
interestelar

Glicina pura

0.5% Glicina:H₂O

0.5% Glicina:CO₂

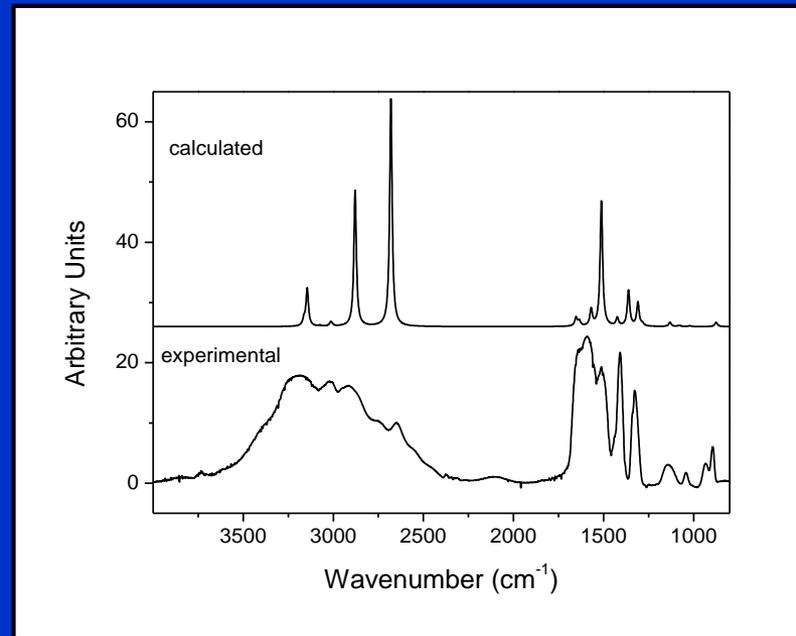
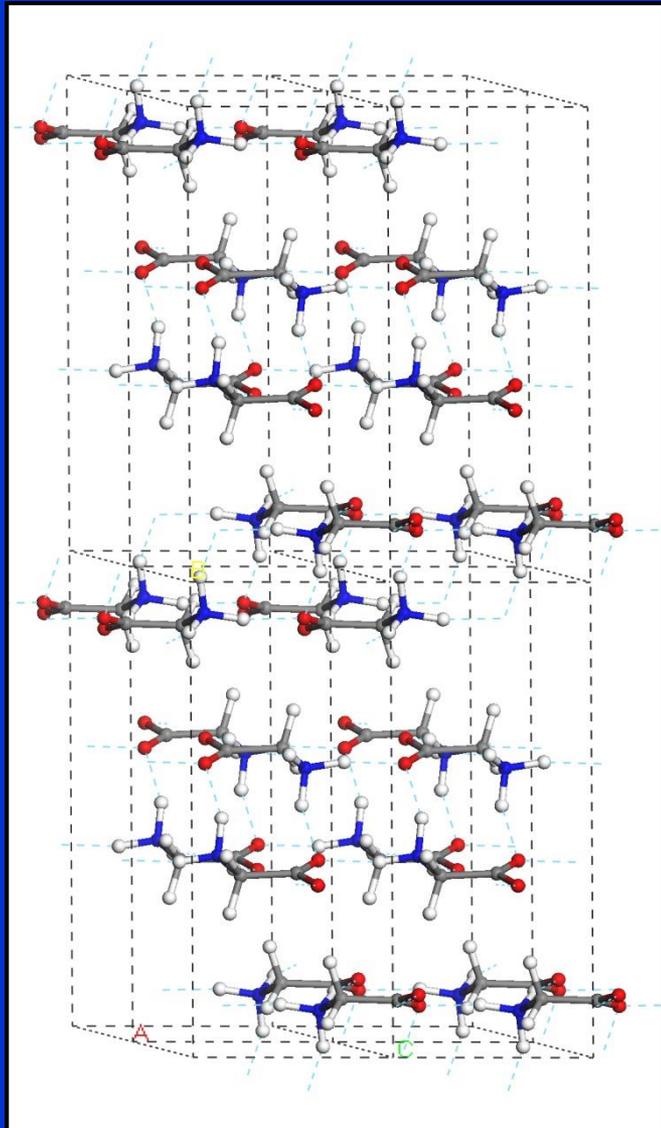
0.5% Glicina:CH₄



B.Maté, et al.
PCCP, 13 12268, 2011.

Cálculo espectro IR del cristal de Glicina

Cálculos DFT :
Programa CASTEP de Material Studio



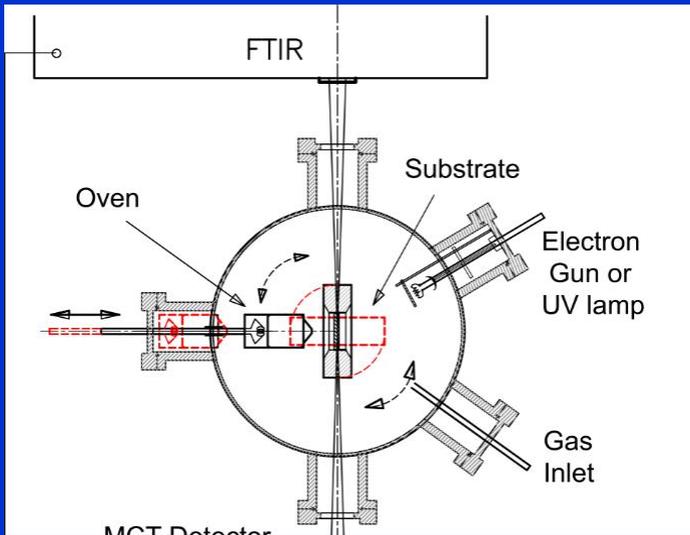
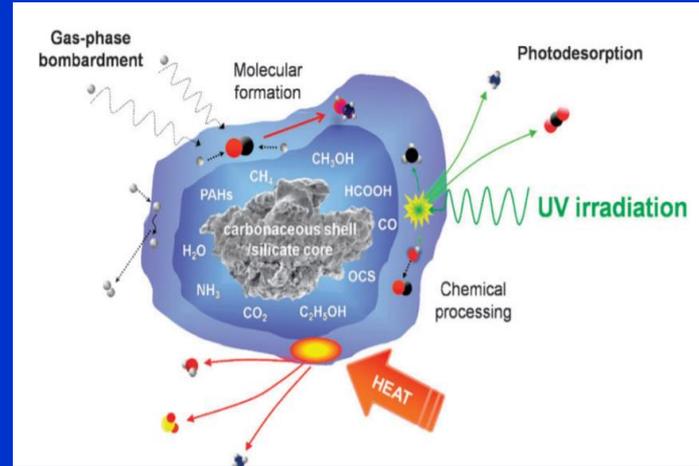
También es posible simular
hielos amorfos! *Amorphous cell*

Lineas de investigación:

2) Estudio de la estabilidad de moléculas complejas en hielos

Procesado energético de hielos

En el laboratorio simulamos el campo UV del medio interestelar o Rayos cósmicos mediante:



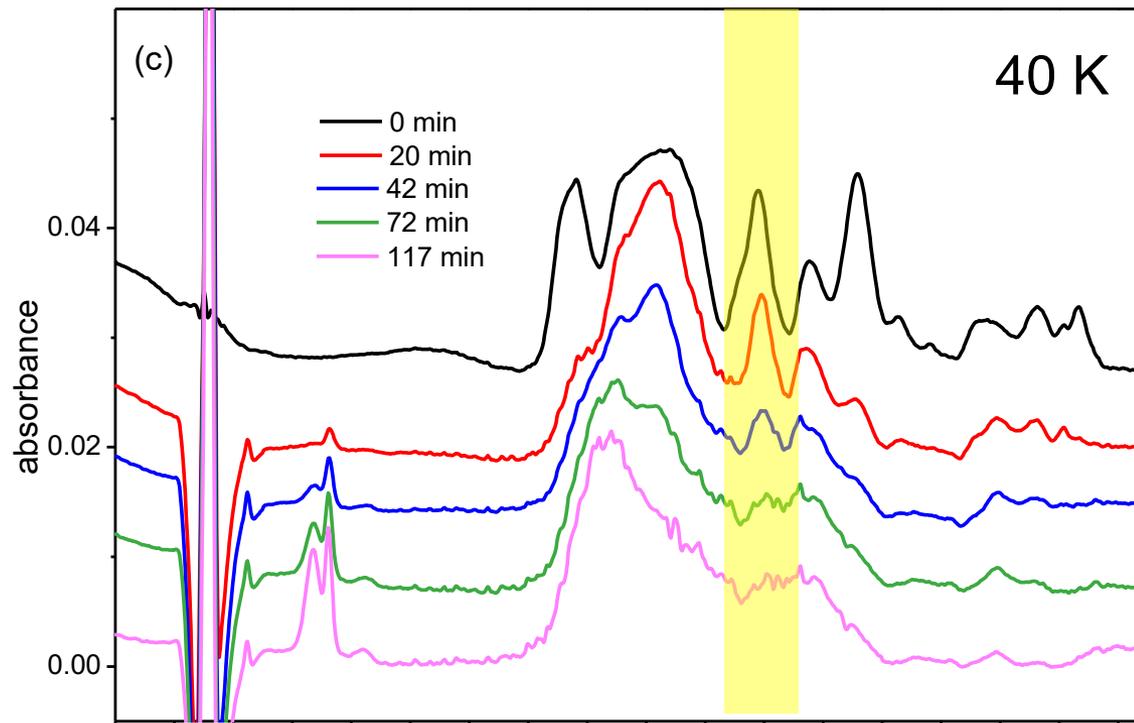
lámpara UV
6.3-10.9 eV



cañón de electrones
5 keV electrons

Procesado de glycina a 40 K con electrones de 2 keV

Siguiendo el decaimiento de la intensidad de las bandas IR en función del tiempo de procesado obtenemos secciones eficaces de destrucción



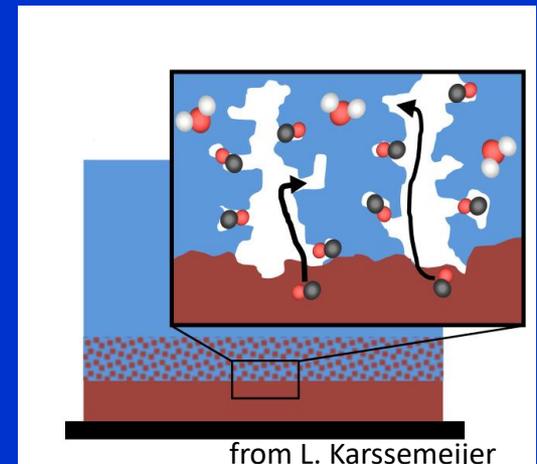
En nubes densas, el aminoácido podría tener la oportunidad de sobrevivir hasta la fase protoestelar y luego ser incorporado al material del disco protoplanetario.

Lineas de investigación:

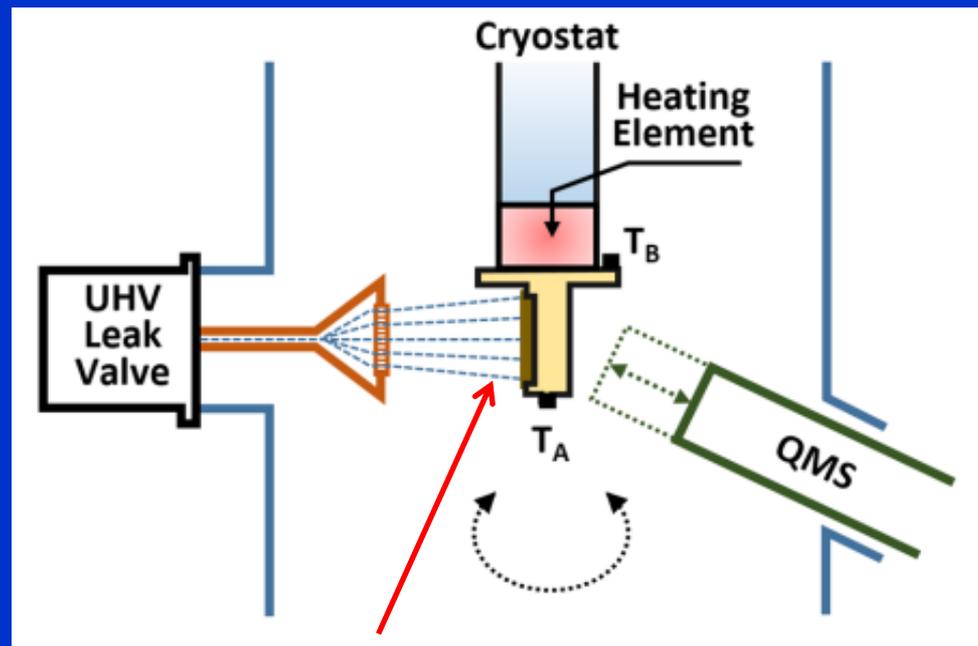
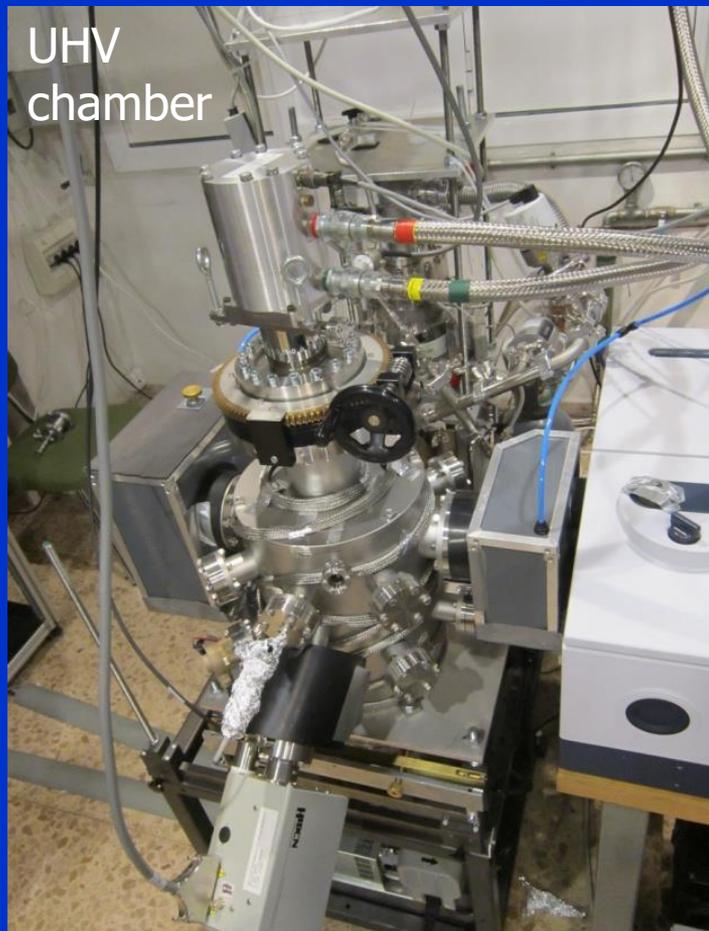
3) Energías de interacción
de moléculas con superficies hielo o polvo.

4) Difusión de moléculas volátiles en hielos menos volátiles.

Difusión de
CO en H₂O.

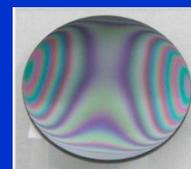


Desorción térmica programada (TPD) de N_2 , CO , CH_4 y CO_2 de superficies de polvo carbonáceo

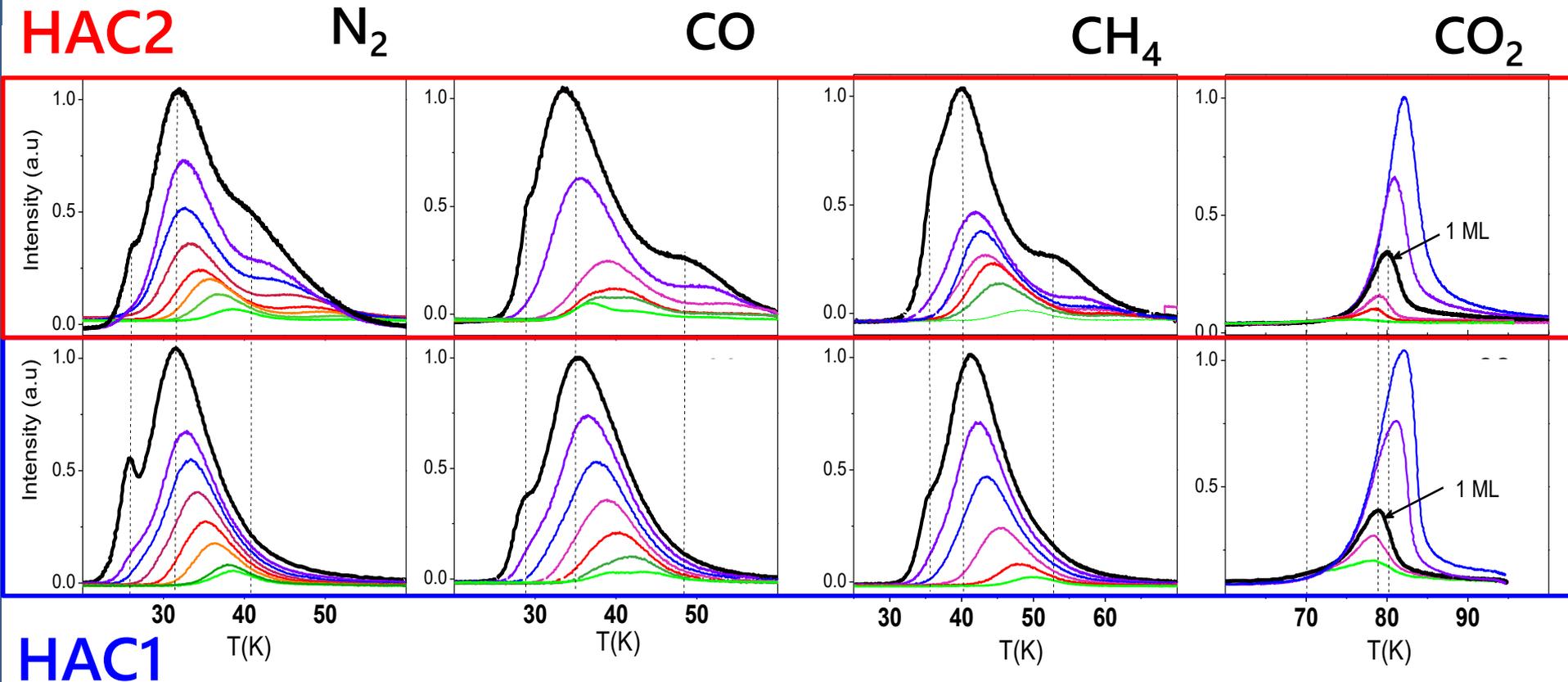


Sustrato de Al recubierto de polvo: carbono amorfo hidrogenado generado en el laboratorio de plasmas del IEM

- Turbomolecular pump: $S=700 \text{ l s}^{-1}$ for N_2
- He closed cycle cryostat: 15-300 K
- Precision leak valve : down to $10^{-10} \text{ mbar l s}^{-1}$
- Base pressure, $P_b \approx 1 \cdot 10^{-10} \text{ mbar}$



Desorción térmica programada (TPD) de N_2 , CO , CH_4 y CO_2 de superficies de polvo carbonáceo



Maté et al., MNRAS 490, 2936–2947 (2019)

De estos experimentos se extrae
la distribución de energías de interacción
molécula-superficie,

necesaria para entender el equilibrio gas-sólido en nubes densas y
para los modelos astroquímicos que describen la química gas-sólido

*Gracias por
vuestra
atención*



NASA, ESA, CSA, STScI; Joseph DePasquale (STScI), Anton M. Koekemoer (STScI), Alyssa Pagan (STScI).