

Hielos astrofísicos

Belén Maté

Departamento de Física Molecular
IEM-CSIC

belen.mate@csic.es

¿A qué llamamos hielo?



Hielo: Agua en estado sólido

Definición Científica

Hielo: se dice de una fase sólida de una sustancia que se presenta en estado líquido o gas a temperatura ambiente.

Por ejemplo: metanol (CH_3OH), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), nitrógeno (N_2)...

Hielo en objetos astrofísicos

Predomina el hielo de agua, con pequeñas cantidades de moléculas sencillas congeladas (NH_3 , CO_2 , CO , N_2 and CH_4).

- Planetas y Satélites del Sistema Solar

- Núcleos cometarios



- Nubes densas del medio interestelar

Plutón: Objeto del cinturón de Kuiper

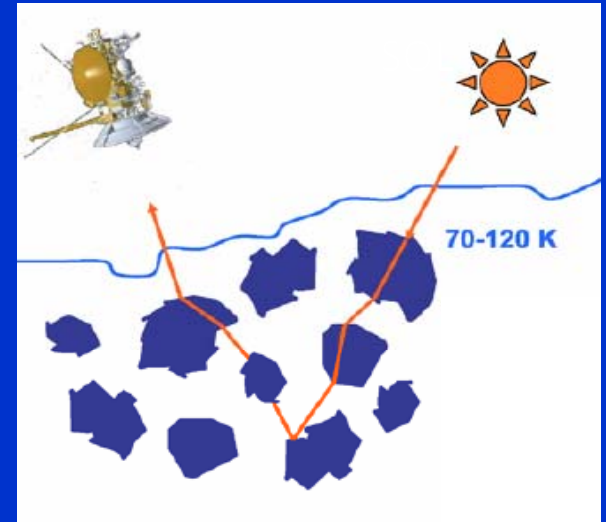
Distancia al Sol : 39,264 UA ($5,9 \times 10^9$ km)

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

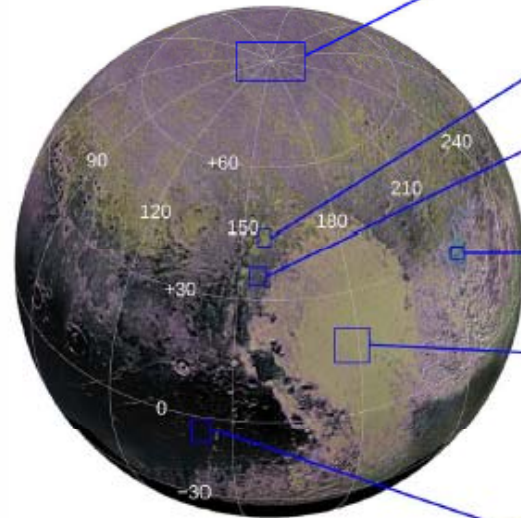
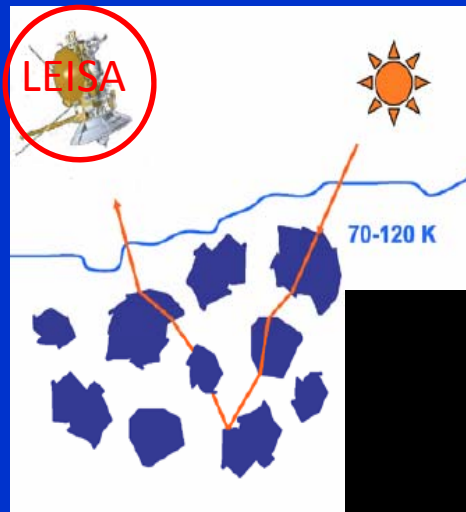
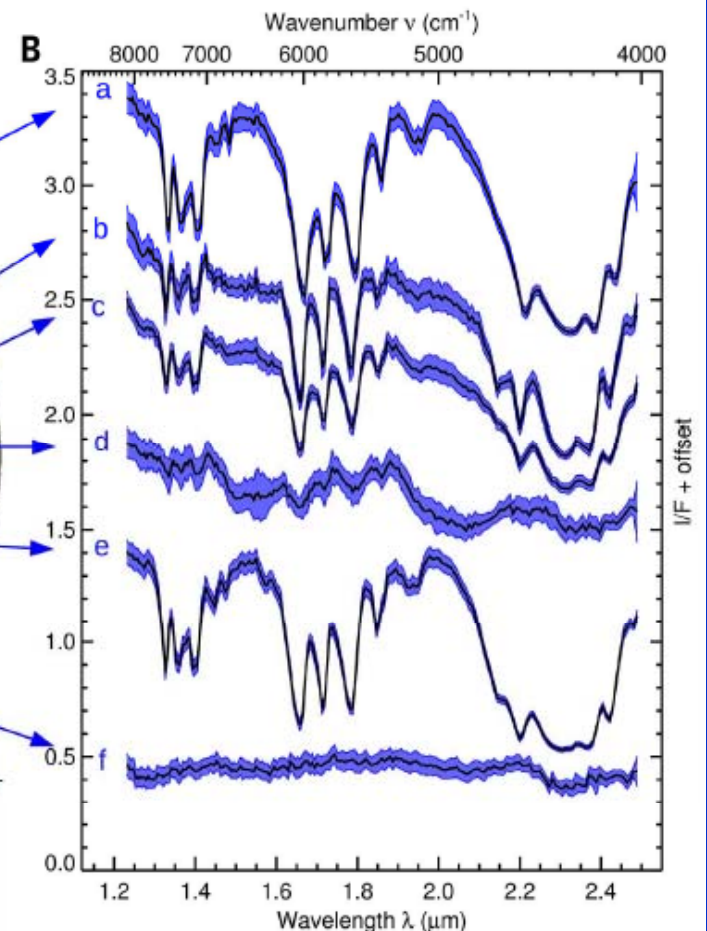


Fig. 3. LEISA spectra of Pluto. (A) Context map produced by averaging the red, green, and blue values from each of the colored maps across the bottom row in Fig. 1 and the right panel in Fig. 2.

LEISA: 1 - 3 μm Infrarrojo cercano



Nubes moleculares del medio interestelar

Gran riqueza química.

Mas de 200 moléculas observadas

Densidad “alta” (10^4 - 10^6 cm^{-3}) y
temperatura baja (10-50 K)

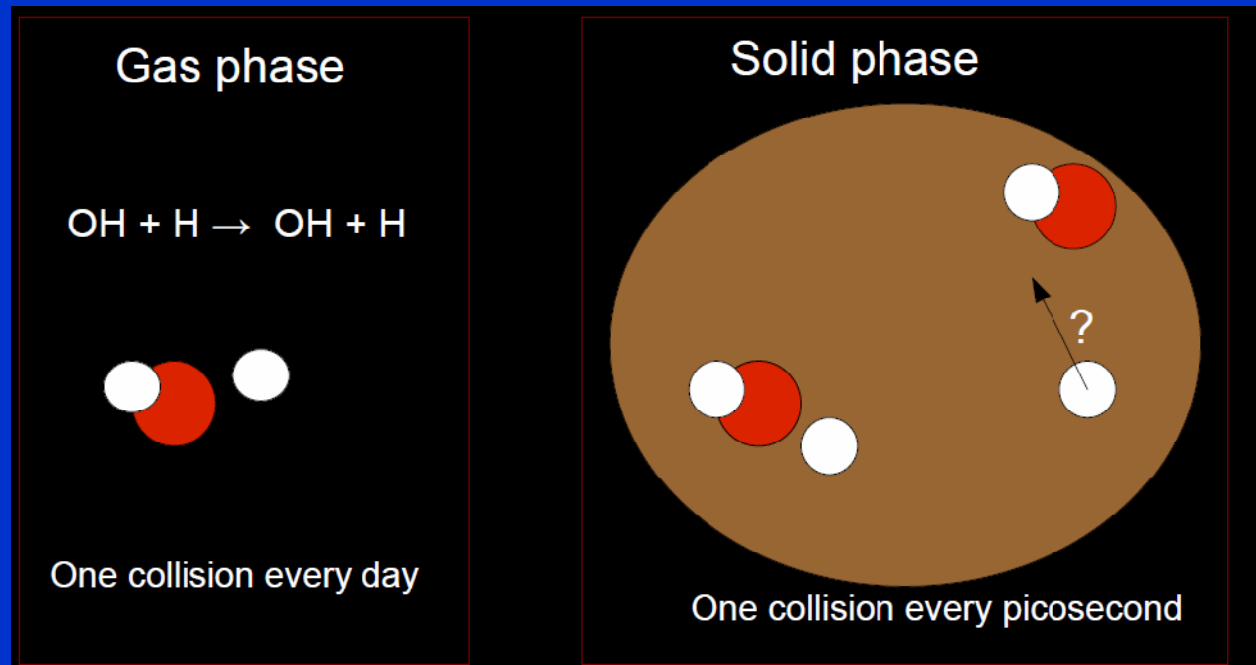
Los granos de polvo (silicatos,
carbonáceos) se recubren de
capas de “hielos” (volátiles)



Nota: 10^{19} cm^{-3} en superficie terrestre

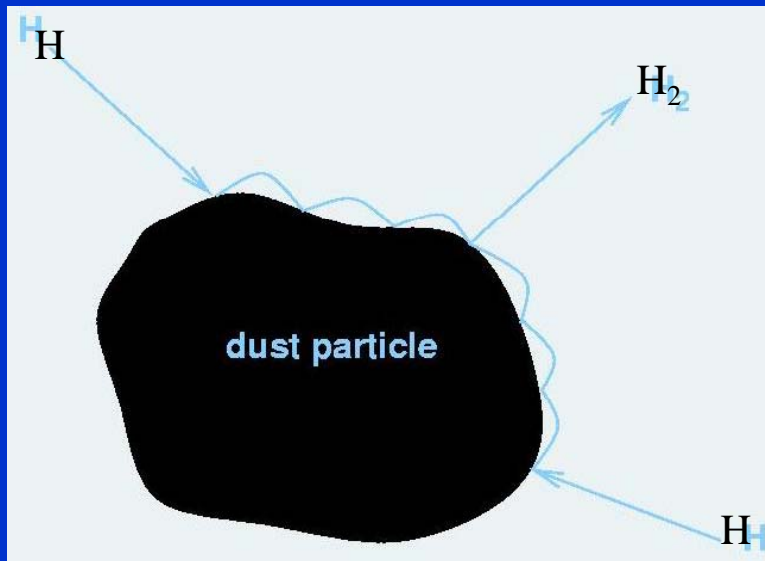
Química en nubes moleculares densas

En los mantos de hielo de los granos se catalizan reacciones

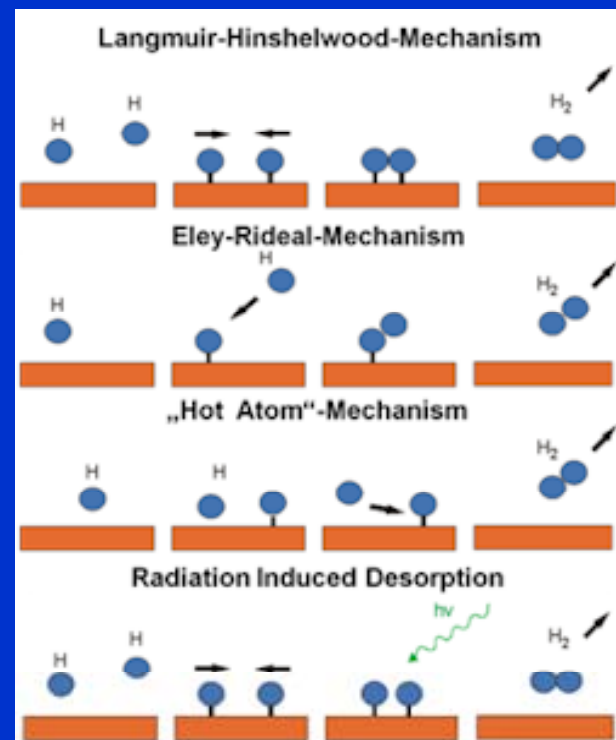


Síntesis de moléculas de hidrógeno

- H_2 es la molécula mas abundante
- En su mayor parte se forma en la superficie de los granos de las nubes moleculares densas



Mecanismos



Nubes moleculares densas

Imágenes de luz visible

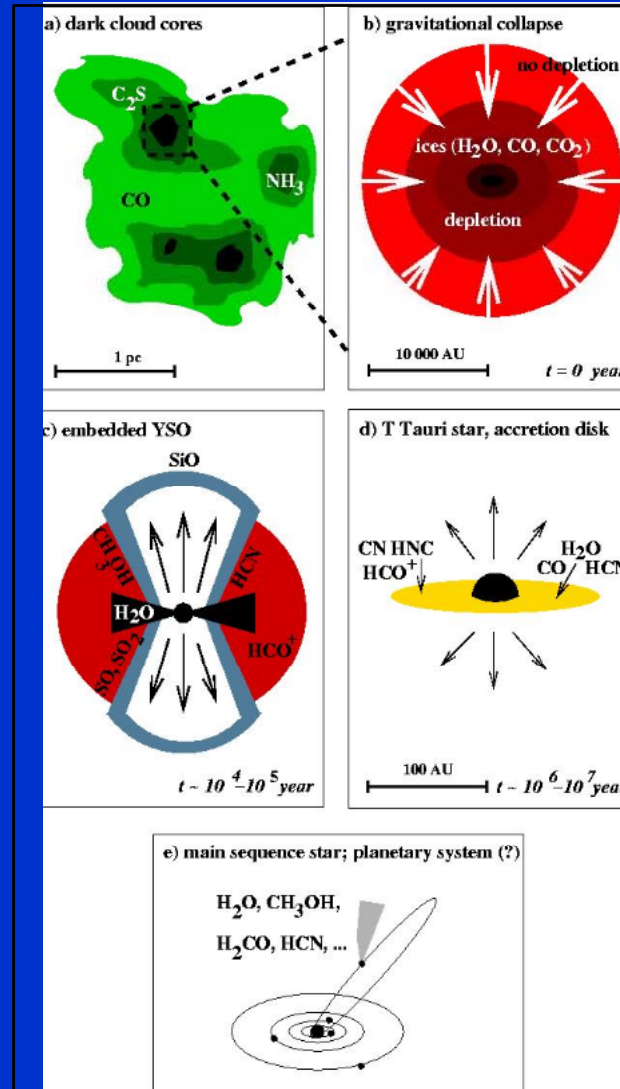


Barnard 68
(FORS Team, 8.2-meter VLT Antu, ESO)



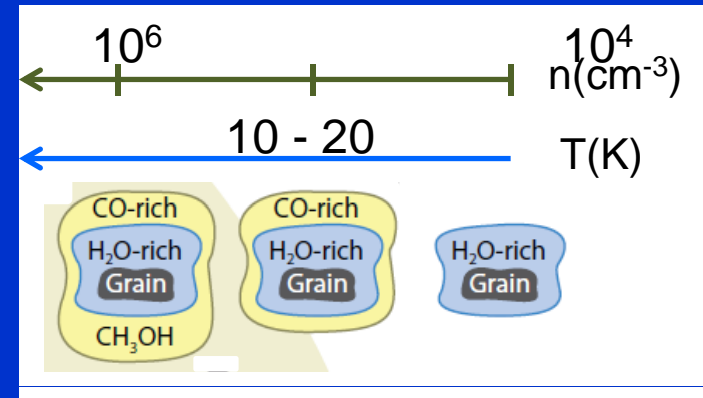
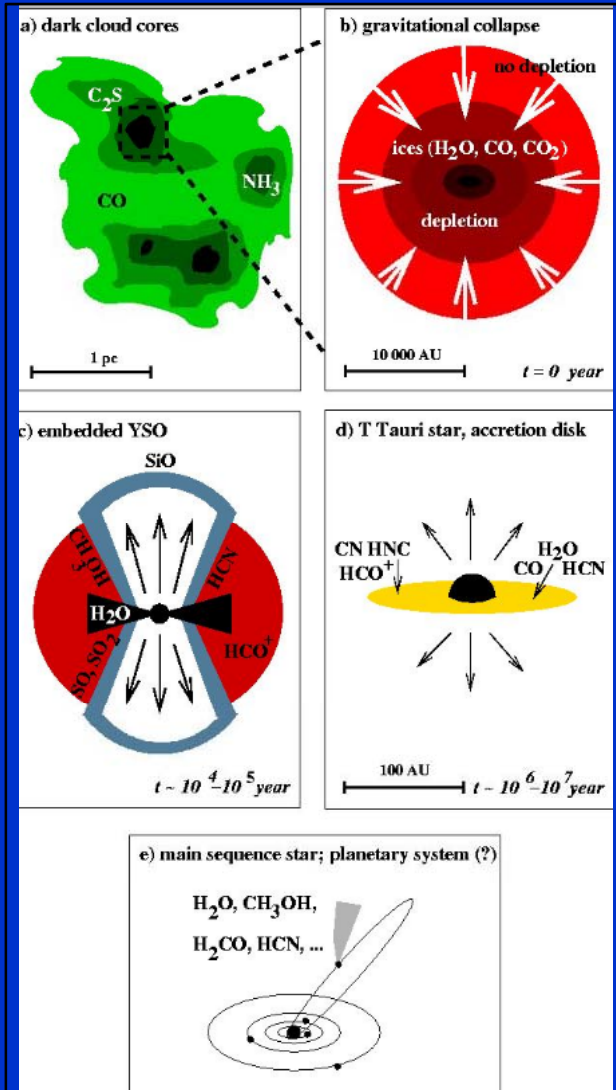
Horsehead Nebula (Nigel Sharp (NOAO),
NSF; Copyright: AURA).

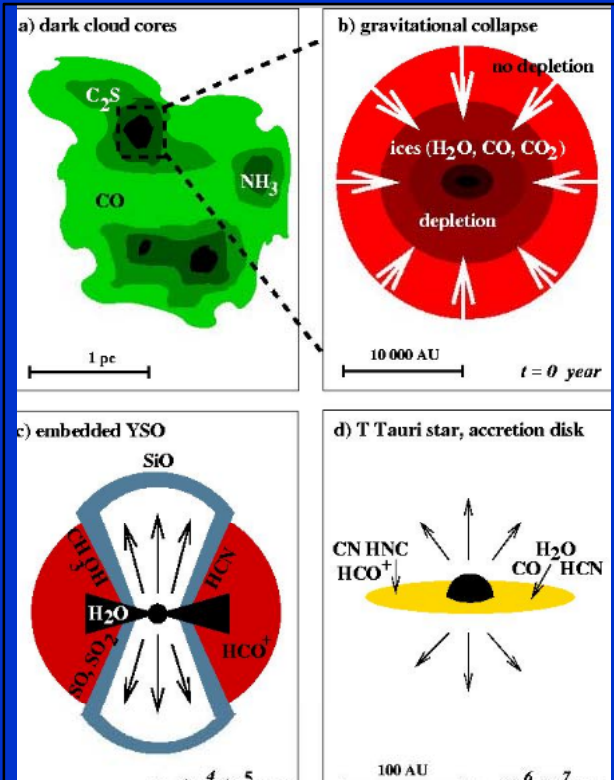
Las nubes densas son las regiones de formación estelar.



Las nubes densas son las regiones de formación estelar.

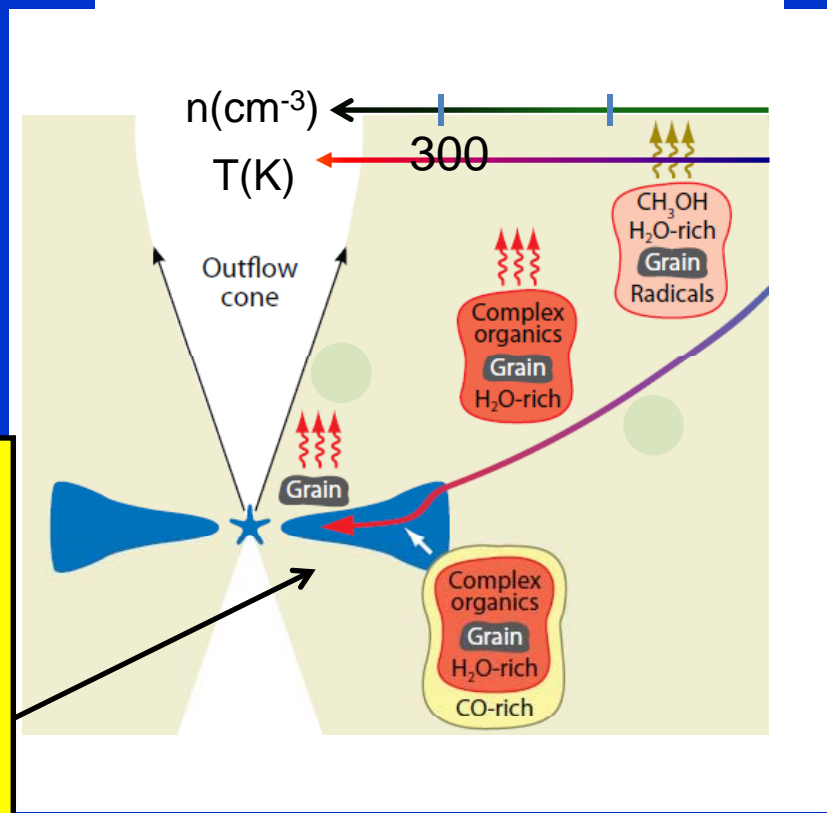
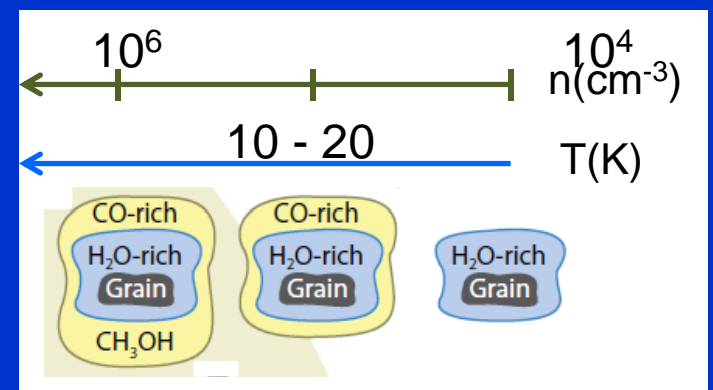
evolución del hielo interestelar





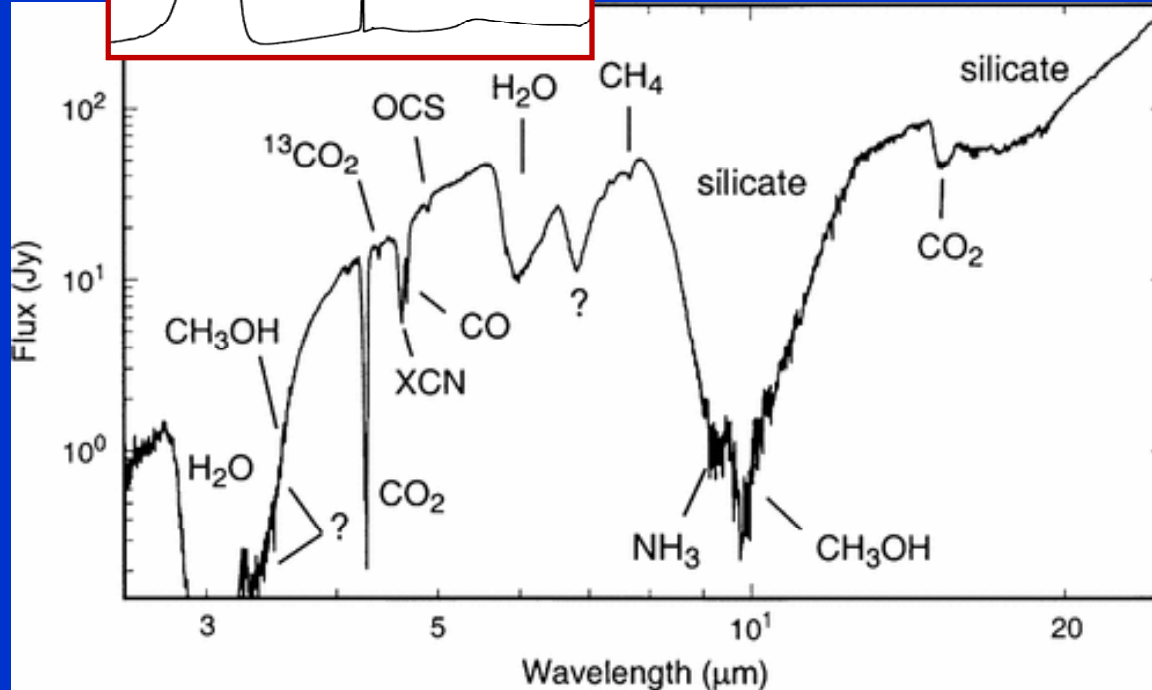
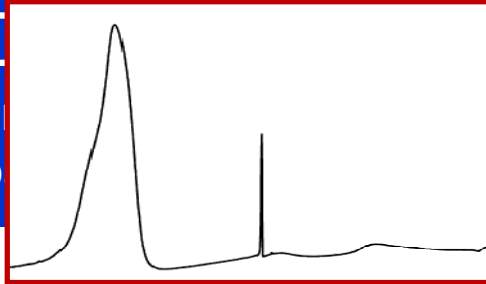
Algunos granos y sus hielos pueden viajar hacia el interior del disco protoplanetario, la región donde se forman los planetas

evolución del hielo interestelar



MID-IR spectrum of the protostar W33A

observed with the Infrared Spectrograph (IRS) on board the Spitzer Space Telescope



Gibb et al., 2000.

Exceptuando las bandas de silicatos a 10 and 18 μm , las absorciones son debidas a moléculas sencillas en el manto de hielo

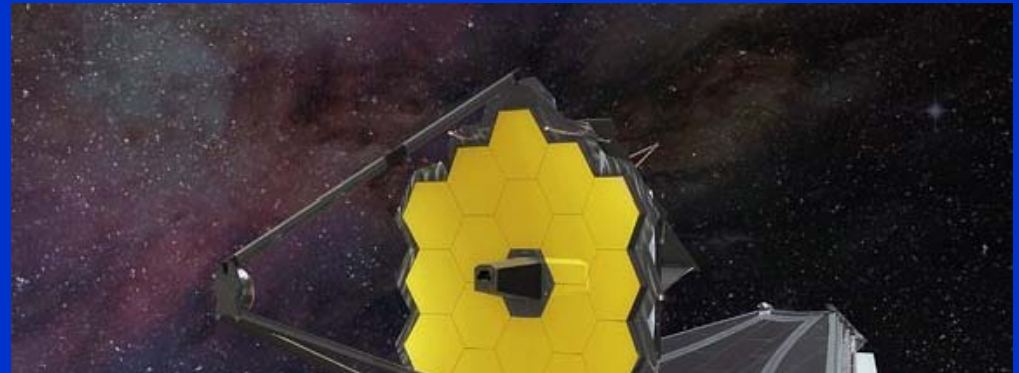
James Webb (JWST)

diseñado principalmente para realizar **astronomía infrarroja**.

Programa dirigido por NASA con colaboración de [ESA \(European Space Agency\)](#) y [Canadian Space Agency](#).

Es el telescopio con mayor resolución infrarroja y sensibilidad jamás lanzado al espacio

Lanzamiento: 25 dic 2021
Actualidad: pruebas y alineación, enfriamiento.
Operativo: mayo 2022



Estudiará:
formación de las primeras galaxias,

formación de estrellas y planetas

exoplanetas

**NEW MISSION
JAMES WEBB SPACE TELESCOPE
POSSIBLE DETECCION de
MOLECULAS ORGÁNICAS COMPLEJAS
(6 átomos o más, con C, H, O)
EN HIELOS**

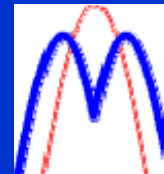
Técnicas de Investigación

Experimental

Teórica



Simulación en el laboratorio
de los distintos sistemas
astrofísicos.

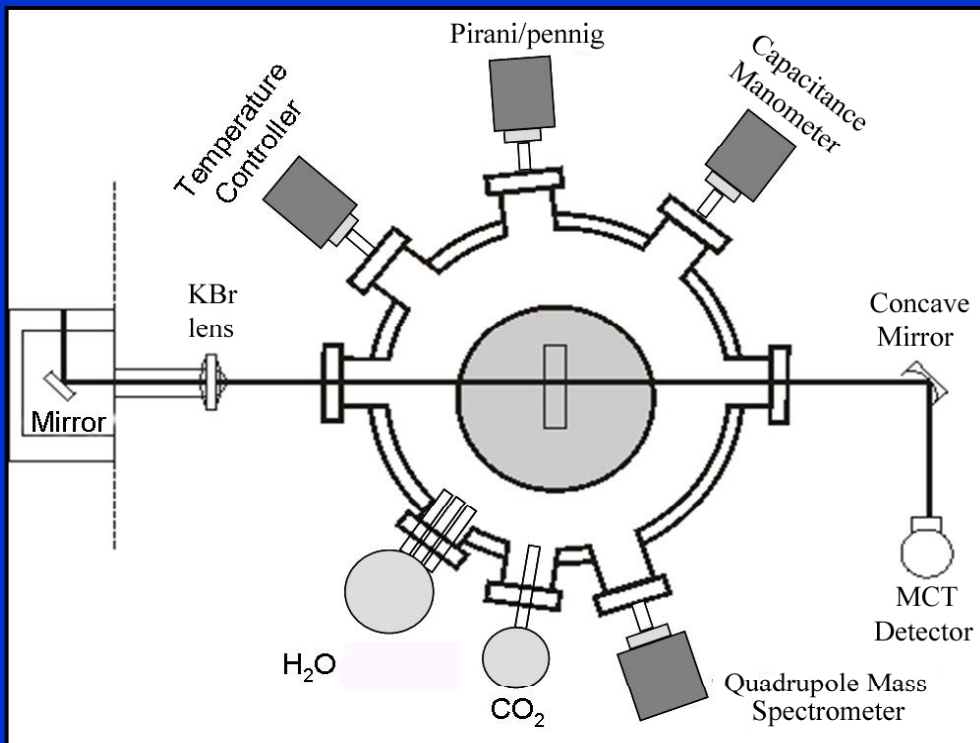


Diferentes programas *ab initio*:
(SIESTA, CASTEP, GAUSSIAN,
MOLPRO...)

Sistema experimental

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

Temperatura controlada entre: 6 -300 K

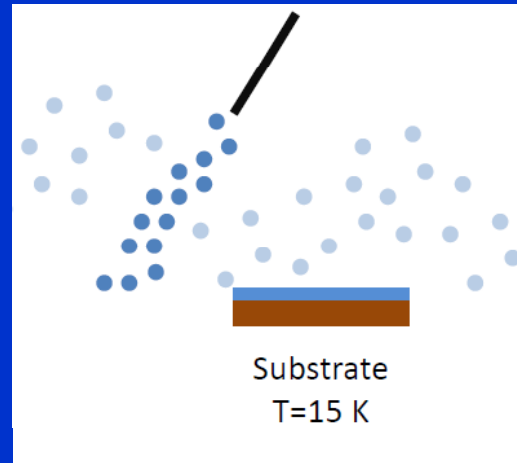
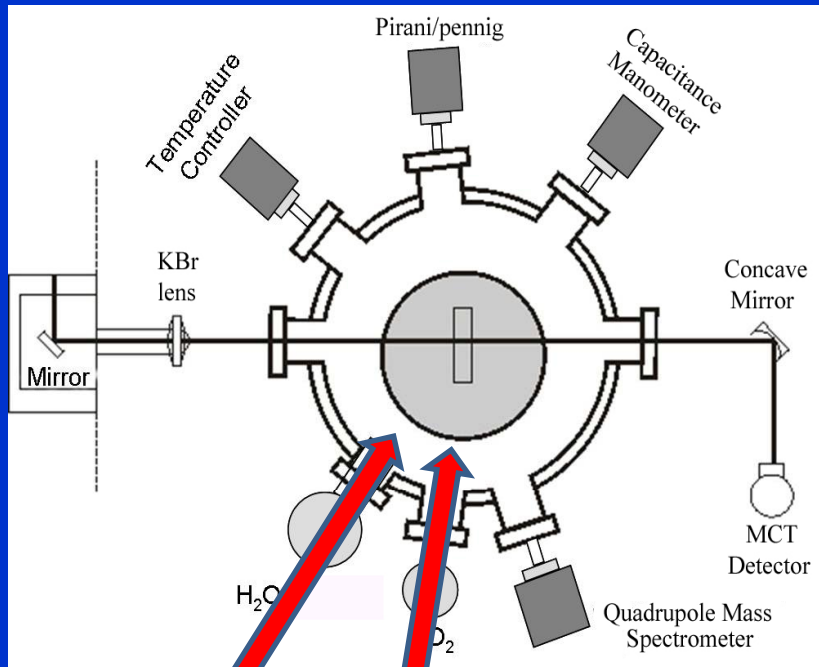


CARACTERIZACIÓN:

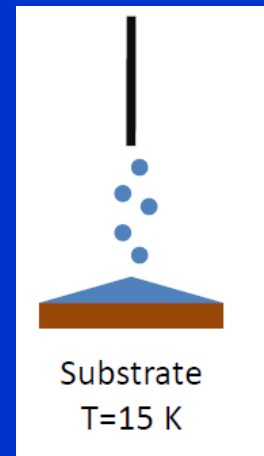
**ESPECTROSCOPÍA
INFRARROJA
TRANSMISIÓN O
REFLEXIÓN-ABSORCIÓN**

**ESPECTROMETRÍA
DE MASAS**

Generación hielos por depósito desde fase vapor



Depósito indirecto

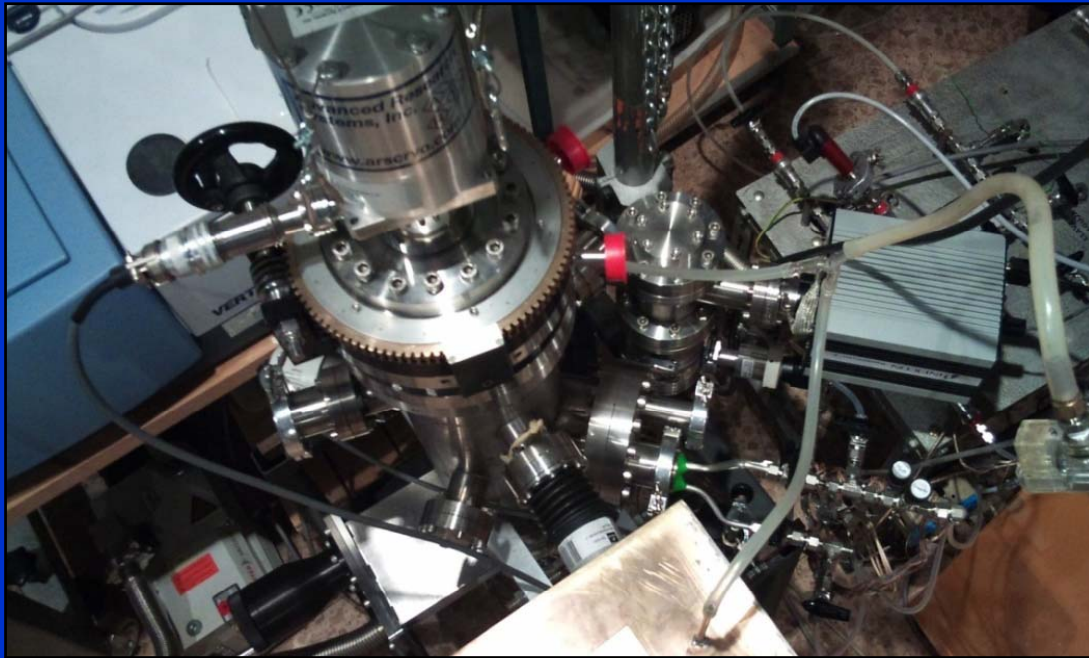


Depósito directo

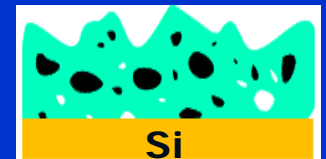
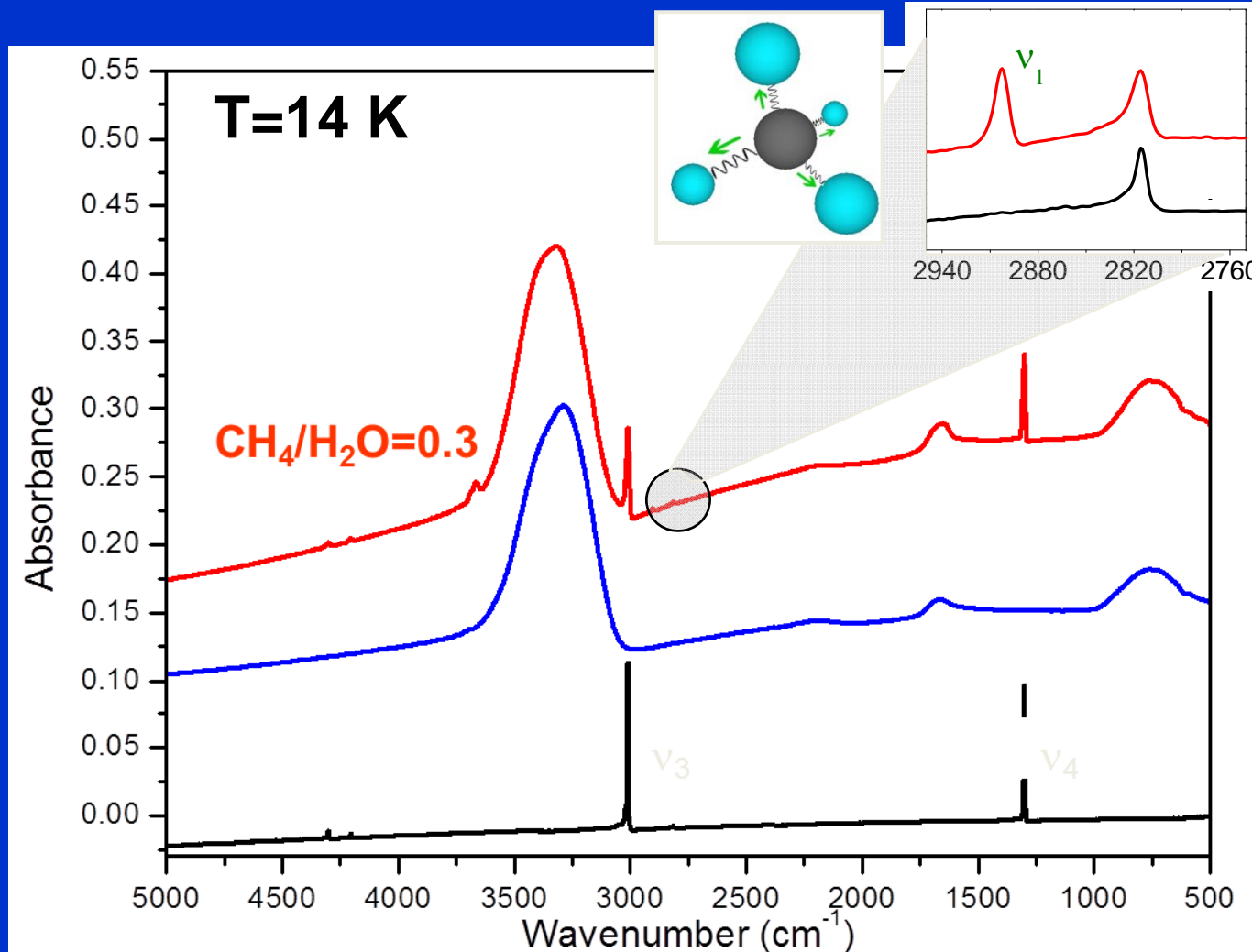
El método de depósito varía las propiedades del hielo!

Sistema experimental

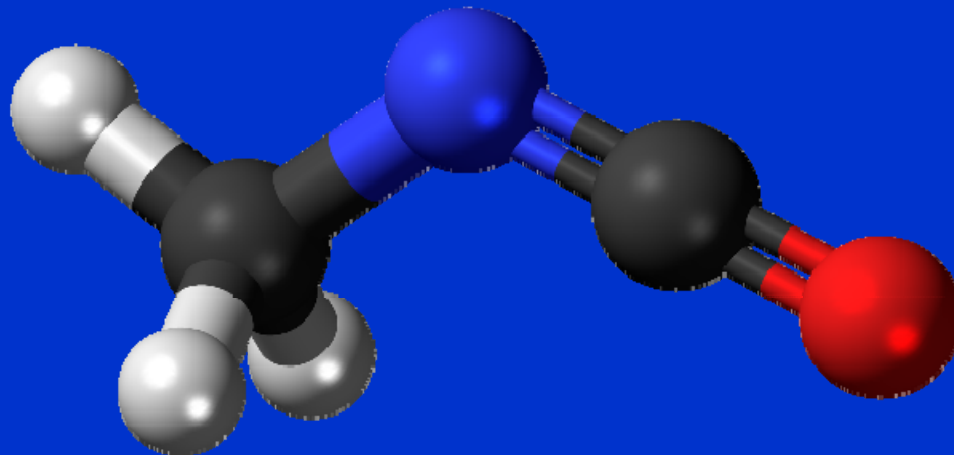
Simulación de entornos astrofísicos



Ejemplo: Hielo de metano y agua a 14 K



Ejemplo:
Hielos de isocianato de metilo



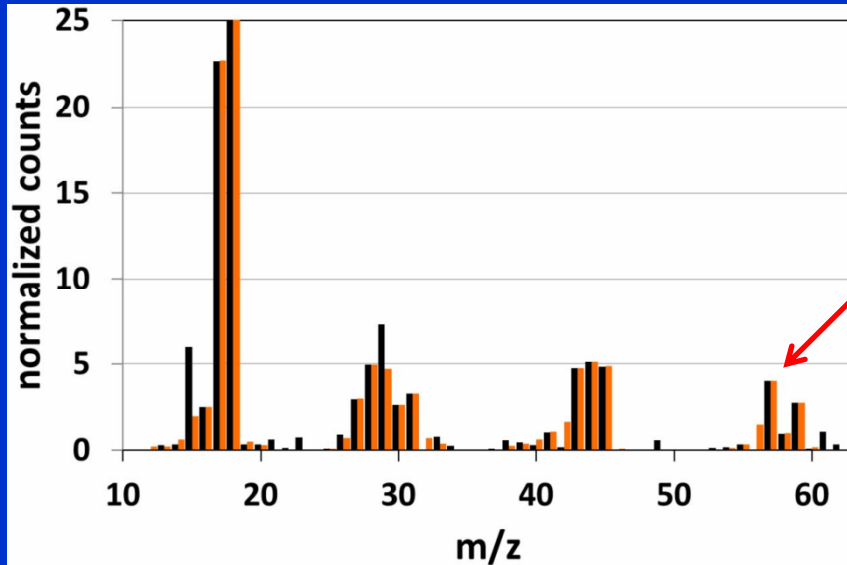
Mision Rossetta al cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko"

Lanzamiento: 2 Marzo 2004

Llegada al cometa: 6 Agosto 2014

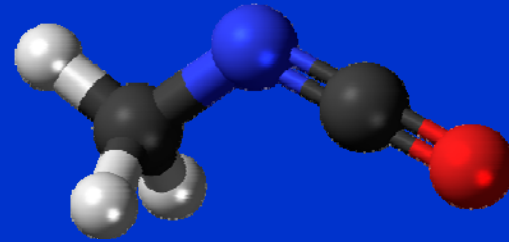


*Credits: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team
MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA*



Formula	Molar mass (u)	MS fraction	Relative to water
H ₂ O	18	80.92	100
CH ₄	16	0.70	0.5
HCN	27	1.06	0.9
CO	28	1.09	1.2
CH ₃ NH ₂	31	1.19	0.6
CH ₃ CN	41	0.55	0.3
HNCO	43	0.47	0.3
CH ₃ CHO	44	1.01	0.5
HCONH ₂	45	3.73	1.8
C ₂ H ₅ NH ₂	45	0.72	0.3
CH ₃ NCO	57	3.13	1.3
CH ₃ COCH ₃	58	1.02	0.3
C ₂ H ₅ CHO	58	0.44	0.1
CH ₃ CONH ₂	59	2.20	0.7
CH ₂ OHCHO	60	0.98	0.4
CH ₂ (OH)CH ₂ (OH)	62	0.79	0.2

CH₃NCO se ha detectado:



- En la superficie del cometa 67P/Churimov-Gerasmenko.

F. Goesmann et al., Science, 2015

- En fase gas en la nube densa hacia la protoestrella IRAS 16293-22422 B

R. Martín-Doménech et al., MNRAS, 2017

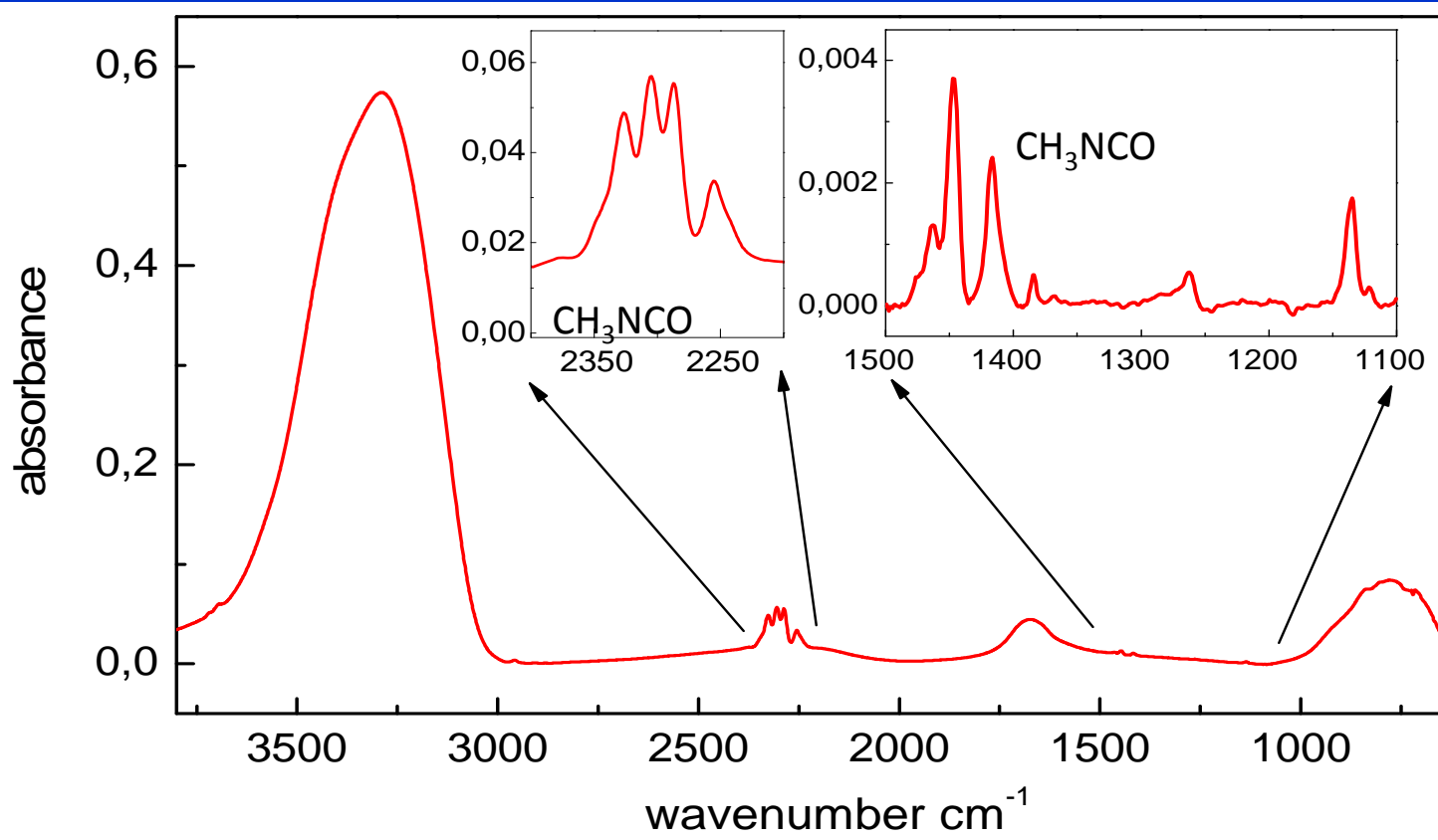
**Puede estar presente en los mantos de hielo del
Las nubes densas del medio interestelar???**



Es necesario conocer las características espectrales en el IR del hielo de esta especie

Metil isocianato diluído en agua a 20 K

H_3NCO (1.3%) / H_2O



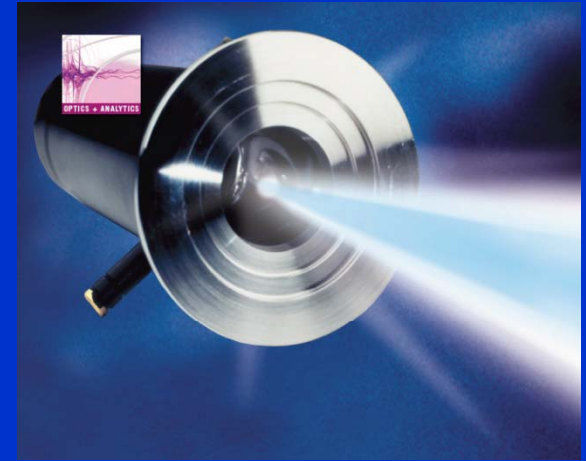
La misma
proporcion de
agua que en el
cometa 67P/CG.

Posee una
banda
característica
claramente
reconocible
 ν_a -NCO

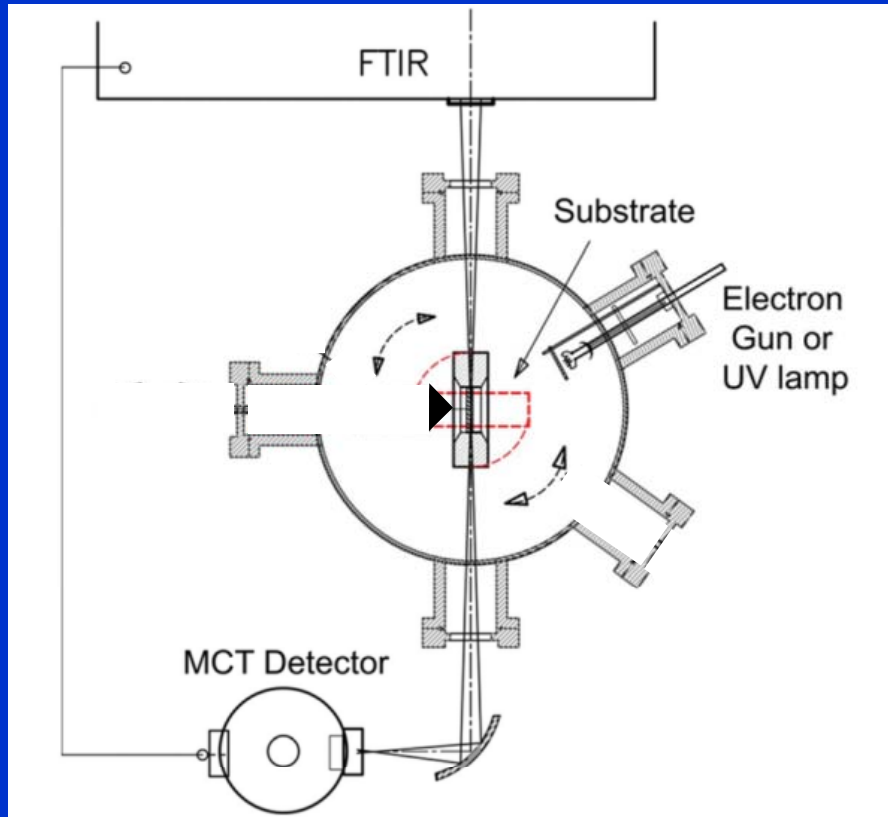
La molécula es un buen candidato para futuras búsquedas astronómicas
Buscar una banda cuádruple entre 4.11-4.63 μm

Procesado energético de hielos en el espacio : radiación UV y rayos cósmicos

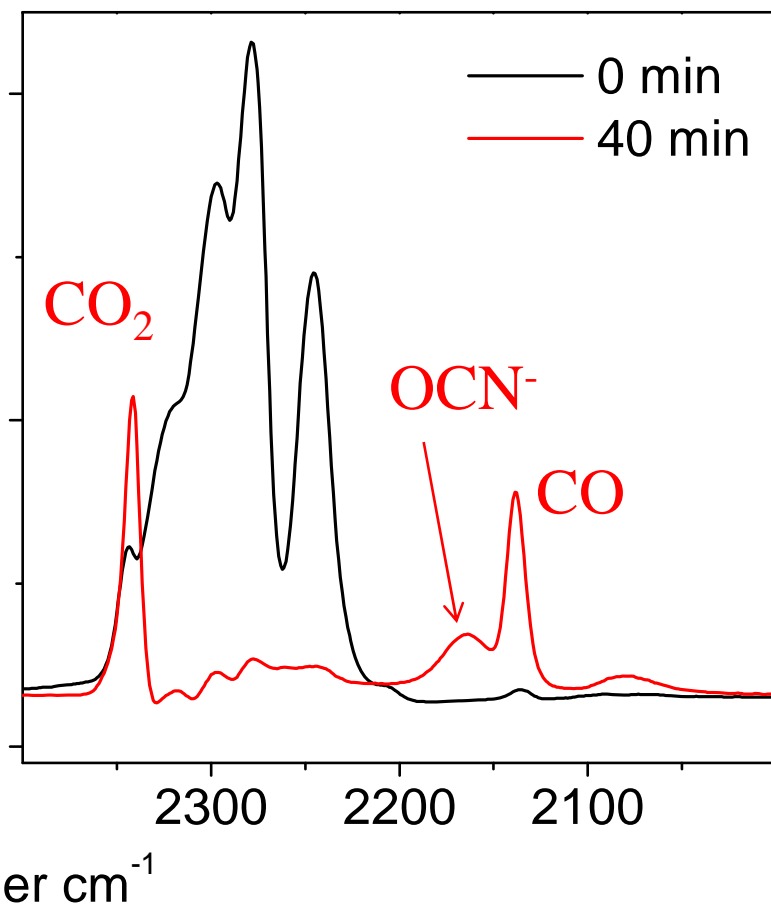
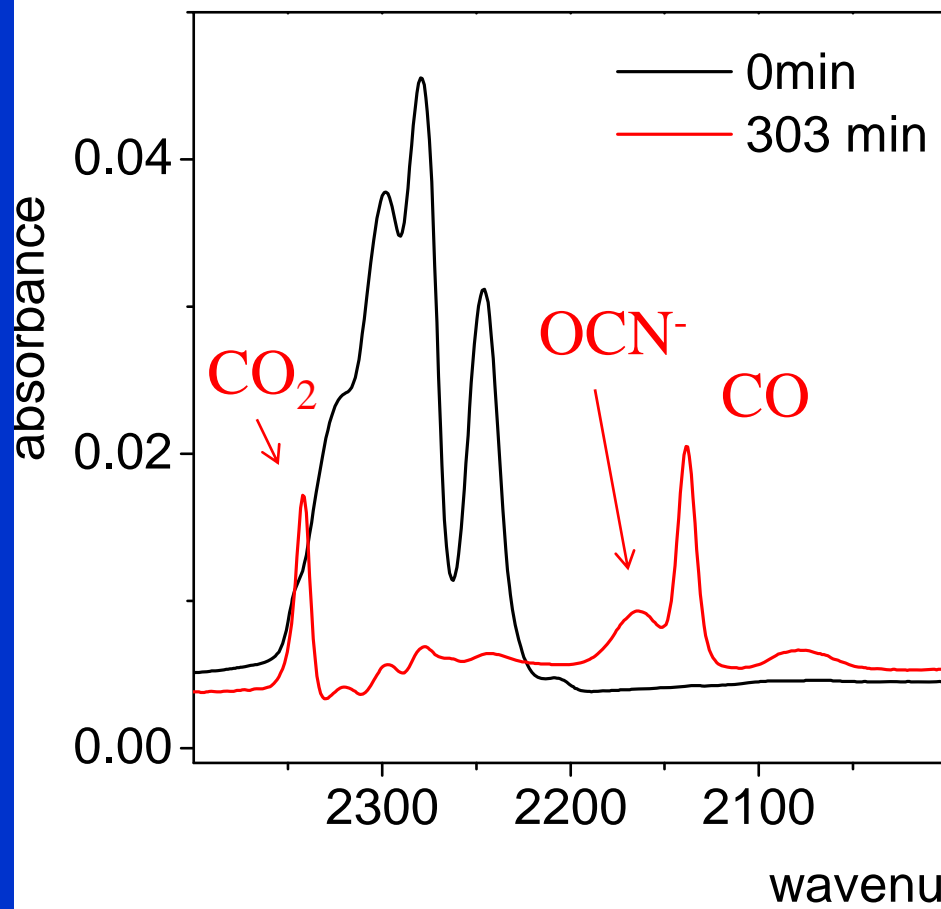
Simulamos el campo UV en el medio interestelar o los rayos cósmicos.



lámpara UV



cañón de electrones



Se forman CO₂, OCN⁻, y CO.

Vida media de CH₃NCO diluido en hielo de agua Estimada para diferentes entornos astrofísicos

Location of ices in space	Lifetime (yr)	UV ^a Dose rate (eV (16amu) molec ⁻¹ yr ⁻¹)	UV CH ₃ NCO half-life (yr)	CR ^a Dose rate (eV (16amu) molec ⁻¹ yr ⁻¹)	CR CH ₃ NCO half-life (yr)
Cold dense Cloud (15 K)	3 x 10⁷	4 x 10 ⁻⁷	2.8 x 10⁸	1.6 x 10 ⁻⁷	2.5 x 10⁷

^a from Moore, M. H., Hudson, R. L., & Gerakines, P. A., *Spectrochim. 2001, Acta A, 57, 843*

Con las vidas medias obtenidas, CH₃NCO en los mantos de hielo de nubes densas probablemente llegaría a sobrevivir hasta el colapso gravitatorio de la nube.

Maté et al., *Astrophysical J.*, 861:61 (2018)





Víctor Herrero
Isabel Tanarro
Juan Ortigoso
Vicente Timón
Ramón Peláez

IEM



<http://www.iem.cfmac.csic.es/fismol/fmap/>

