

Observando nuestro Sistema Solar con los Ojos de Herschel

Miriam Rengel

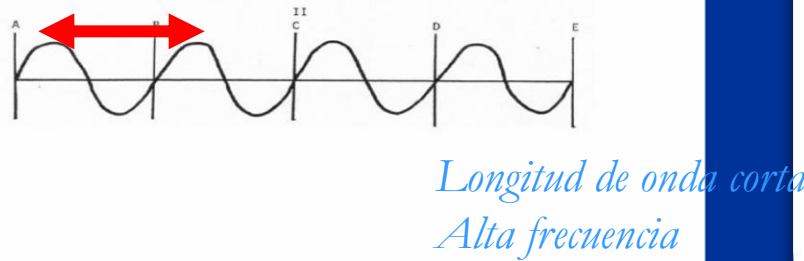
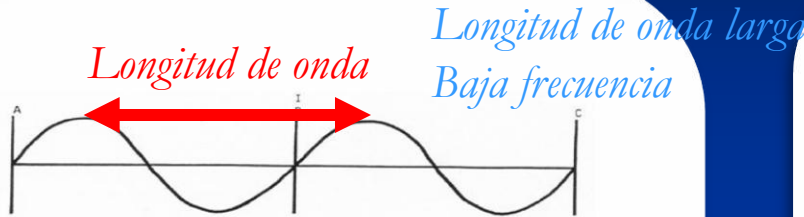
Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung
Alemania



- Introducción
 - La Radiación Electromagnética- Los Principios del Senseo Remoto – El método para obtener los parámetros
- El Observatorio Espacial Herschel– 3 Programas de interés
 - Observaciones de las atmósferas de planetas
 - Observaciones de cometas
 - Observaciones de Objetos Trans-neptunianos
- Futuro de las observaciones en la región del mm/submm

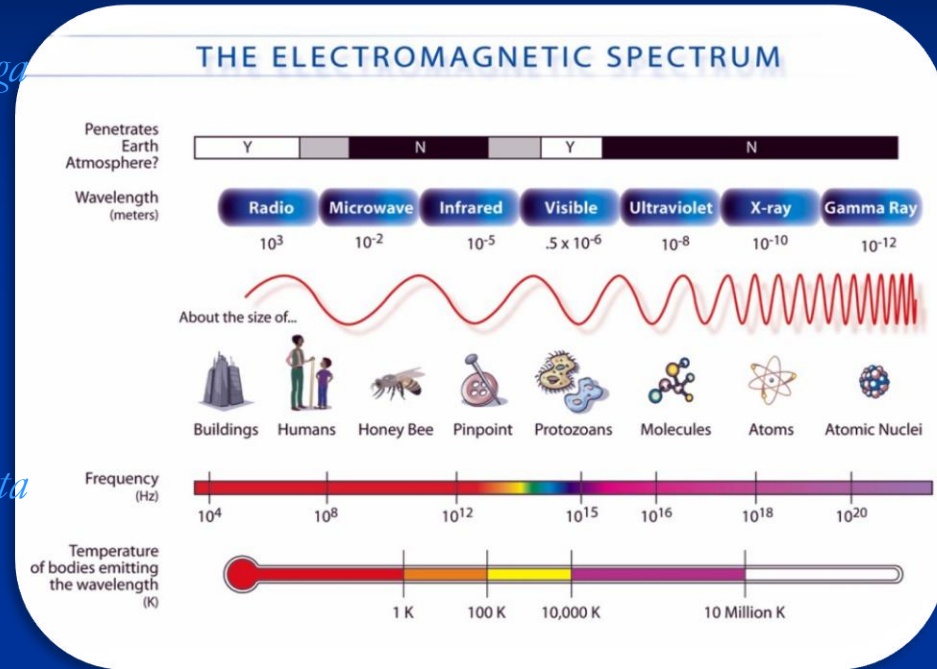
La Radiación Electromagnética

Qué es la región del sub-mm/mm?



Microondas

Sub-mm: 0.1mm – 1mm
 mm: 1mm – 10mm
 Cm: 1cm - 10cm



300 GHz- 3 THz

30 GHz -300 GHz

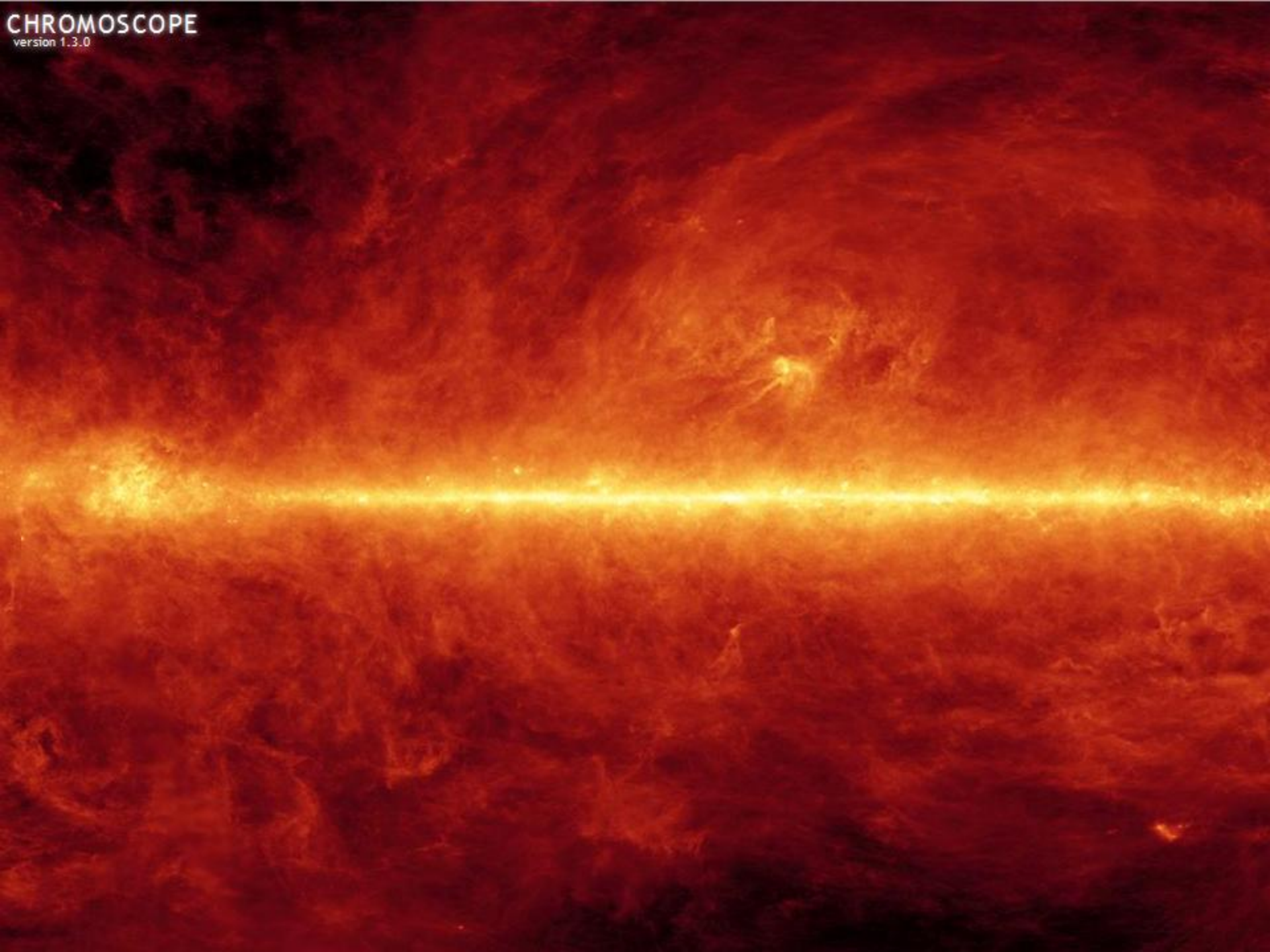
3 GHz - 30 GHz

$$f = c / \lambda$$

1 G = 10⁹ = mil millones

c = 300.000 Km/s

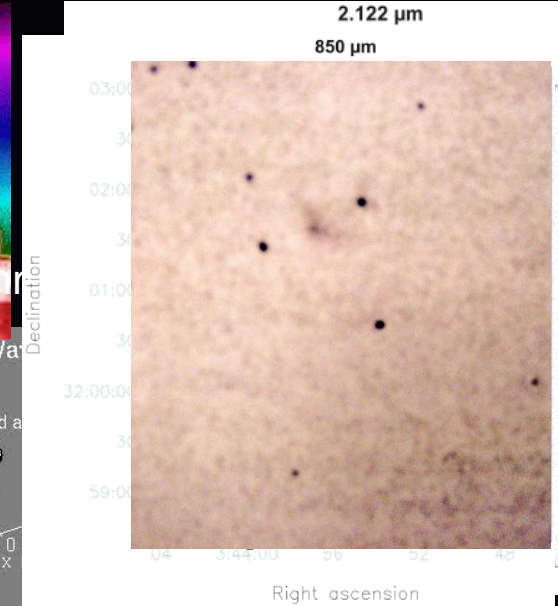
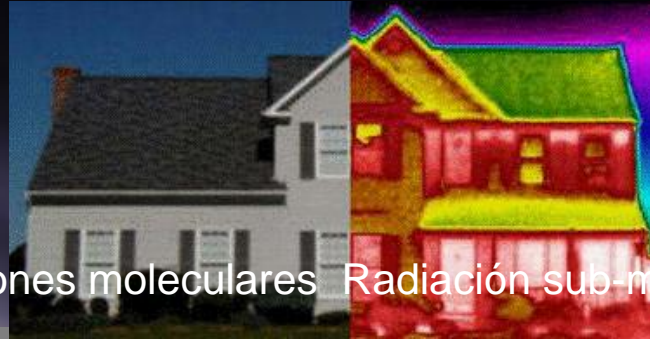




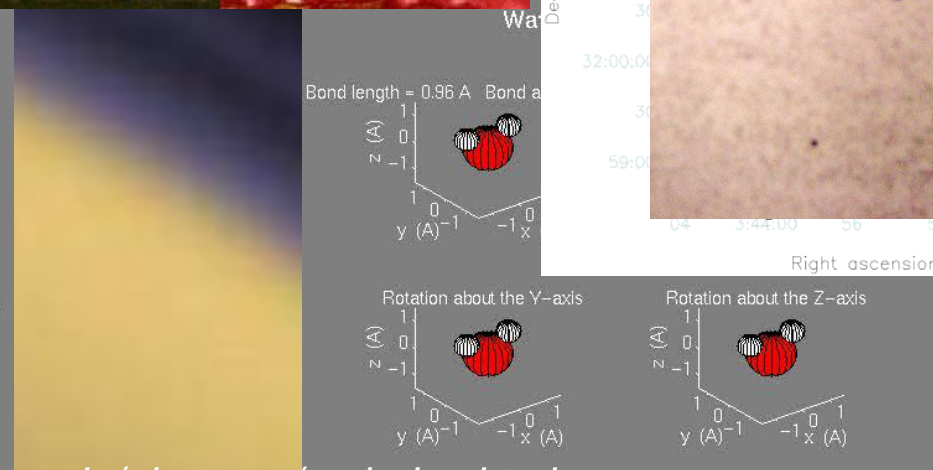
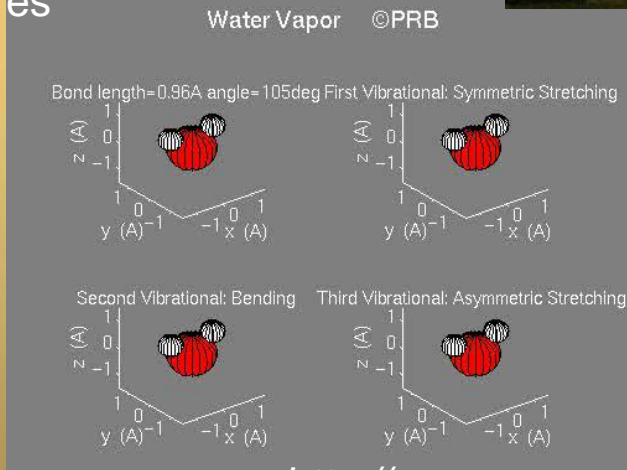


Qué detectamos en la región del sub-mm y lejano infrarrojo?

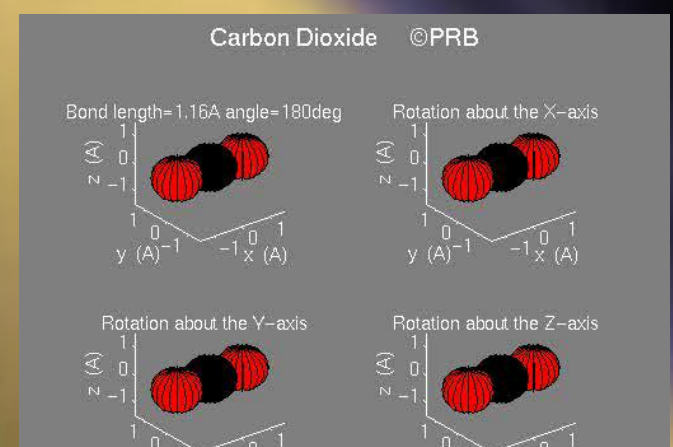
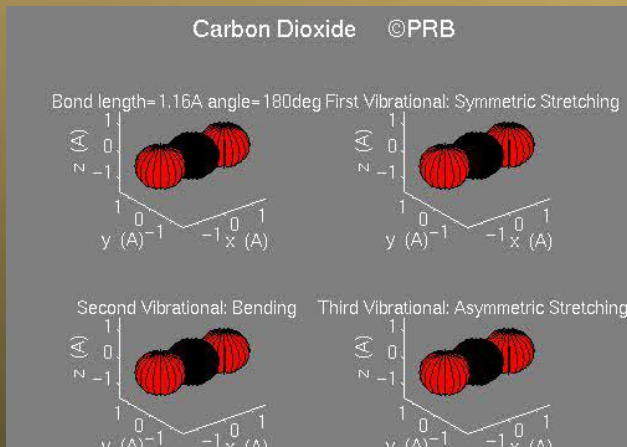
Radiación térmica!!!!



Radiación IR interactúa con vibraciones moleculares



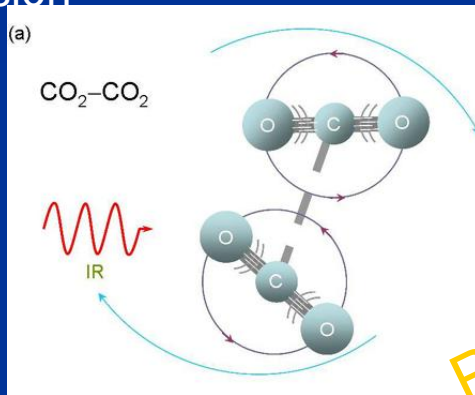
<http://www.ems.psu.edu/~bannon/moledyn.html>



Pero, cómo se forma un espectro?

La absorción de los gases es debido a las bandas de vibración-absorción y a las absorciones inducidas por las colisiones .

Dos moléculas de CO_2 vibrando las cuales interceptan *radiación IR* (onda roja) durante una colisión



La radiación es absorbida:

La mitad es transferida a la rotación de las moléculas

La otra mitad va a la traslación (lo que hace que las moléculas se muevan más rápido)

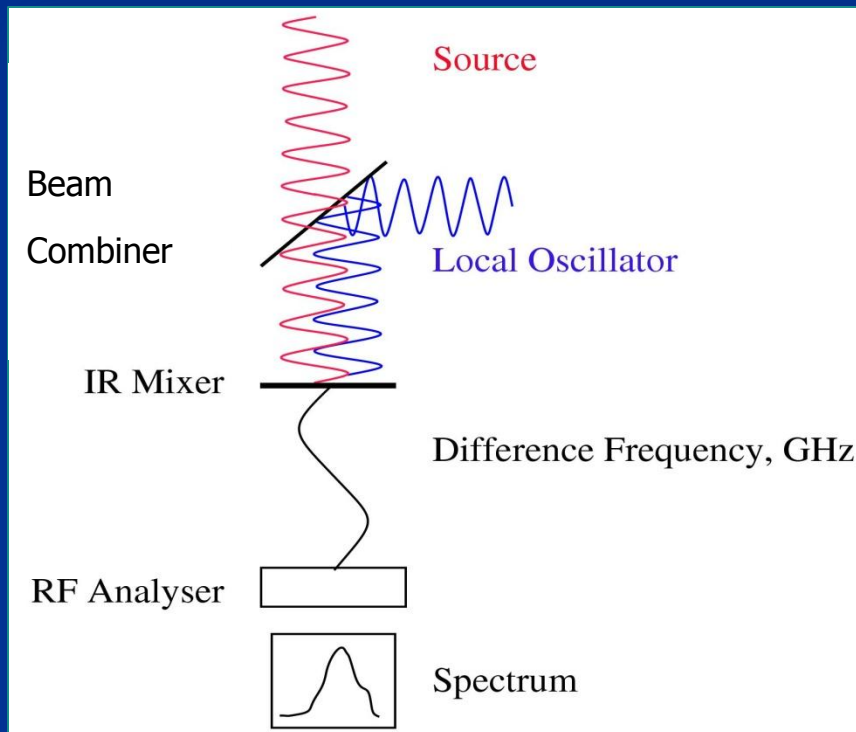
Pero, cómo se detecta una emisión tan débil?

Necesitamos:

- Para obtener el perfil de la temperatura:
resolver la forma del espectro
- Para detectar líneas débiles y delgadas de especies moleculares: **alta resolución espectral**

La Técnica Heterodina

Se genera una nueva frecuencia mezclando dos ondas



La se~nal de la fuente se combina con la se~nal del LO

La se~nal se mezcla (preservando informaci3n espectrosc3pica)

Procesamiento, amplificaci3n, an3lisis, etc. no incrementa el ruido

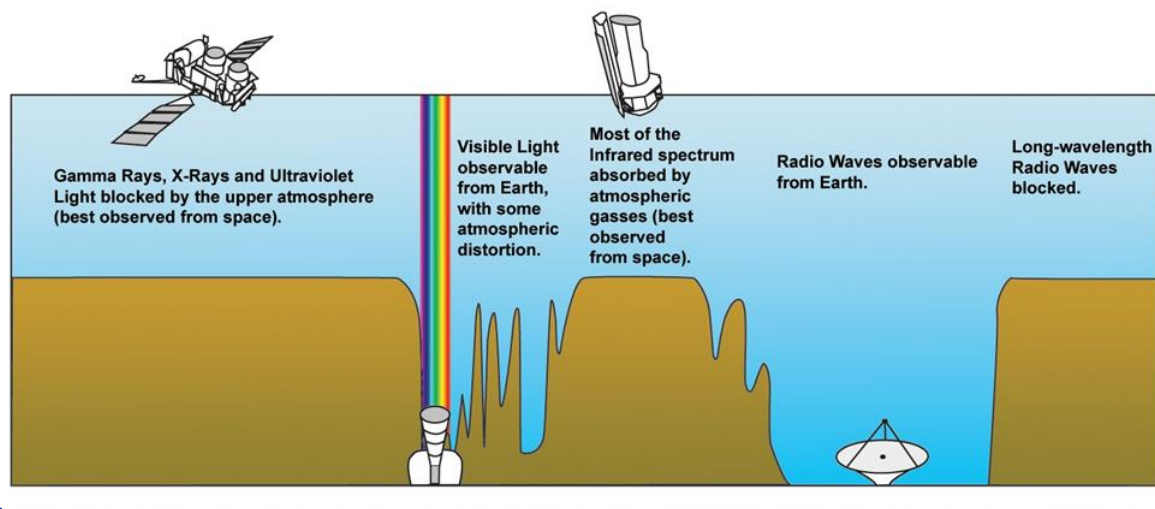
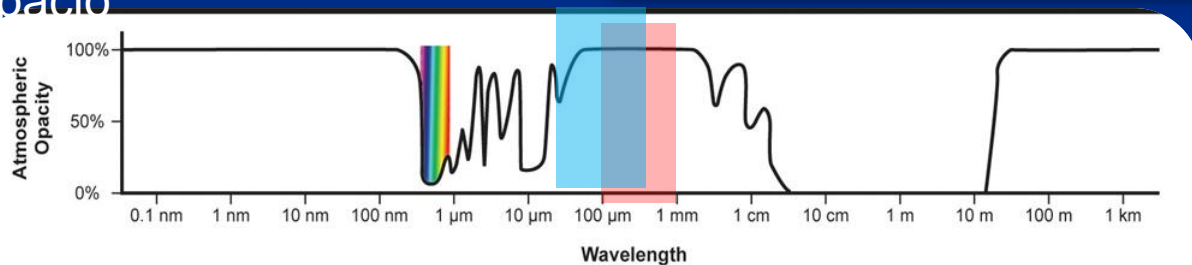
La mayor ventaja de esta t3cnica es la capacidad de proveer espectroscopía de alta resoluci3n!

La Ventana atmosférica de la Tierra

Astronomía basada en el espacio

Herschel

La atmósfera de la Tierra es parcialmente transparente



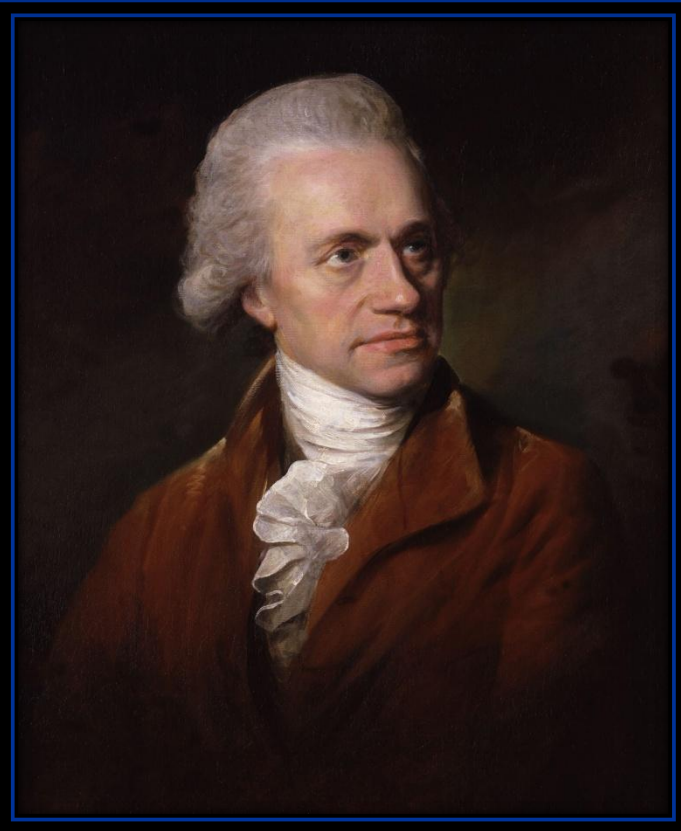
Astronomía basada en la Tierra

Bandas de absorción de vapor de agua:

los sitios de observación tienen que ser secos, fríos y con condiciones atmosféricas estables

Estas ventanas atmosféricas determinan que clase astronomía puede ser hecha desde el espacio o desde la Tierra

Herschel se propuso originalmente en 1782 por un grupo de científicos europeos y su nombre se debe a Sir William Herschel, quién descubrió el espectro infrarrojo y el planeta Uranus, y a su hermana y colaboradora Caroline.



William Herschel



Caroline Herschel

El Observatorio Espacial Herschel

Herschel observa el „universo frío“

Los Instrumentos a bordo de Herschel

Heterodyne Instrument for the Far-Infrared (**HIFI**).

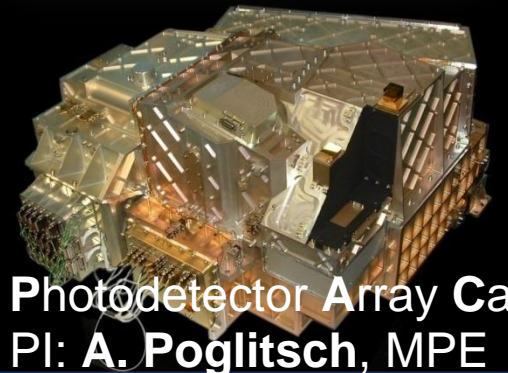
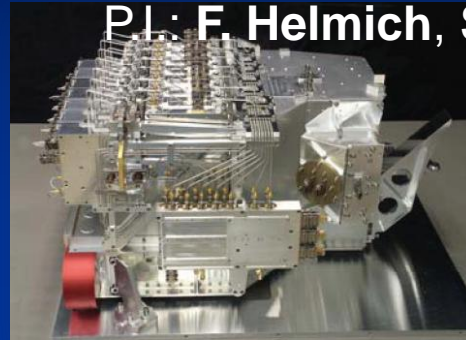
PI: **F. Helmich**, SRON

Resolutions: 140, 280, 560 kHz, 1.1 MHz

| | SIS Technology | | | | | HEB Technology | | |
|-------------------|----------------|------|------|------|------|----------------|------|------|
| | 0.48 | 0.64 | 0.80 | 0.96 | 1.12 | 1.27 | 1.41 | 1.91 |
| HIFI Bands | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| μm : | 625 | 488 | 375 | 312 | 268 | 236 | 213 | 157 |

480 – 1150 GHz

1410-1910 GHz



Photodetector Array Camera and Spectrometer (**PACS**).

PI: **A. Poglitsch**, MPE

55 – 210 μm



Spectral and Photometric Imaging Receiver (**SPiRE**).

PI: **M. Griffin**, Cardiff University

Photometer: 250, 350, 500 μm

Spectrometer: 194- 672 μm .



Credits: ESA

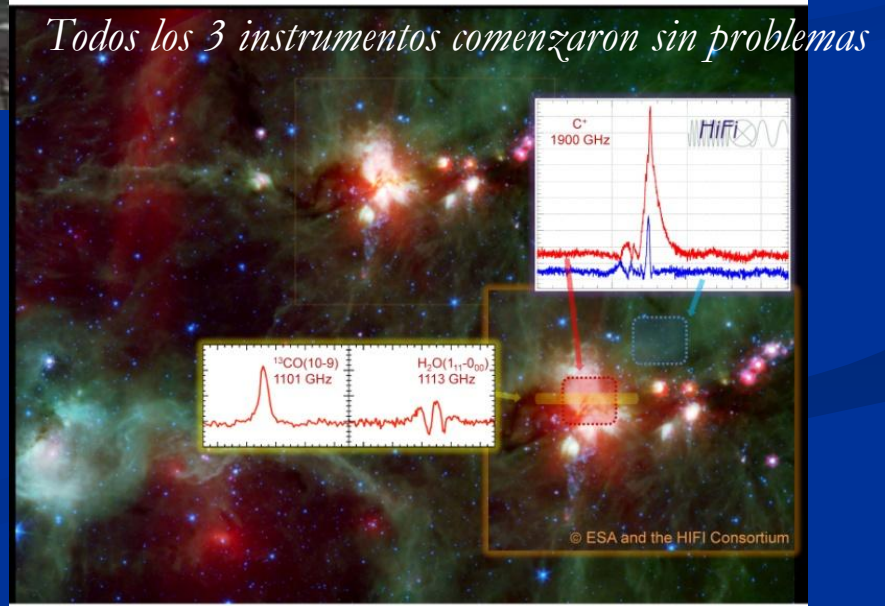
55 – 670 μm

Planetario Humboldt

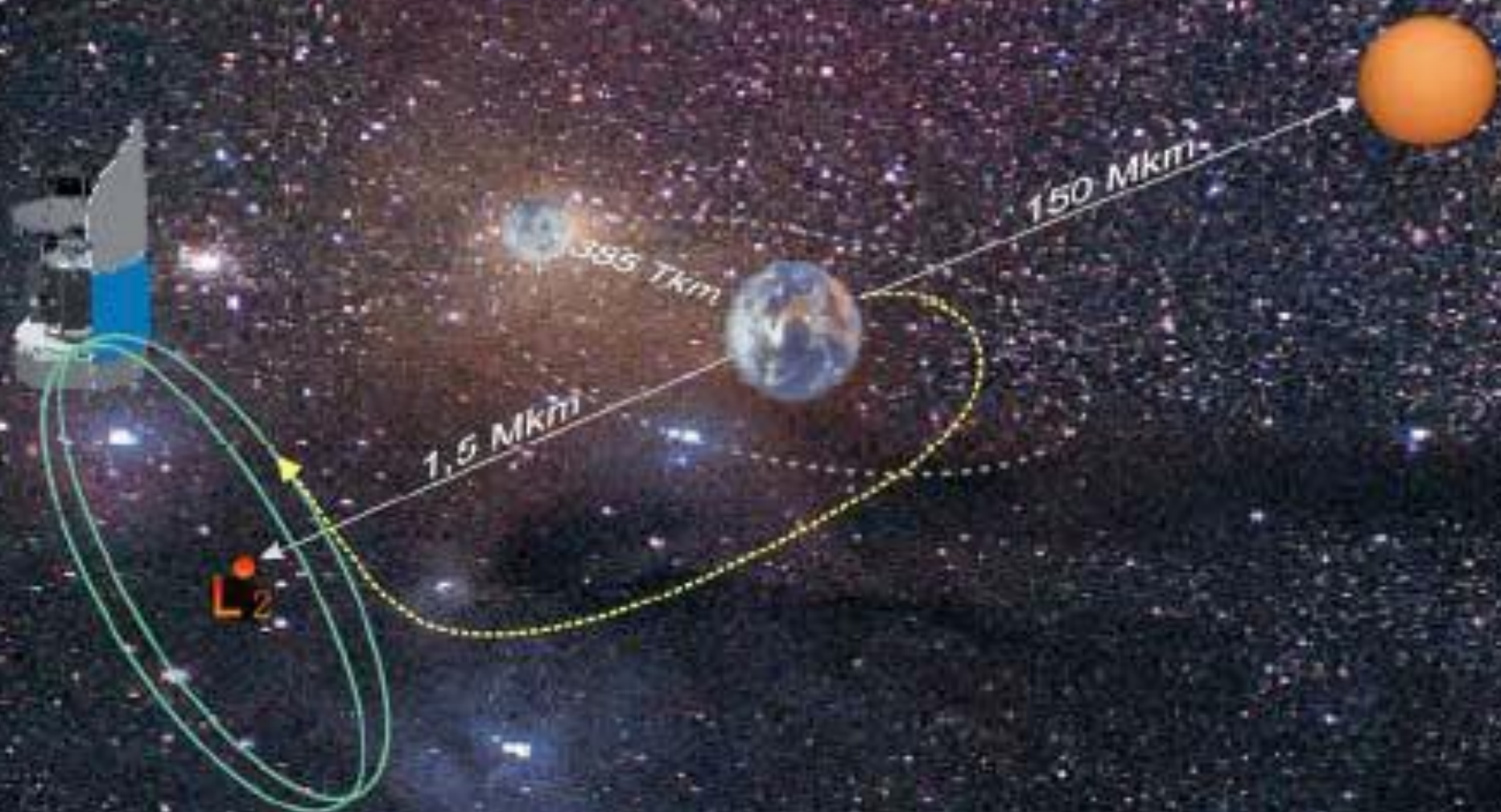
El lanzamiento de Herschel y Planck. Fantástico lanzamiento



Credits: ESA,



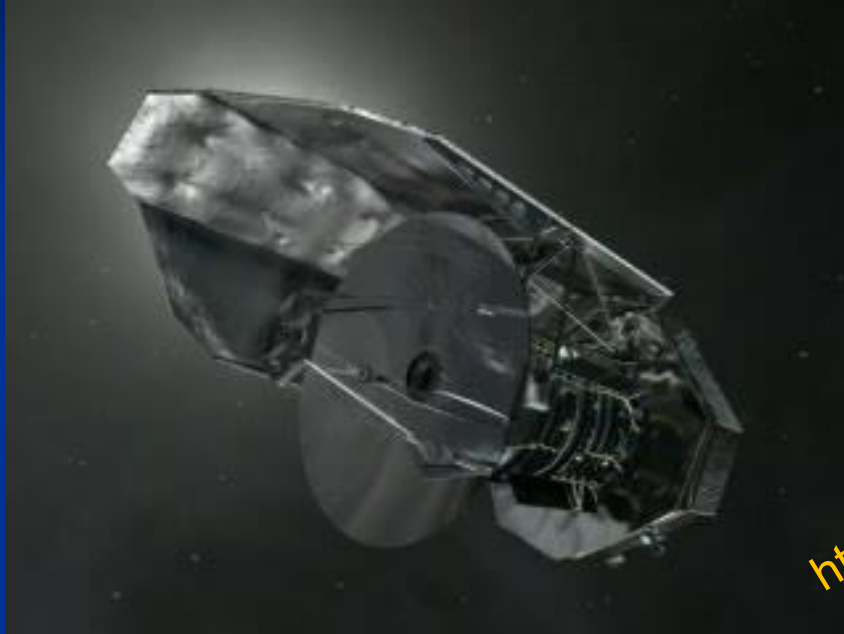
HIFI: Encendido perfecto, pero un problema(evento LCU)



Algunos programas con Herschel (Sistema Solar)

- Herschel GT KP “*El Agua y su química relacionada en el Sistema Solar*” P.I.: Paul Hartogh (MPS Lindau)
Hartogh et al. PSS 57, Issue 13, p. 1596, 2009.
<http://www.mps.mpg.de/projects/herschel/HssO/index.htm>
- OT KP “*TNOs are Cool: A Survey of the Transneptunian Region*” P.I.: Thomas Müller (MPE Garching)
Müller et al. Earth, Moon, and Planets, Vol. 109, 209-219, Sep. 2009
http://www.mpe.mpg.de/~tmueller/tno_public/index.htm
- OT P “*Probando los extremos de nuestro Sistema Solar: variabilidad del más grande, más denso y más distante TNOs con PACS*” P.I.: Esa Vilenius (MPE Garching)

Los Programas con Herschel



Credits: ESA/ AOES Medialab

El Programa **HSSO**, provee espectros de agua e isótopos y especies relacionadas en el Sistema Solar: Marte, Planetas externos, Titan y Enceladus, cometas .

Key Programme with guaranteed time:

"Water and Related Chemistry in the Solar System"

P.I.: Paul Hartogh (MPS Lindau)

Hartogh et al. PSS 57, Issue 13, p. 1596, 2009.

<http://www.mps.mpg.de/projects/Herschel/HSSO/index.html>



HSSO

Water and Related Chemistry in the Solar System

Guaranteed Time Key Programme with the Herschel Space Observatory

Marek Banaszekiewicz,
Frank Bensch
Edwin A. Bergin
Françoise Billebaud
Nicolas Biver
Geoffrey A. Blake
Maria I. Blecka
Joris Blommaert
Dominique Bockelée-Morvan
Thibault Cavalie
José Cernicharo
Régis Courtin
Jacques Crovisier
Gary Davis
Leen Decin
Miguel de Val Borro
Pierre Encrenaz
Thérèse Encrenaz
Helmut Feuchtgruber
Trevor Fulton
Thijs de Graauw (ex HIFI-PI)
Armando Gonzalez
Paul Hartogh (PI, coordinator)
Damien Hutsemékers
Christopher Jarchow
Emmanuël Jehin



- *Mark Kidger*
- *Michael Küppers*
- *Luisa-Maria Lara*
- *Sarah Leeks*
- *Emmanuel Lellouch*
- *Dariusz C. Lis*
- *Rosario Lorente*
- *Jean Manfroid*
- *Alexander S. Medvedev*
- *Raphael Moreno*
- *David Naylor*
- *Glenn Orton*
- *Ganna Portyankina*
- *Miriam Rengel*
- *Hideo Sagawa*
- *Miguel Sánchez-Portal*
- *Rudolf Schieder*
- *Sunil Sidher*
- *Daphne Stam*
- *Bruce Swinyard*
- *Slawomira Szutowicz*
- *Nicolas Thomas*
- *Bart Vandenbussche*
- *Eva Verdugo*
- *Christoffel Waelkens*
- *Helen Walker*

Water and Related Chemistry in the Solar System

Guaranteed Time Key Programme with the Herschel Space Observatory

Instituciones y países que colaboran

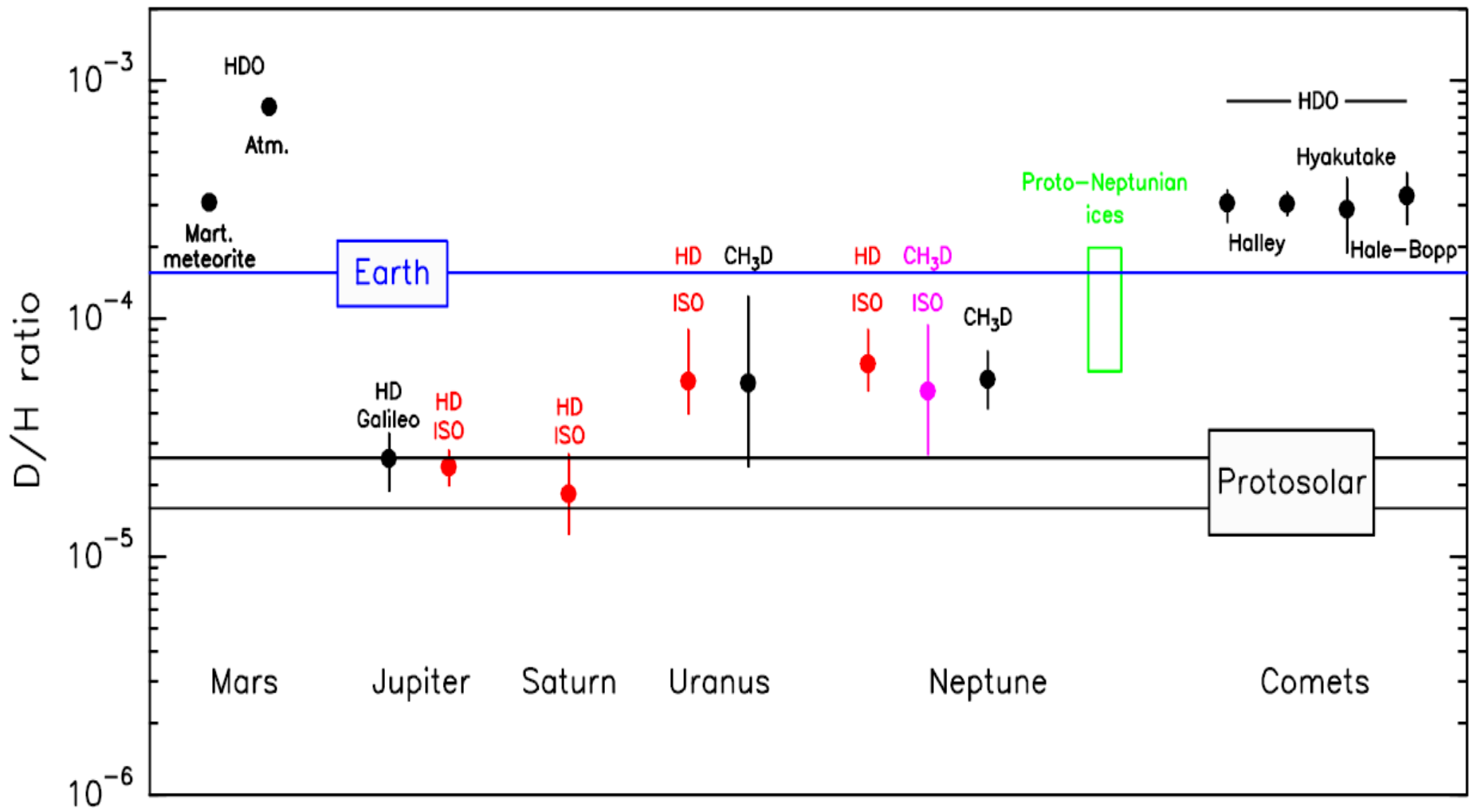
- *1 Space Research Centre, Polish Academy of Science, Warszawa – Poland*
- *2 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Bonn – Germany*
- *3 University of Michigan, Ann Arbor – USA*
- *4 Observatoire de Bordeaux – France*
- *5 LESIA, Observatoire de Paris – France*
- *6 California Institute of Technology, Pasadena – USA*
- *7 Instituto de Estructura de la Materia, Madrid – Spain*
- *8 Joint Astronomy Centre, Hilo – USA*
- *9 LERMA, Observatoire de Paris, and Univ. Pierre et Marie Curie, Paris – France*
- *10 SRON, Groningen – Netherlands*
- *11 Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau – Germany*
- *12 Institut d'Astrophysique et de Geophysique, Liege - Belgium*
- *13 Instituto de Astrofísica de Andalucía, Granada – Spain*
- *14 University of Lethbridge – Canada*
- *15 Jet Propulsion Laboratory, Pasadena – USA*
- *16 Universität zu Köln – Germany*
- *17 Rutherford Appleton Laboratory, Oxfordshire – UK*
- *18 Free University of Amsterdam – Netherlands*
- *19 Universität Bern – Switzerland*
- *20 Instituut voor Sterrenkunde, Leuven – Belgium*
- *21 FNRS Université de Liège – Belgium*
- *22 ESAC, Villafranca – Spain*
- *23 NICT, Koganei – Japan*
- *24 Joint ALMA Observatory – Chile*
- *25 Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik, Garching – Germany*
- *26 Bluesky Spectroscopy, Lethbridge – Canada*

HSSO: Objetivos científicos

- El ciclo de agua marciano y la química atmosférica
- El origen del agua en las atmósferas de los planetas externos
- Cometas:
 - Excitación del agua y la termodinámica de la coma
 - La relación D/H en los cometas de la familia de Júpiter
 - Mineralogía, búsqueda de nuevas especies



Relación D/H en el Sistema Solar





Las observaciones de Herschel de atmósferas planetarias

La Ciencia de las atmósferas planetarias:

Remote sounding of the atmosphere temperature profile and composition was first suggested in 1959

Estructura Térmica

Perfiles de T



JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA

VOLUME 49, NUMBER 10

OCTOBER 1959

Inference of Atmospheric Structure from Remote Radiation Measurements*

LEWIS D. KAPLAN

Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts

(Received April 27, 1959)

A detailed analysis of the structure of the atmosphere, including the three-dimensional distribution of temperature and water vapor, can be obtained from the spectral variation of its thermal radiation as viewed from a reconnaissance aircraft or earth satellite. In order that the measurements be capable of unambiguous interpretation, however, it is essential that the selection of spectral intervals to be used are based on a carefully planned interpretation scheme.

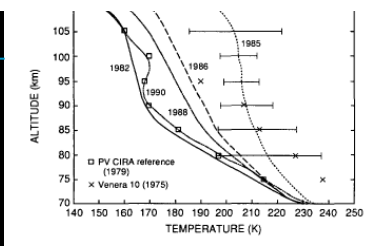
A possible program is outlined, in which the temperature distribution is obtained by measurements in the 15-μ CO₂ band and the water vapor distribution obtained by simultaneous measurements in the rotational band. The temperature-and-pressure dependence of the absorption coefficients must be taken into account.

The instrument should be a multiple-slit or multiple-detector grating spectrometer, capable of resolving 10 cm⁻¹ at 15 μ.

Spectral models and methods of analysis of the spectra are discussed briefly.

monitoreo

Estaciones



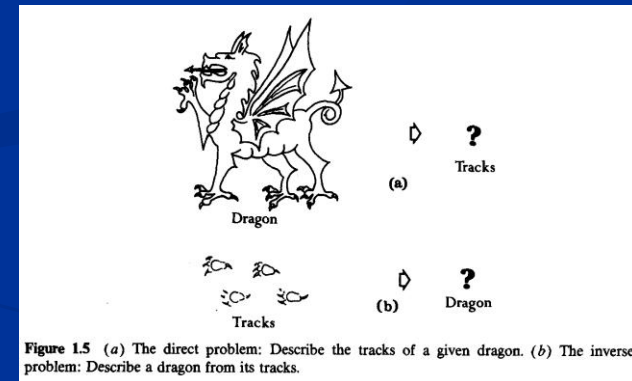
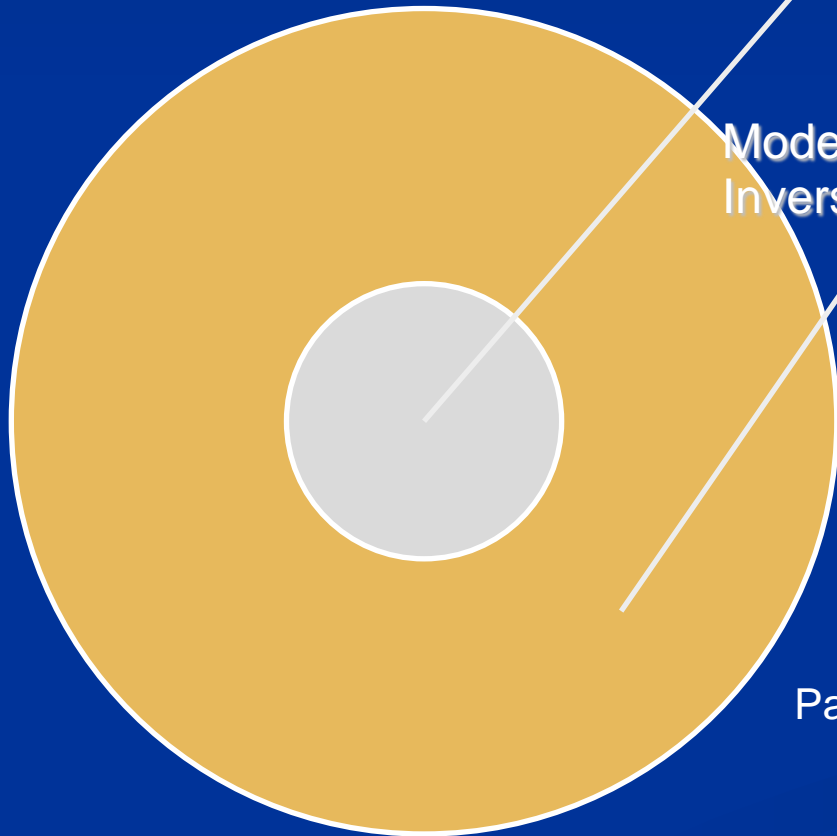
➔ Ayuda a clarificar el origen y la evolución de los planetas y la formación del Sistema Solar

Cómo? Ingredientes

Observaciones

Obteniendo información del espectro

Modelaje (Forward model) – Algoritmo de Inversión



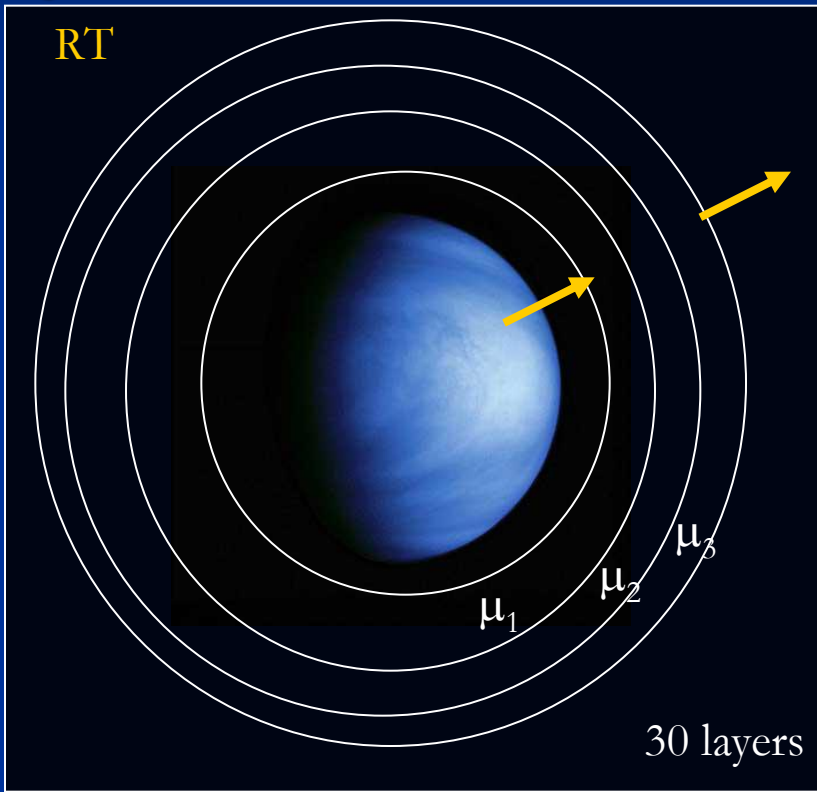
Para modelar el espectro esperado

Para obtener parámetros físicos como la temperatura

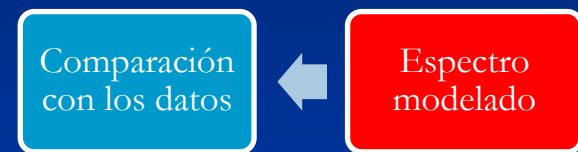
Técnica para obtener los perfiles de temperatura y cantidad de la especie



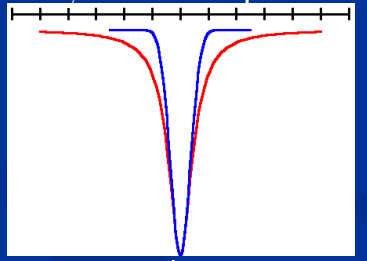
Optimal estimation algorithm



μ_1 = Coeficiente de absorción



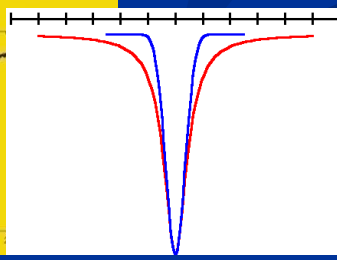
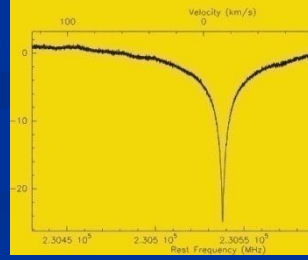
Synthetic spectra



Algoritmo de ajuste

```

3625: 2 Venus 120012-1 SMF-10M-CISA O: 15 JUN-2007 R: 20 JUL-2007
RA: 08:50:12.218 DEC: 19:47:50.10 (2007.0) Offs: +0.039 -0.056 Eq
Unknown: Tau: 0.5510 Type: 396.3 Time: 30.16 El: 69.53
N: 4600 R: 2301 VZ: -14.00 Dc: -6.0850E-02 Lineq
FD: 2.30537.990 DF: 4.6794E-02 FI: 242537.990
  
```



Nuevo set de parámetros

Primera observación con Herschel / HIFI (21 Junio 2009)

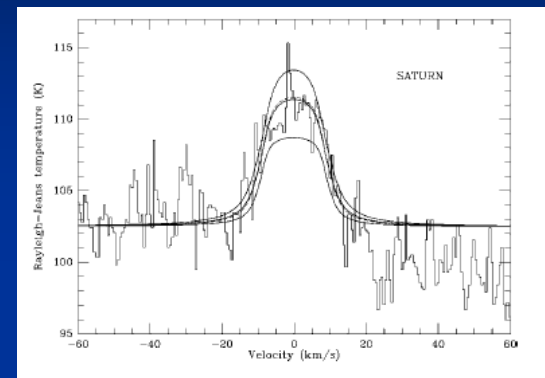


Saturn



La absorción no es formada en Saturno

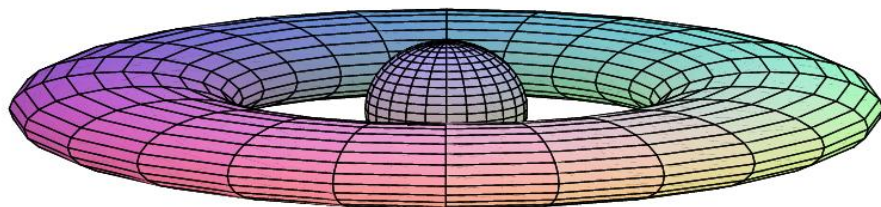
- T_B continuum ~ 115 K $\rightarrow T_B$ (line core) $\sim 90-95$ K
 - Estas temperaturas no existen en la estratósfera de Saturno
 - El agua no puede existir a 90-95 K
- SWAS en 1999 no detectó la absorción
 - El anillo y el sistema se vieron abiertos en 1999 ($\beta = -21^\circ$)
 - Se vieron de canto en 2009 ($\beta = -4^\circ$)
- La absorción ocurre del material cerca del plano ecuatorial \rightarrow el toro de Enceladus



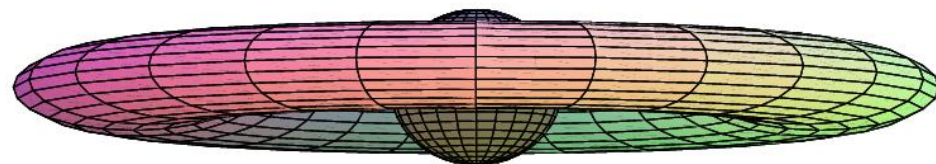
Bergin et al, 2000

1 C=274.15 Kelvin

1999

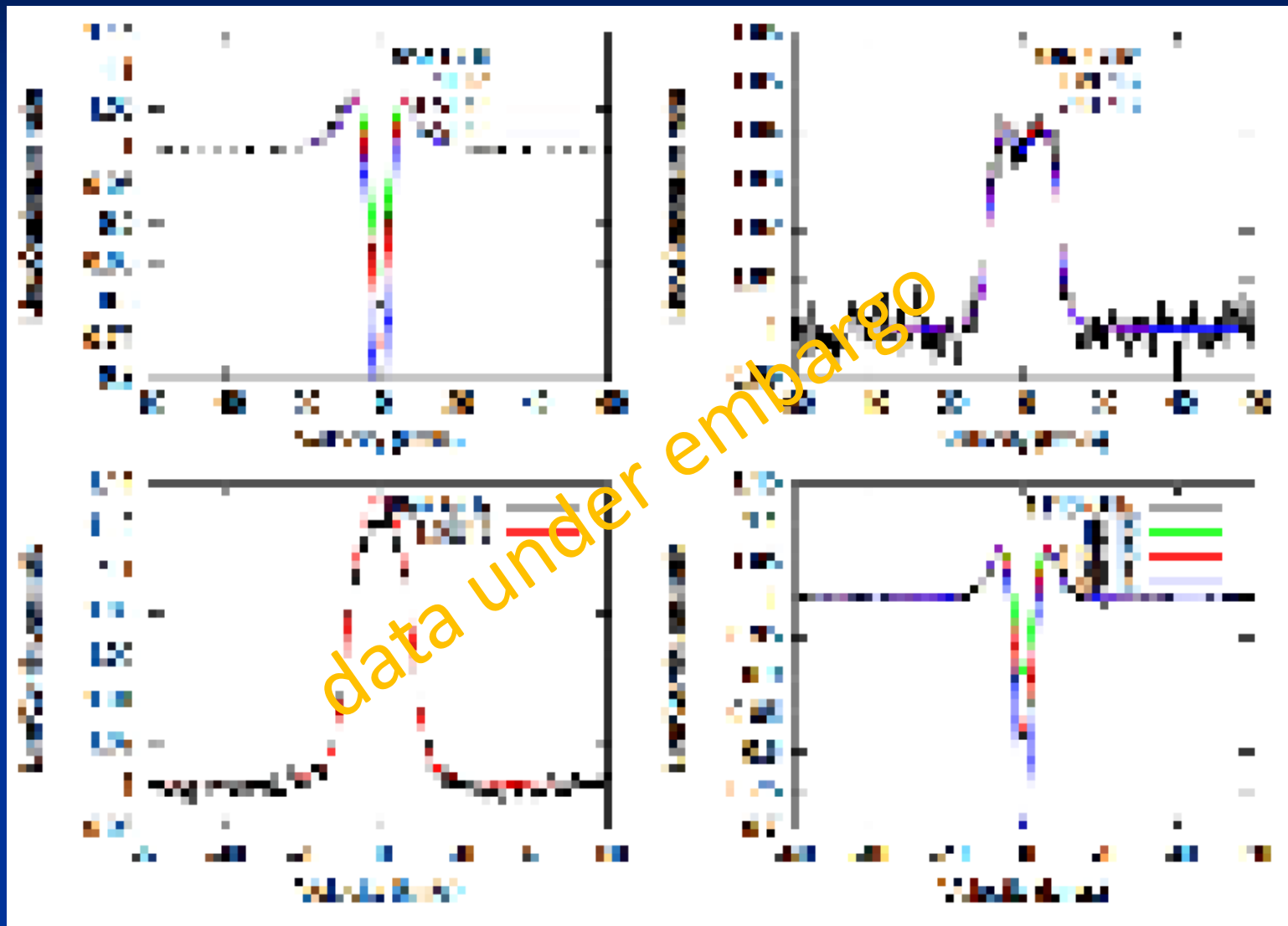


2009





Observaciones de Junio 2010 y modelos: sensitivity to column density



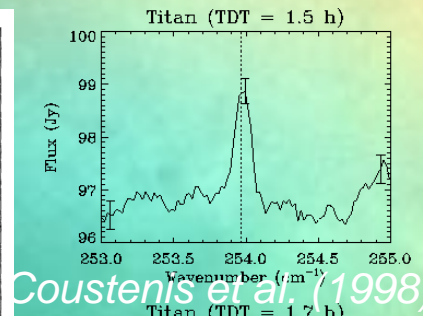
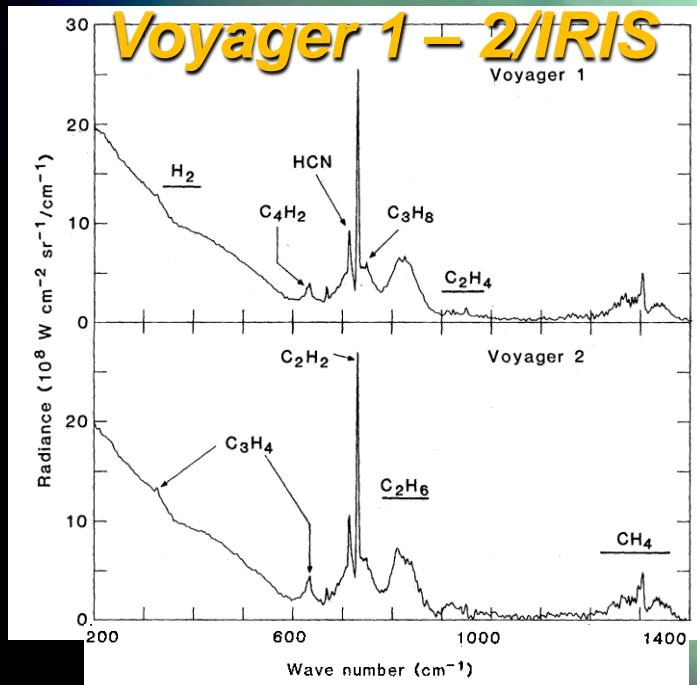
Titan

Titan está cubierto por una atmósfera densa, la cual es compleja y diversa

- El origen de la atmósfera de Titan aún no se sabe y la química es complicada

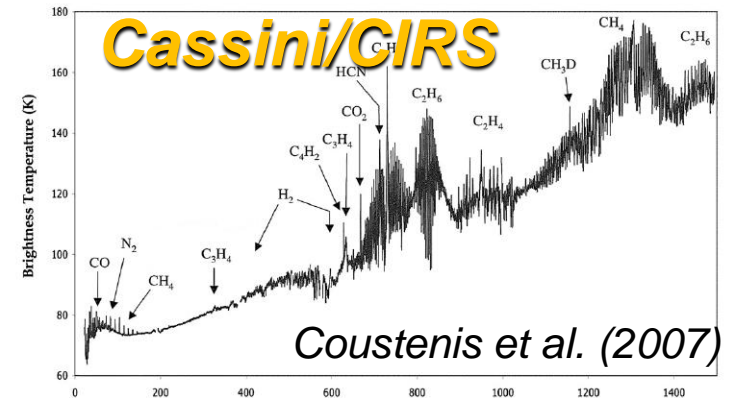
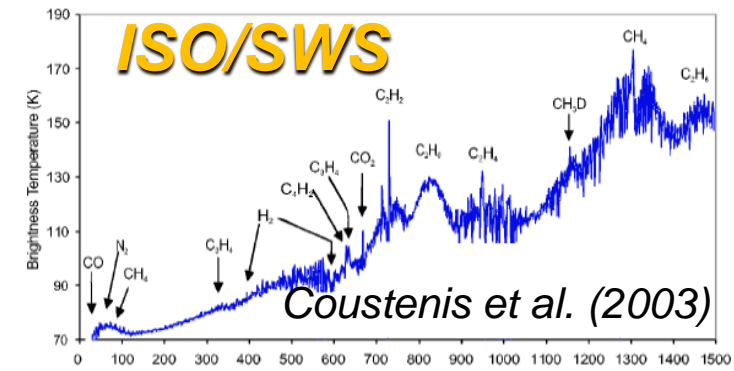
Observaciones de los constituyentes de la atmósfera ayudan a construir los modelos de la atmósfera de Titan y de su historia.

El espectro de Titan ha sido ya adquirido por :



Coustenis et al. (1998)

ISO/SWS



Metas

- *Monitorear y explorar la atmósfera de Titan con Herschel/PACS*
- *Inferir nueva y más precisa información de la composición de Titan*

Observaciones de Titan con Herschel/PACS



• 55 – 210 μm es una región rica con numerosas transiciones rotacionales de agua y otros gases

■ Modo observacional: PACS Range spectroscopy (**SED mode**)

Range: 57 – 210 micrones, resolución \sim 55-320 km/s (940 - 5500)

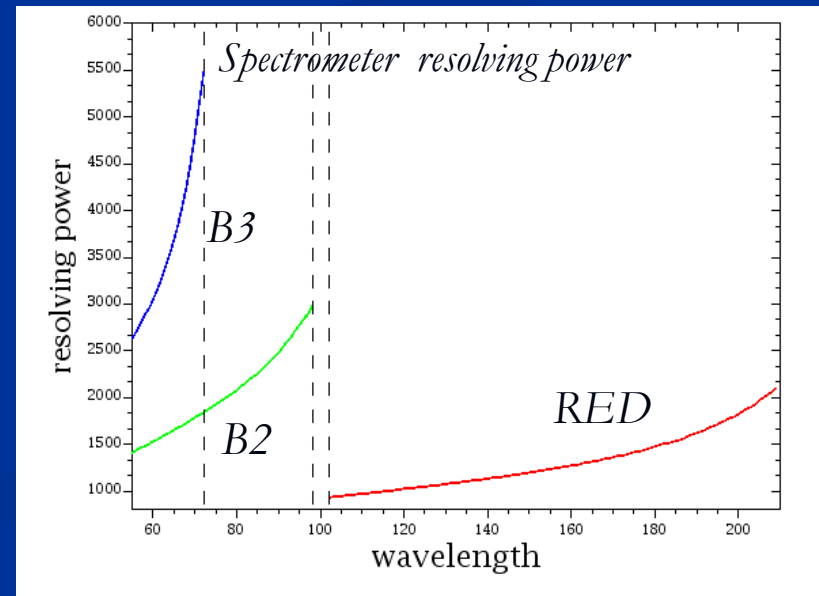
■ Fecha: 23 Junio 2010

□ Tiempo de integración **0.63 h**

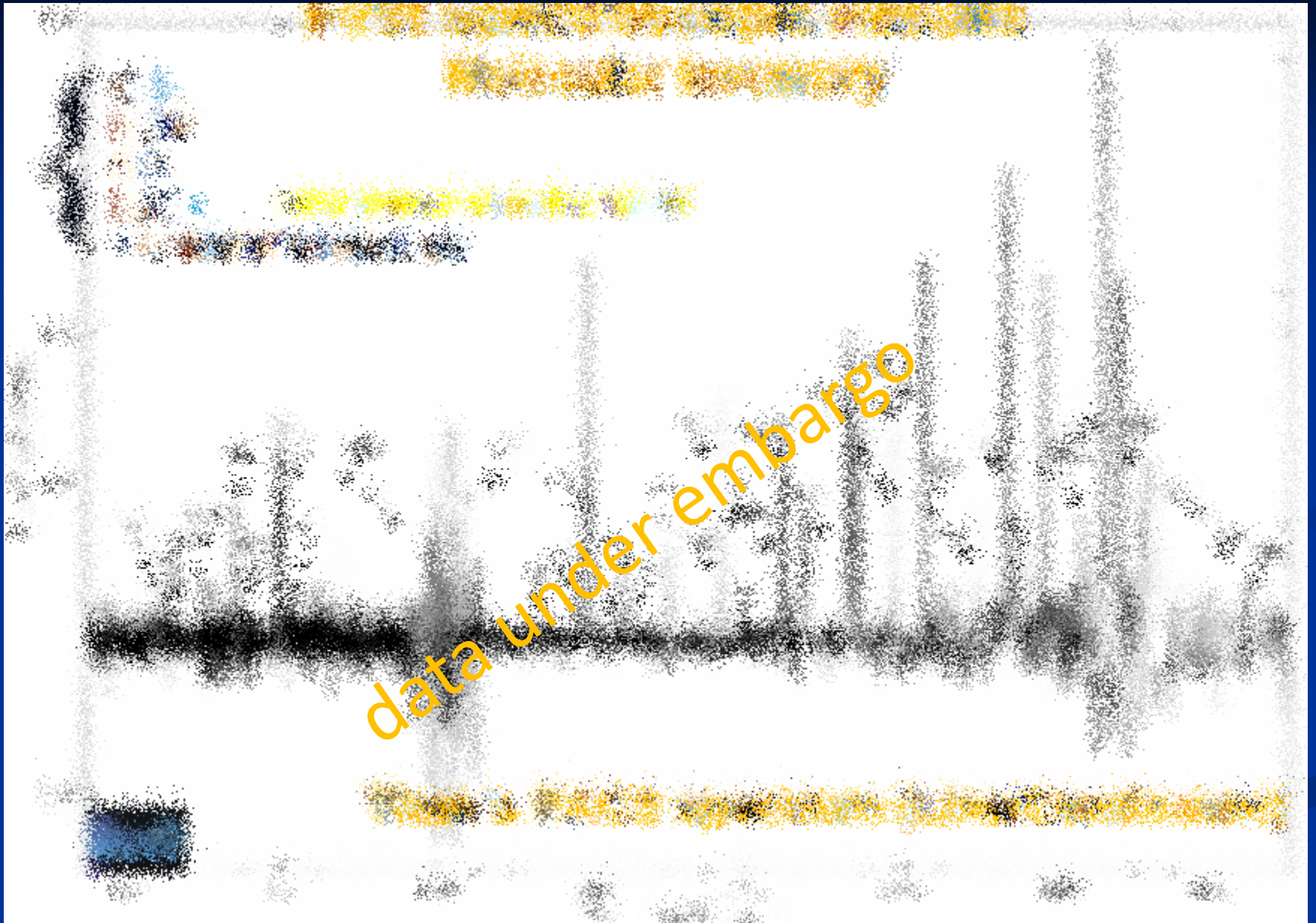
□ Distancia de Saturno
168 arcsec

■ Procesamiento 'Standard'

■ La respuesta espectral es afectada.



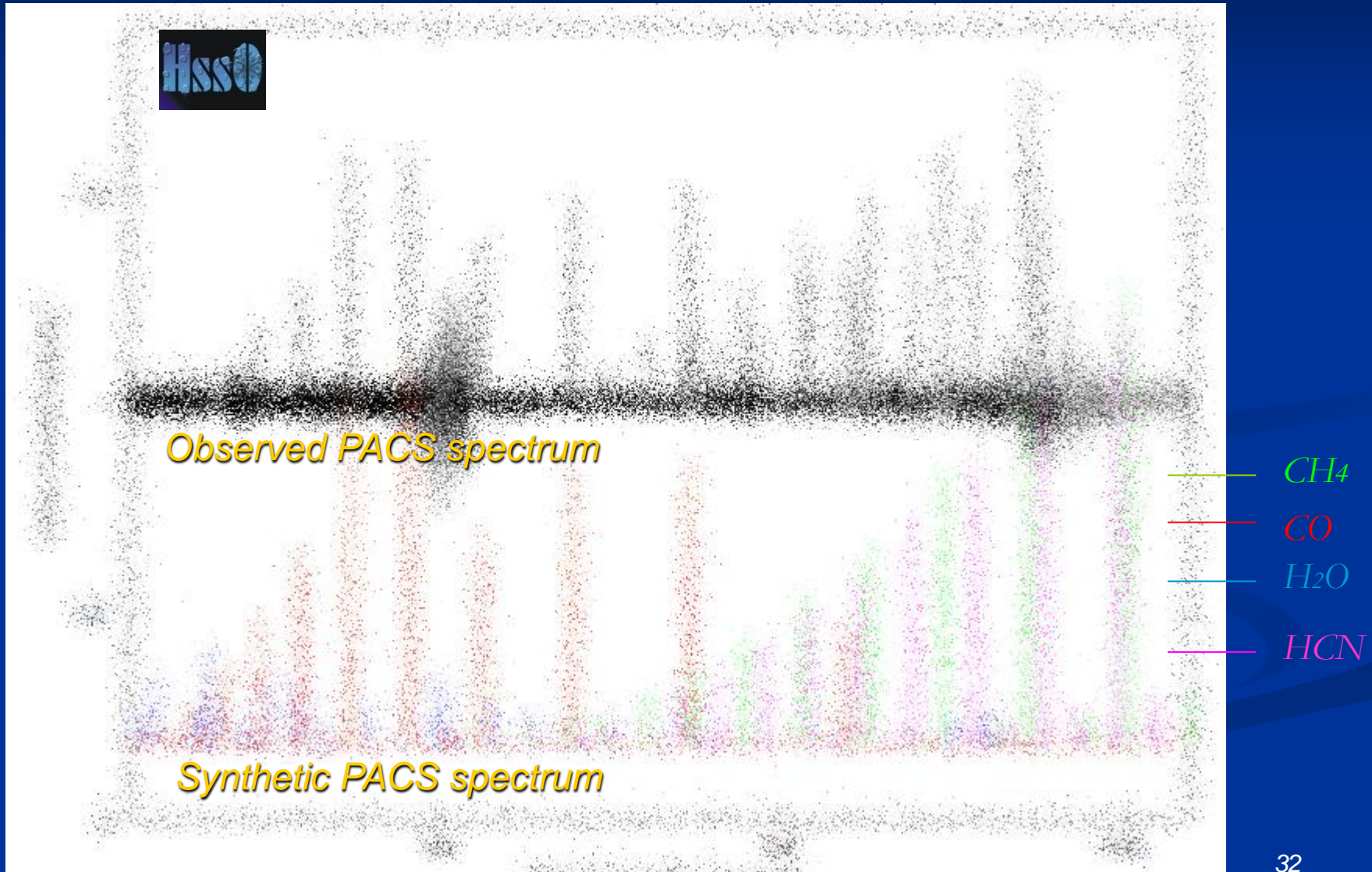
First spectroscopic results



data under embargo

Primeros resultados del modelaje

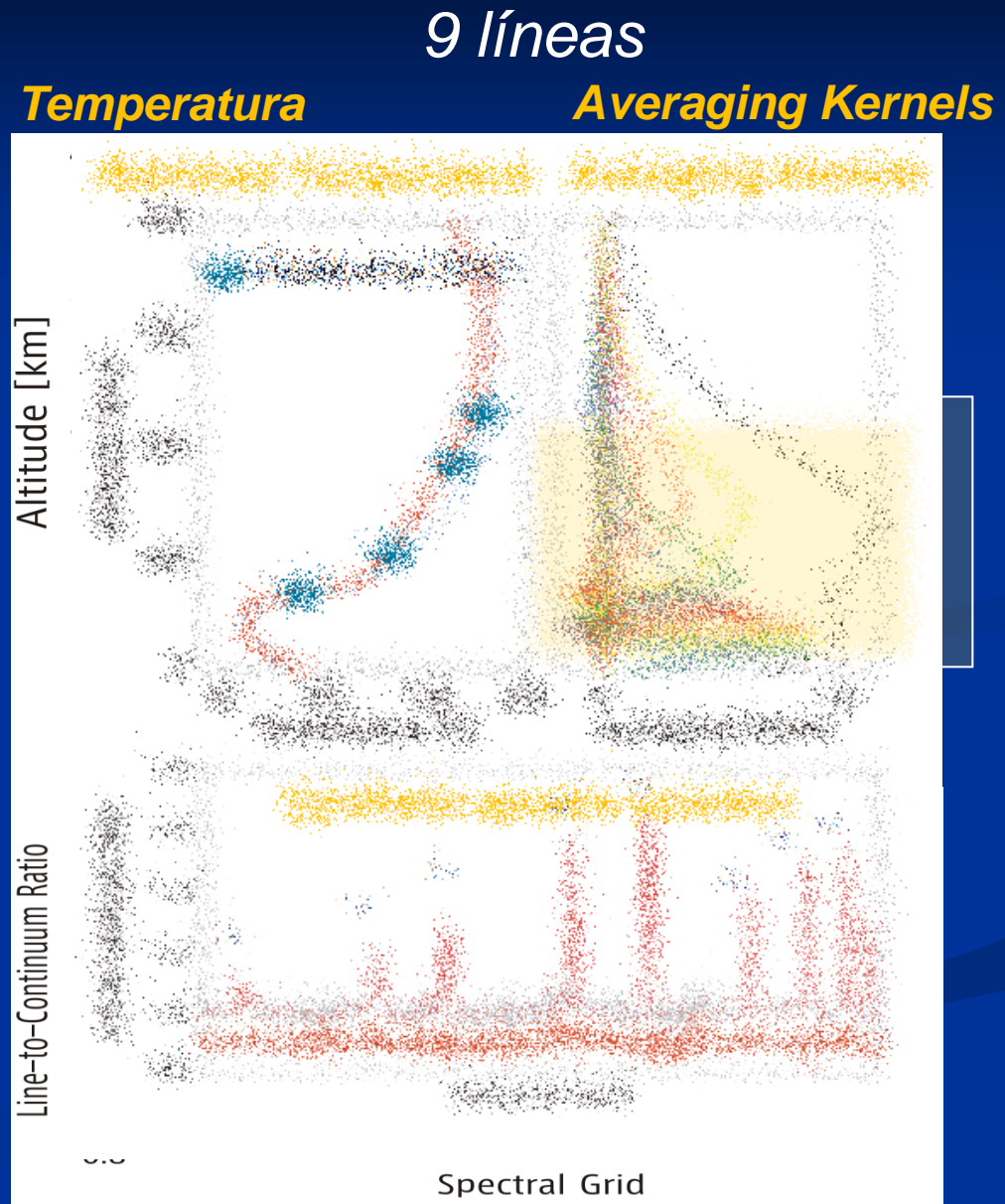
Cálculos del espectro sintético de la atmósfera de Titan (CH_4 , H_2O , HCN and CO) con PACS.



Pérfil de temperatura:

- **Uso del espectro de emisión del CH₄** (CH₄ is uniformemente mezclado en la atmósfera)

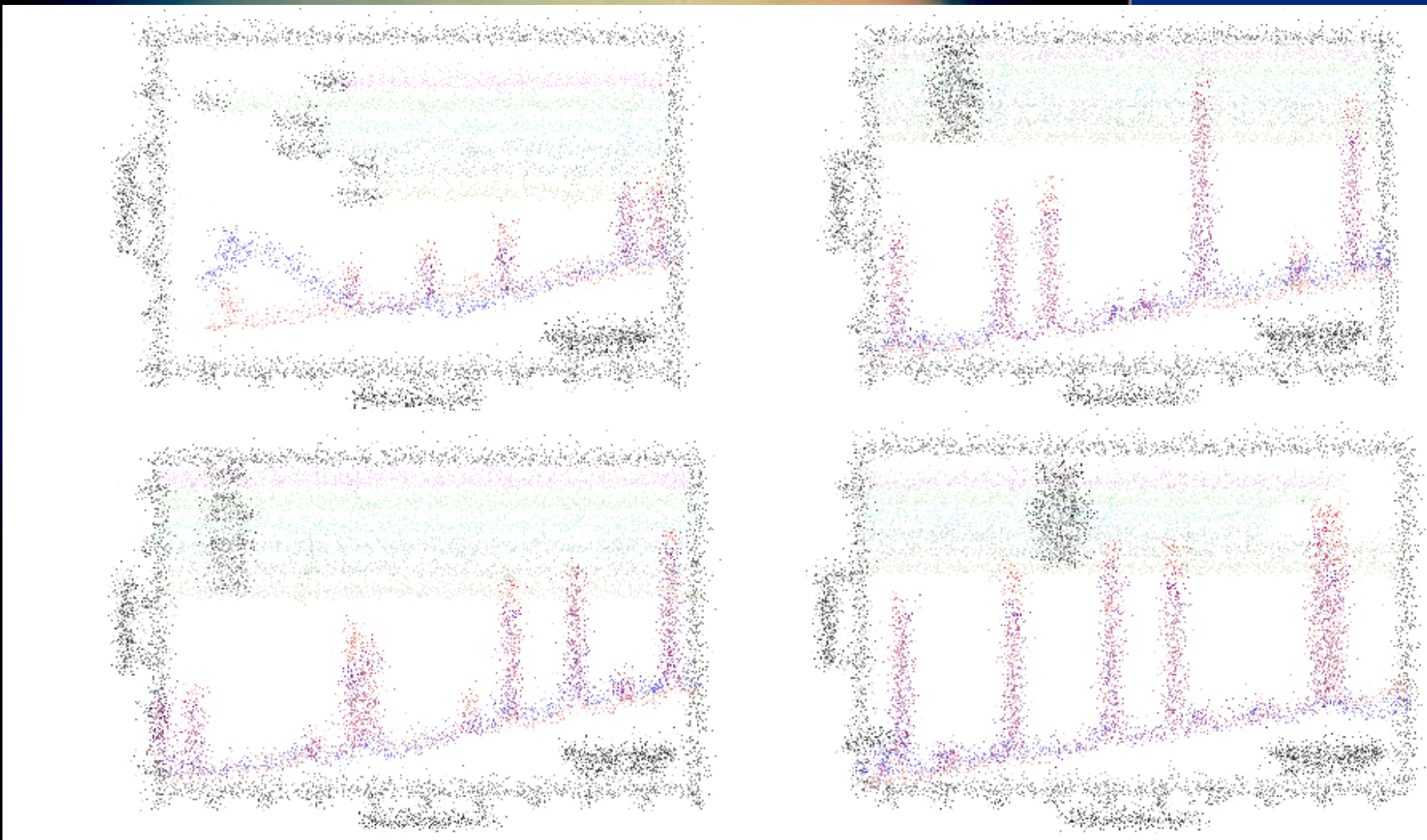
- **Uso de una combinación de múltiples líneas**



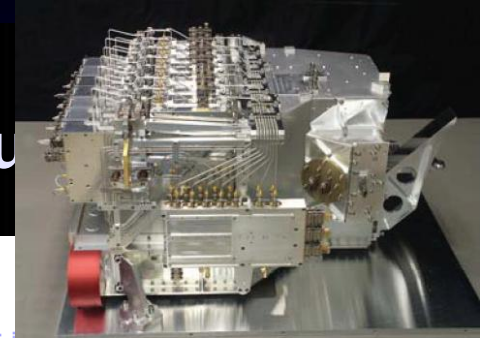


Espectro de Titan con SPIRE

- El espectro de Titan con SPIRE muestra el ~90% de las líneas de emisión esperadas (isótopos de HCN , CO y CH₄)



Observaciones de Titan con HIFI: nueva molécula



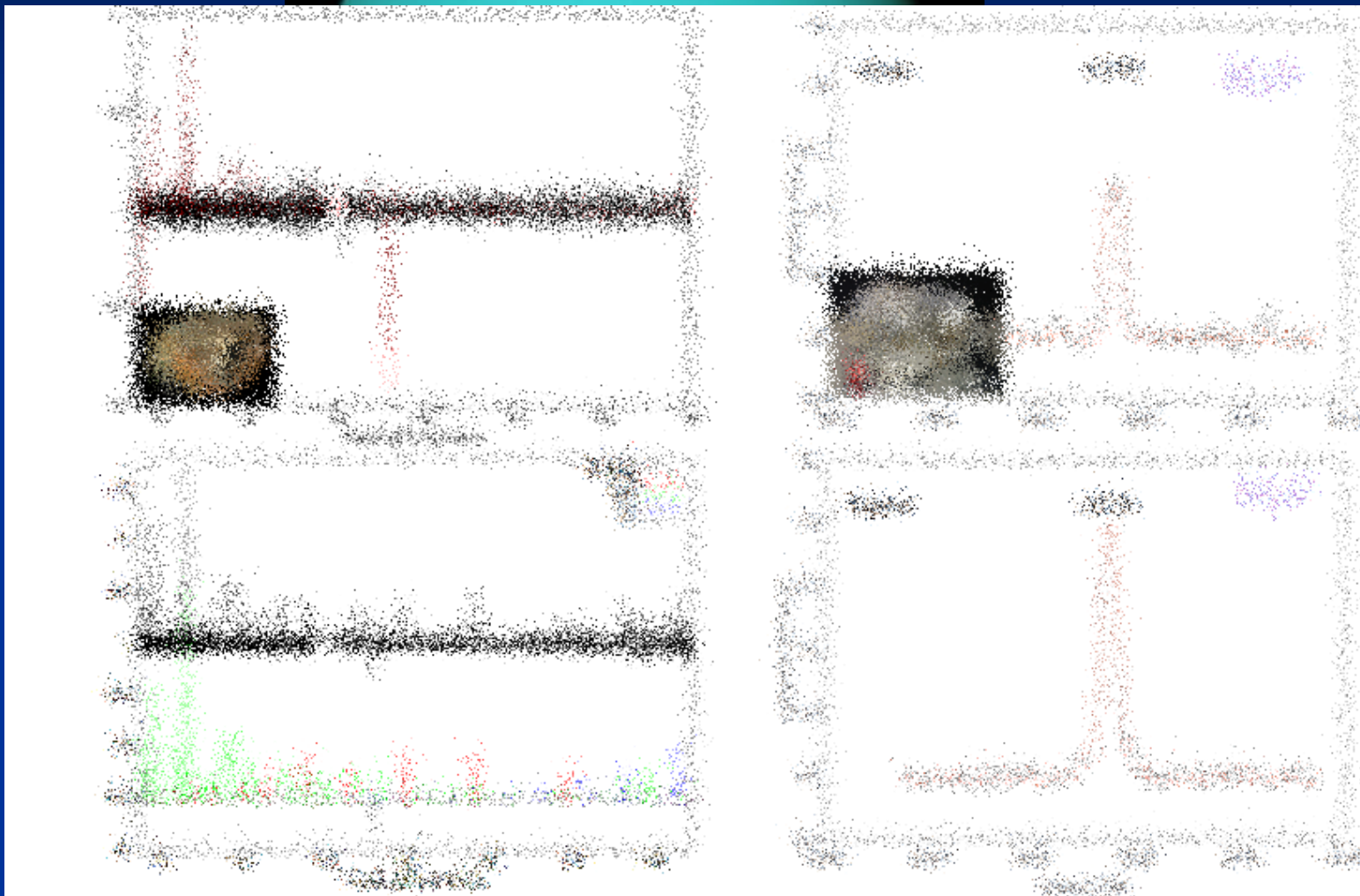
Isocyanide del Hidrógeno

HCN probably formed by dissociative recombination reaction of the ionospheric ion HCNH^+ (Petrie et al 2001) at $Z > 1000 \text{ km}$

Urano & Neptuno PACS /HIFI (line/continuum)

H₂O and HD

Line/Continuum



More than 20 lines of H₂O (but unresolved)

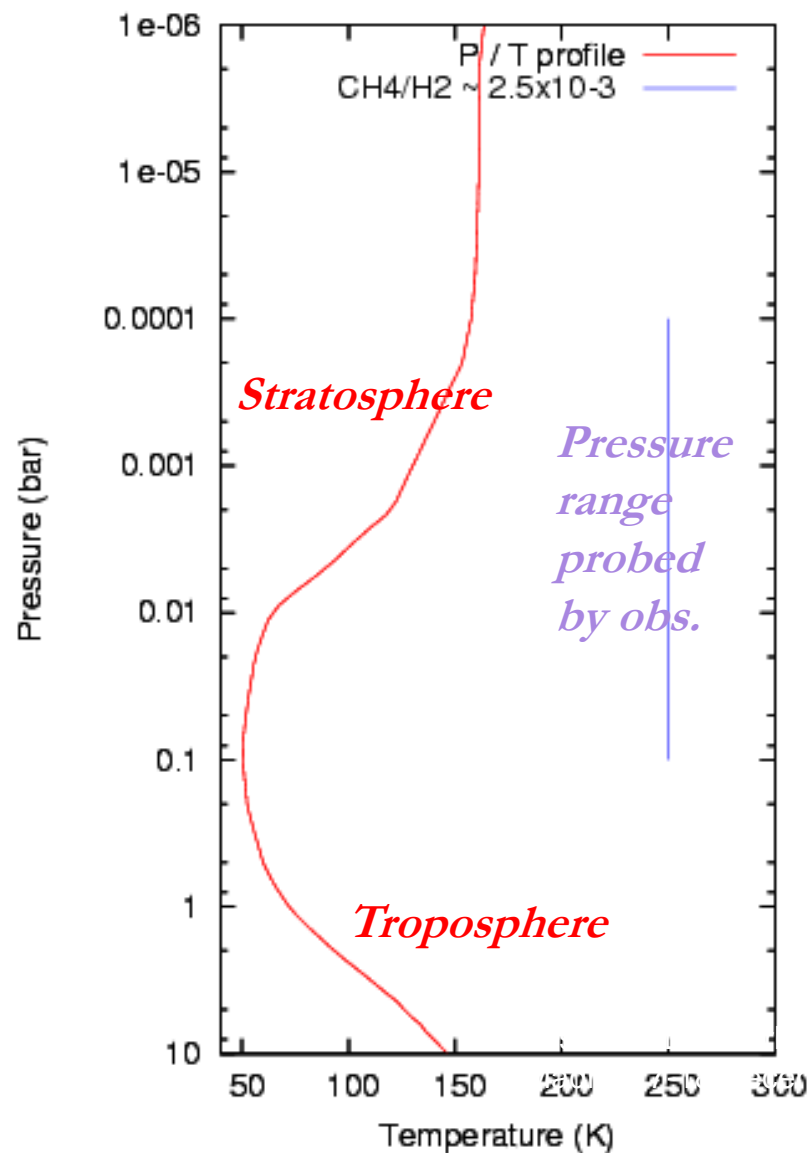
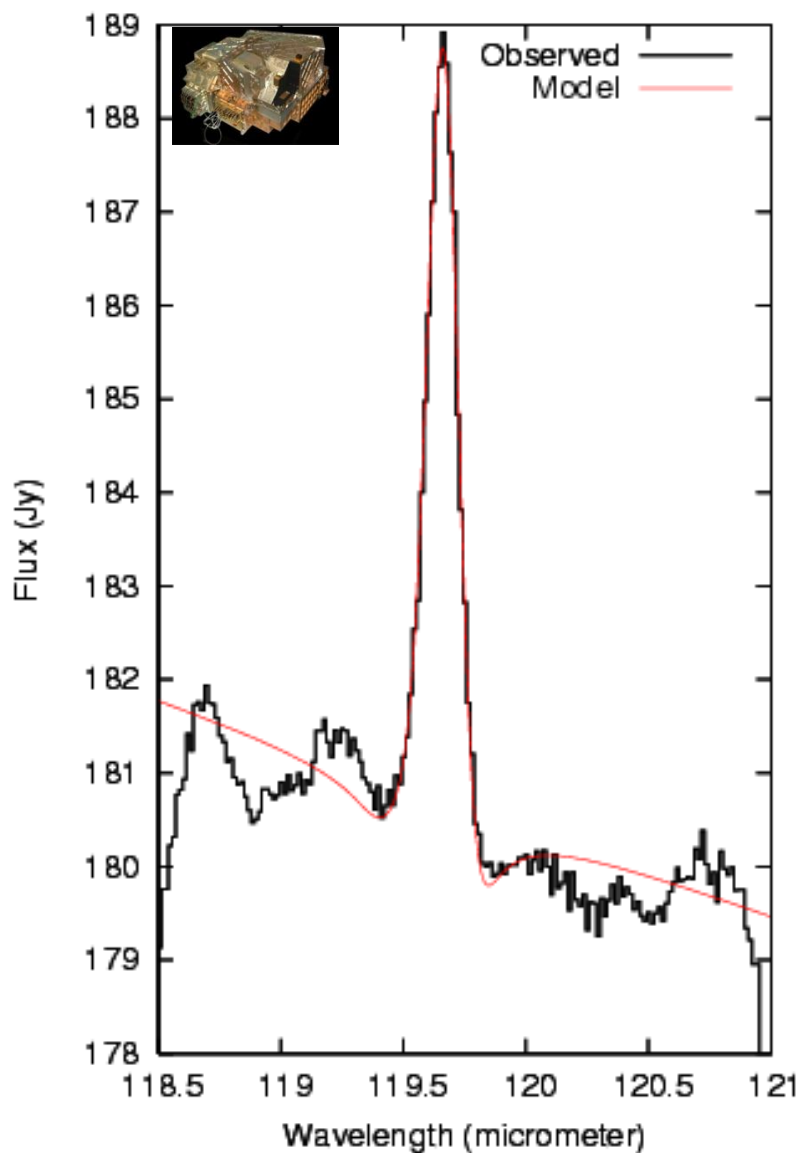


Metano en la atmosfera de Neptuno

- Metano es la tercera especie más abundante en los planetas gigantes, después de H_2 y He; es el más abundante en la troposfera de Neptuno ($\sim 4\%$), siendo responsable del color
- En la estratosfera de Neptune, CH_4 ha sido difícil de medir
- Metano es una especie importante, da origen a la fotoquímica en la estratosfera.
- Herschel está permitiendo nuevas mediciones CH_4 en la estratosfera de Neptune

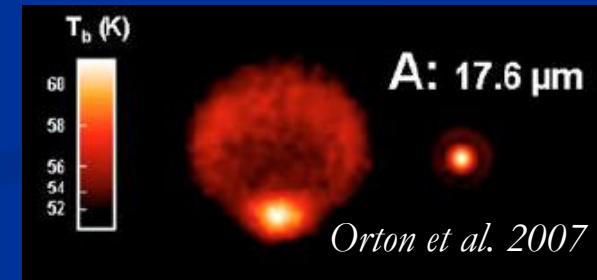


Primera detección de metano a 120 micrones en Neptuno con PACS



Resultados de Neptuno y Urano

- La primera detección de líneas rotacionales de metano en Neptuno y marginalmente en Urano
 - La estratosfera de Neptuno tiene 8 veces más metano que Urano



Los perfiles verticales de agua en Urano y Neptuno deben ser obtenidos con las observaciones usando los tres instrumentos

News

Comet strike could explain Neptune's air

Carbon monoxide in planet's atmosphere points to icy impact.

Did a large, icy comet smash into Neptune two centuries ago? That's the picture that is emerging from the latest measurements of gases in the atmosphere of the giant blue planet

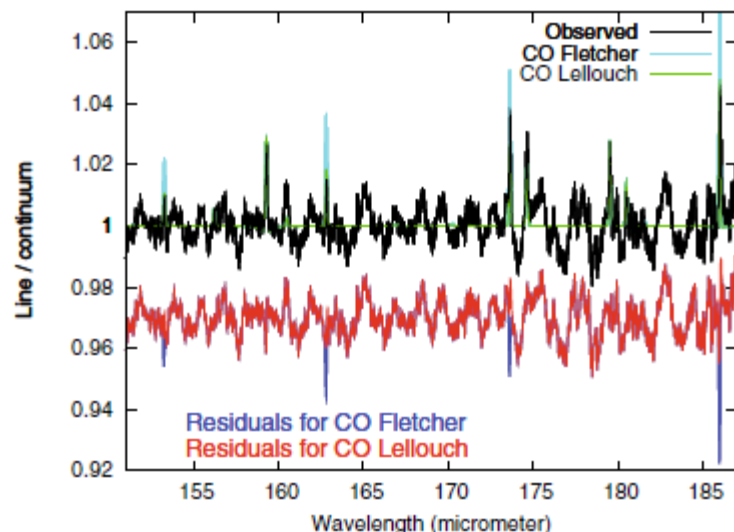
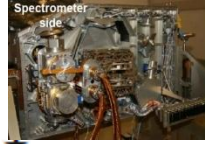


Fig. 6. CO lines at 153–187 μm , compared with models using the CO distributions of Lellouch et al. (2005) and Fletcher et al. (2010), shown in Fig. 2. CO lines occur at 154, 163, 174 and 186 μm . Other features are due to CH_4 and H_2O . The bottom curves are difference (observed – modeled) plots (shifted by 0.97), favoring the Lellouch et al. profile.



An abundance of carbon monoxide in Neptune's atmosphere could be the result of a comet smash.

NASA/JPL

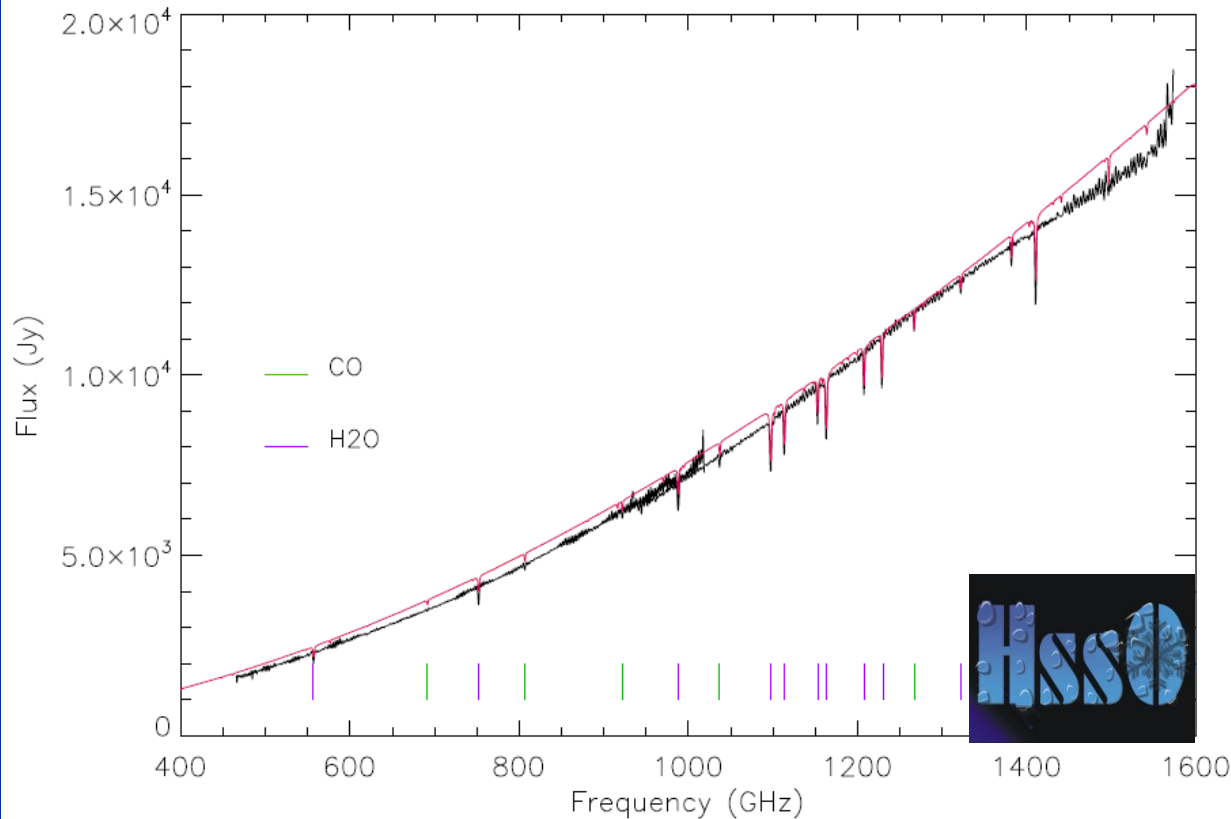


The *Herschel*-SPIRE submillimetre spectrum of Mars^{*}

B. M. Swinyard¹, P. Hartogh², S. Sidher¹, T. Fulton³, E. Lellouch⁵, C. Jarchow², M. J. Griffin⁴, R. Moreno⁵, H. Sagawa², G. Portyankina⁶, M. Blecka⁷, M. Banaszekiewicz⁷, D. Bockelee-Morvan⁵, J. Crovisier⁵, T. Encrenaz⁸, M. Kueppers⁹, L. Lara¹⁰, D. Lis¹¹, A. Medvedev², M. Rengel², S. Szutowicz⁷, B. Vandenbussche¹², F. Bensch¹³, E. Bergin¹⁴, F. Billebaud¹⁵, N. Biver⁵, G. Blake¹¹, J. Blommaert¹², M. de Val-Borro², J. Cernicharo¹⁶, T. Cavalie², R. Courtin⁵, G. Davis¹⁷, L. Decin¹², P. Encrenaz⁸, T. de Graauw¹⁸, E. Jehin¹⁹, M. Kidger⁹, S. Leeks¹, G. Orton²⁰, D. Naylor²¹, R. Schieder²², D. Stam²³, N. Thomas²⁴, E. Verdugo⁹, C. Waelkens¹², and H. Walker¹

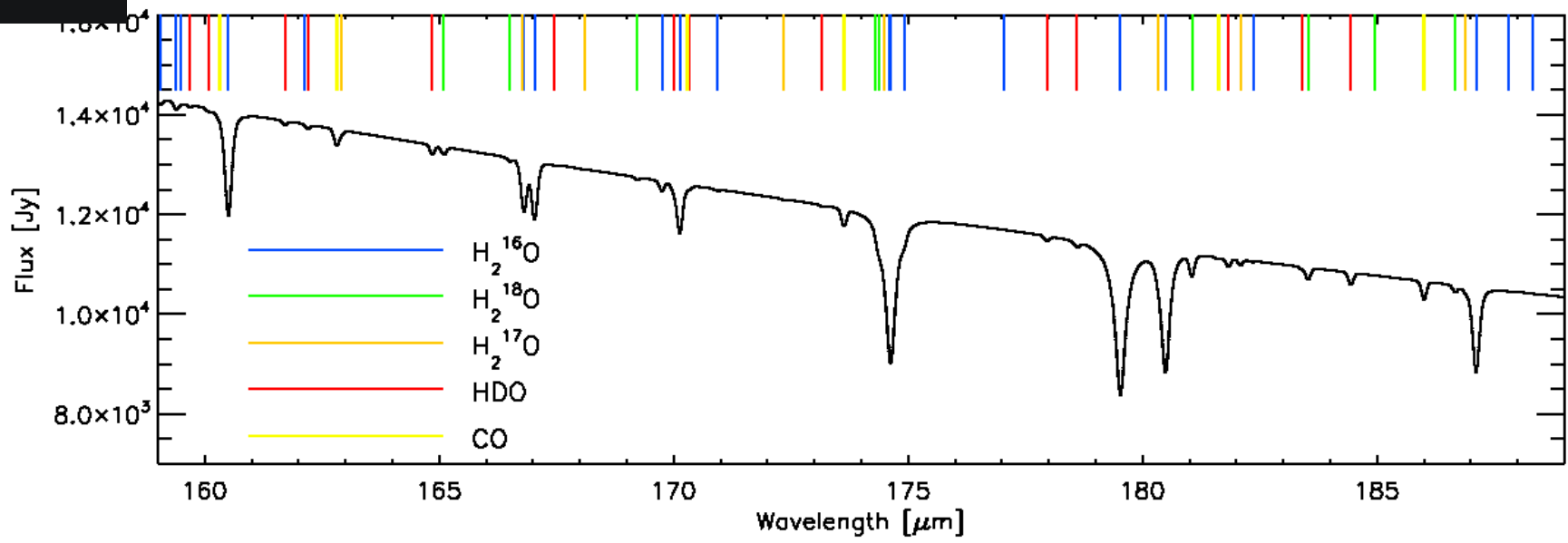
(Affiliations can be found after the references)

Received 1 April 2010 / Accepted 21 May 2010

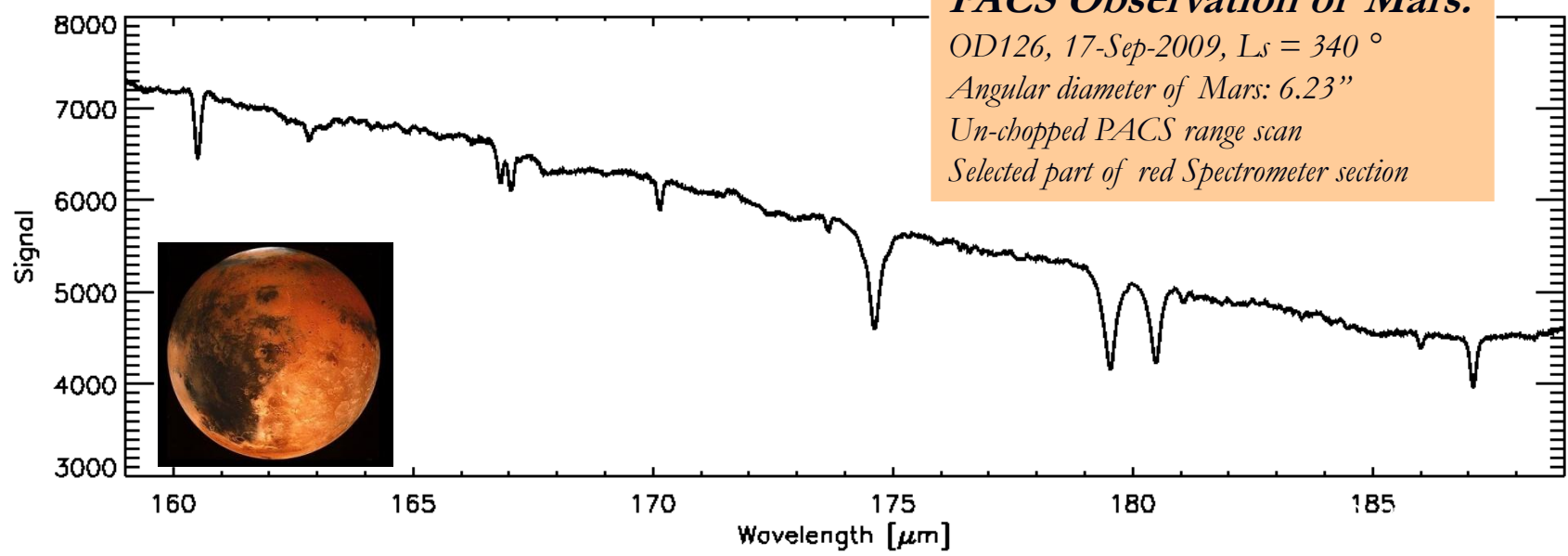


Primer espectro en el submm de Marte

Agua y Monóxido de Carbono fueron medidos (1×10^{-4} y 9×10^{-4}).



PACS Observation of Mars:
OD126, 17-Sep-2009, $L_s = 340^\circ$
Angular diameter of Mars: 6.23''
Un-chopped PACS range scan
Selected part of red Spectrometer section



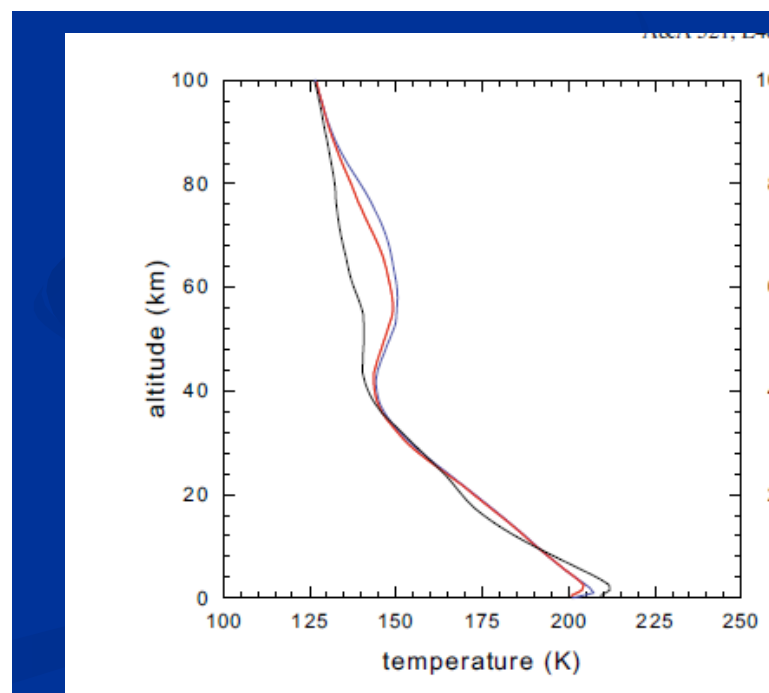
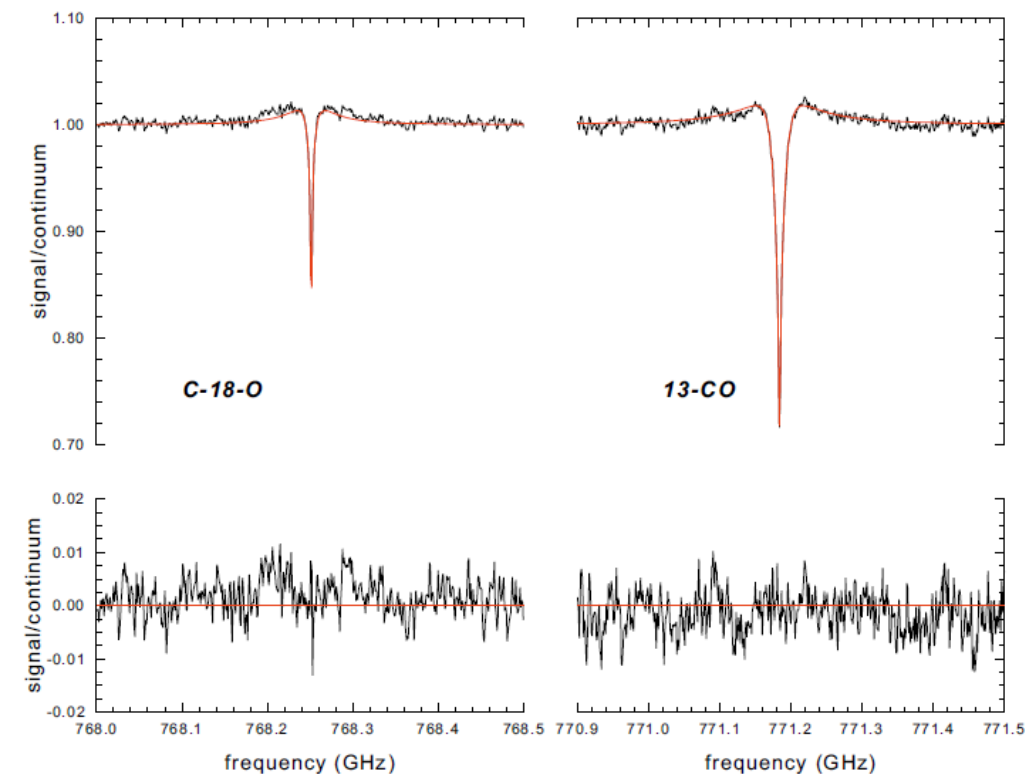


First results on Martian carbon monoxide from *Herschel*/HIFI observations[★]

P. Hartogh¹, M. I. Błęcka², C. Jarchow¹, H. Sagawa^{1,3}, E. Lellouch⁴, M. de Val-Borro¹, M. Rengel¹, A. S. Medvedev¹, B. M. Swinyard⁵, R. Moreno⁴, T. Cavalié¹, D. C. Lis⁶, M. Banaszekwicz², D. Bockelée-Morvan⁴, J. Crovisier⁴, T. Encrenaz⁴, M. Küppers⁷, L.-M. Lara⁸, S. Szutowicz², B. Vandenbussche⁹, F. Bensch¹⁰, E. A. Bergin¹¹, F. Billebaud¹², N. Biver⁴, G. A. Blake⁶, J. A. D. L. Blommaert⁹, J. Cernicharo¹³, L. Decin^{9,14}, P. Encrenaz¹⁵, H. Feuchtgruber¹⁶, T. Fulton¹⁷, T. de Graauw^{18,19,20}, E. Jehin²¹, M. Kidger²², R. Lorente²², D. A. Naylor²³, G. Portyankina²⁴, M. Sánchez-Portal²², R. Schieder²⁵, S. Sidher⁵, N. Thomas²⁴, E. Verdugo²², C. Waelkens⁹, A. Lorenzani²⁶, G. Tofani²⁶, E. Natale²⁶, J. Pearson²⁷, T. Klein²⁸, C. Leinz²⁸, R. Güsten²⁸, and C. Kramer²⁵

(Affiliations are available on page 5 of the online edition)

Received 5 June 2010 / Accepted 6 July 2010



Retrieved vertical profile of temperature

Fig. 2. The ¹³CO and C¹⁸O lines after removal of the baseline ripples. A radiative transfer model was fitted simultaneously to the spectra to retrieve temperature profile and volume mixing ratio of CO. The lower panels show the differences between model and observations.

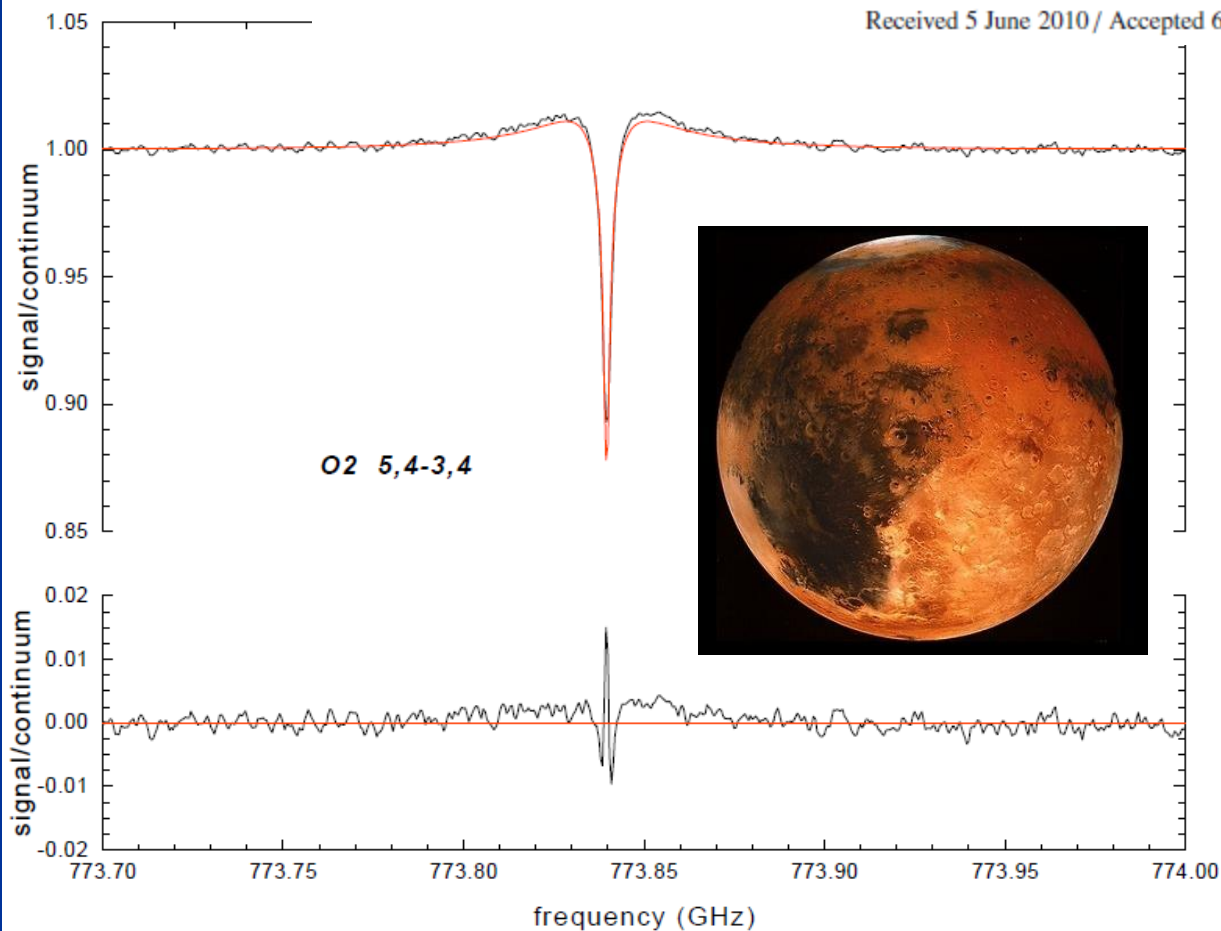


Herschel/HIFI observations of Mars: First detection of O₂ at submillimetre wavelengths and upper limits on HCl and H₂O₂*

P. Hartogh¹, C. Jarchow¹, E. Lellouch², M. de Val-Borro¹, M. Rengel¹, R. Moreno², A. S. Medvedev¹, H. Sagawa^{1,3}, B. M. Swinyard⁴, T. Cavalié¹, D. C. Lis⁵, M. I. Błęcka⁶, M. Banaszekiewicz⁶, D. Bockelée-Morvan², J. Crovisier², T. Encrenaz², M. Küppers⁷, L.-M. Lara⁸, S. Szutowicz⁶, B. Vandenbussche⁹, F. Bensch¹⁰, E. A. Bergin¹¹, F. Billebaud¹², N. Biver², G. A. Blake⁵, J. A. D. L. Blommaert⁹, J. Cernicharo¹³, L. Decin^{9,14}, P. Encrenaz¹⁵, H. Feuchtgruber¹⁶, T. Fulton¹⁷, T. de Graauw^{18,19,20}, E. Jehin²¹, M. Kidger²², R. Lorente²², D. A. Naylor²³, G. Portyankina²⁴, M. Sánchez-Portal²², R. Schieder²⁵, S. Sidher⁴, N. Thomas²⁴, E. Verdugo²², C. Waelkens⁹, N. Whyborn²⁰, D. Teyssier²², F. Helmich¹⁸, P. Roelfsema¹⁸, J. Stutzki²⁵, H. G. LeDuc²⁶, and J. A. Stern²⁶

(Affiliations are available on page 5 of the online edition)

Received 5 June 2010 / Accepted 6 July 2010

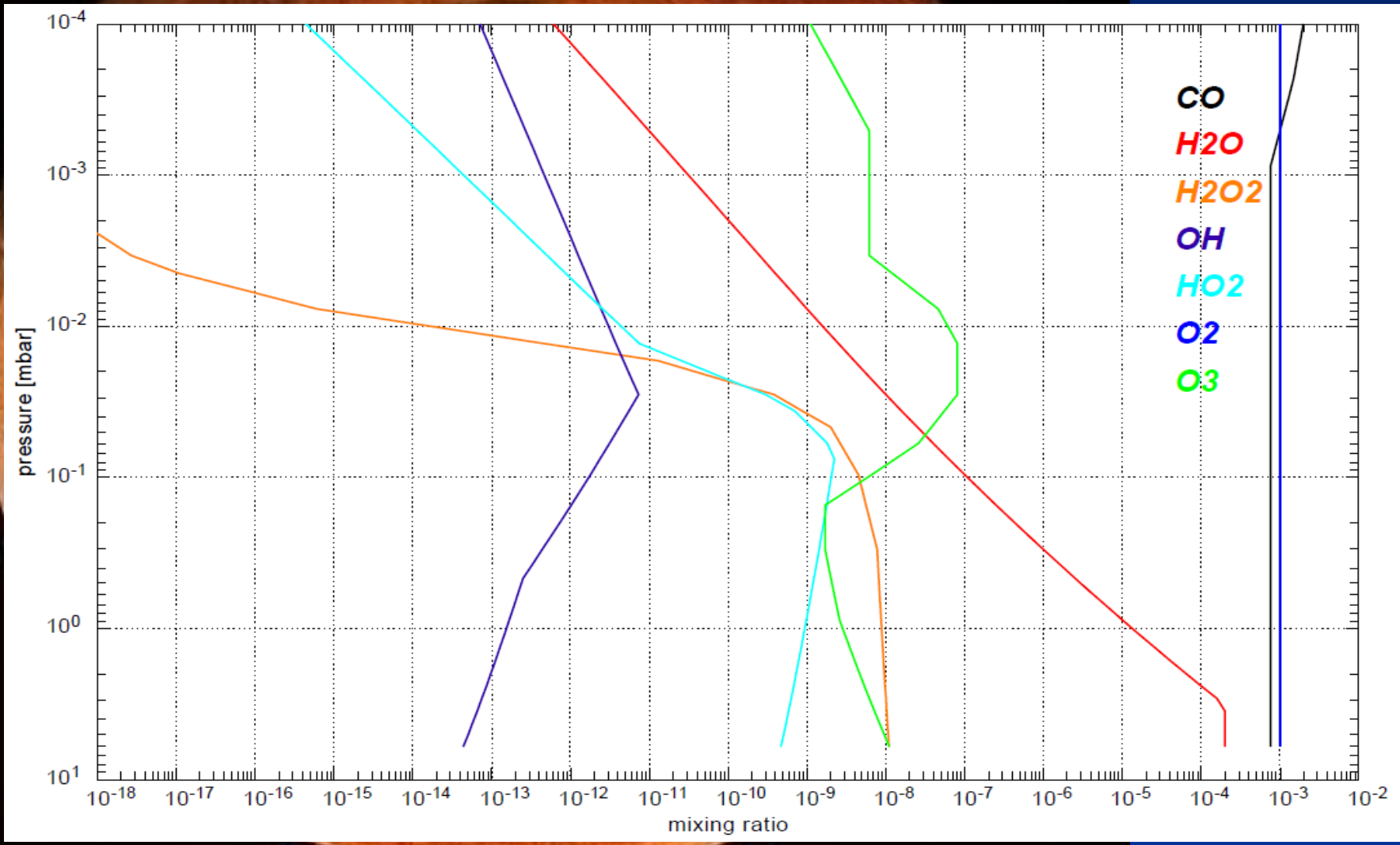


Derivamos una cantidad constante 1400 ppm

Hartogh et al. 2010, A&A 521 L49



Model profiles





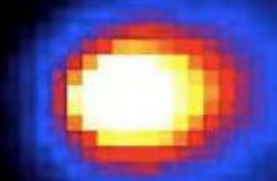
Observaciones de cometas con Herschel

Observaciones de Hartley 2 con Herschel

- Herschel tomó parte en una campaña internacional para estudiar el cometa Hartley 2 antes, durante y después del flyby de EPOXI (Extrasolar Planet Observation and Deep Impact Extended Investigation) mission el 4 de Noviembre de 2010 (el encuentro más cercano ocurrió a las 15:00 CET).

El cometa Hartley 2 pasó justo a 0.11 AU (16.4 millones de km) de Herschel en Octubre 20 2010, proporcionado una oportunidad para adquirir importantes observaciones.

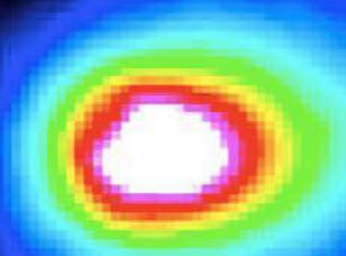
El Cometa 103P/Hartley 2 visto por Herschel/SPIRE
24 Octubre 2010



E - 11



El Cometa 103P/Hartley 2 visto por Herschel/PACS
25 Octubre 2010



E - 10

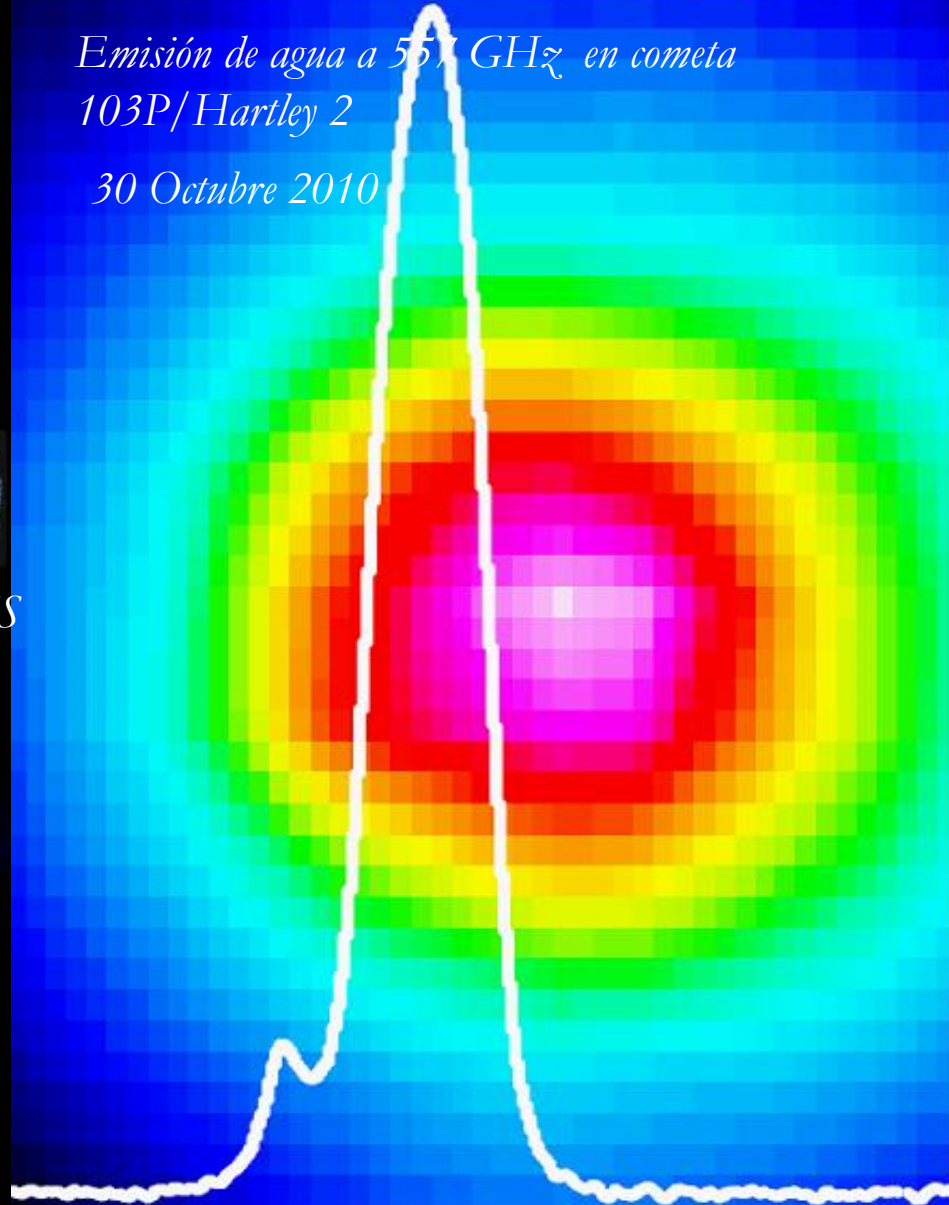


E-5



Emisión de agua a 557 GHz en cometa
103P/Hartley 2

30 Octubre 2010



- El espectro revela que se evaporan 230 kg de hielo cada segundo
- PACS y SPIRE permiten mediciones de las líneas de agua. HIFI proporciona información de la cinemática del gas del cometa
- PACS también proporciona imágenes de la emisión del agua y polvo durante el flyby de EPOXI



Observaciones del cometa C/2006 W3 (Christensen)



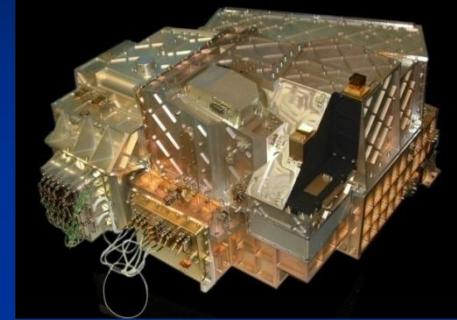
August 15, 2009 Credit : Rok Palcic

- *Cometa de largo período* ($P = 140,000$ años) de la nube de Oort
- *Distante* : perihelio el 6 Jul. 2009 a 3.13 AU desde el Sol
- Brillante ($m_v = 8.5$ a 3.1 AU) sugiriendo una actividad por CO, CO₂
- *Es un cometa débil* para investigar el agua con PACS/SPIRE a bordo de Herschel

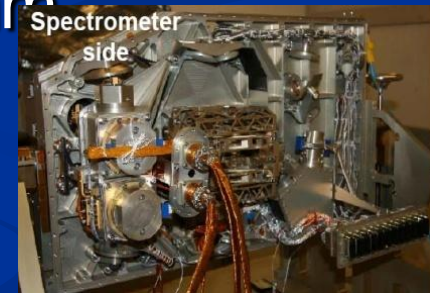


Observaciones de C/2006 W3 (Christensen) con Herschel

Debido a su brillo ($m_v \sim 8.5$ at perihelion), fué un cometa interesante para estudiar la actividad cometaria distante ($r_h = 3.3$ AU, $\Delta = 3.5 - 3.7$ AU).



- **PACS** (1 & 8 Nov. 2009)
 - Mapas fotométricos
 - Espectroscopía: 5 líneas de agua a 108.15, 138.6, 174.75, 179.65 y 180.61 μm
 - SEDs scans
- **SPIRE** (8 Nov. 2009)
 - Scans de alta resolución



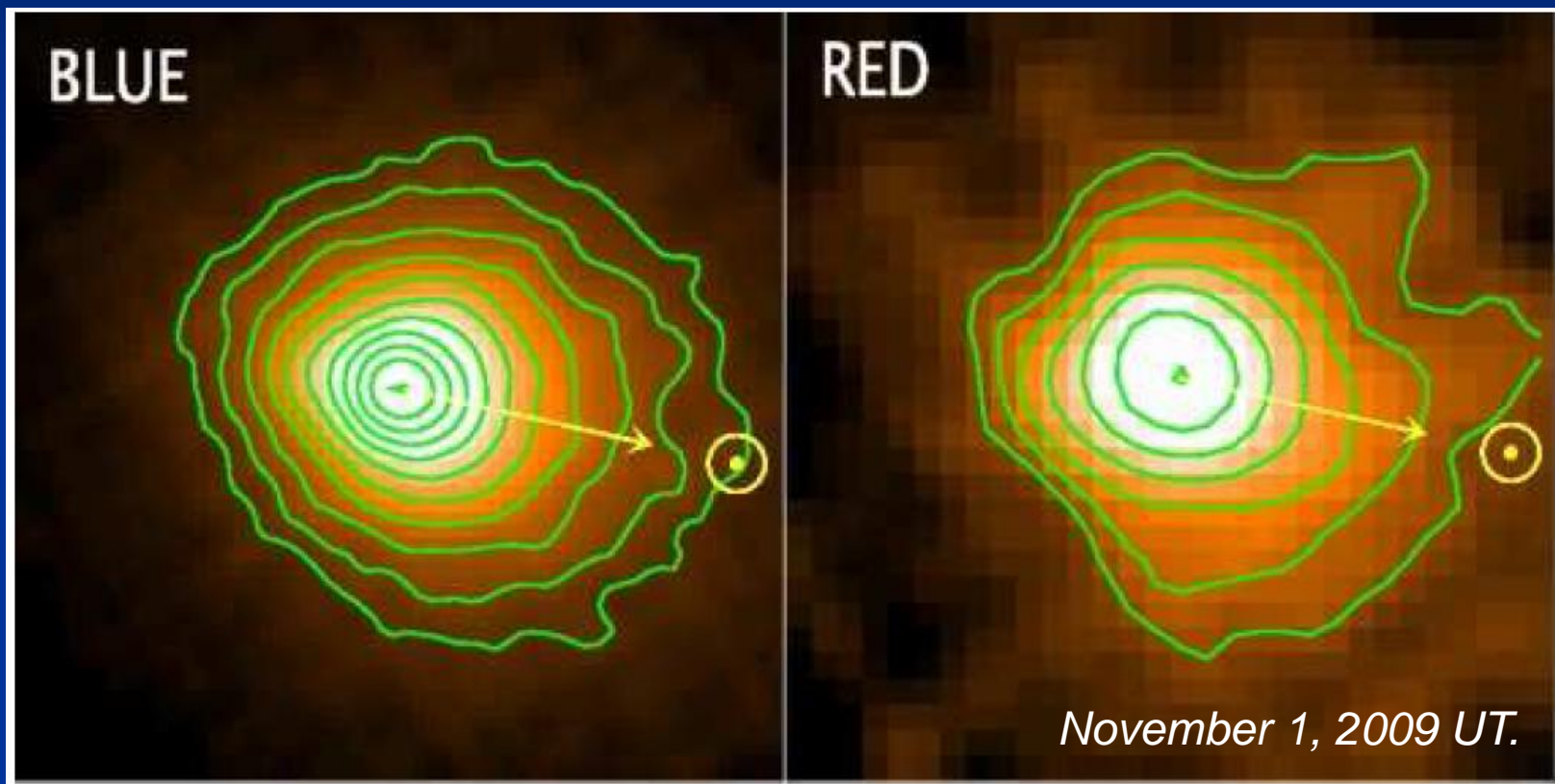


Comet imaging with PACS

Polvo de la coma

$1' \times 1'$ ($1' = 1.6 \times 10^5 \text{ km}$)

$1' \times 1'$

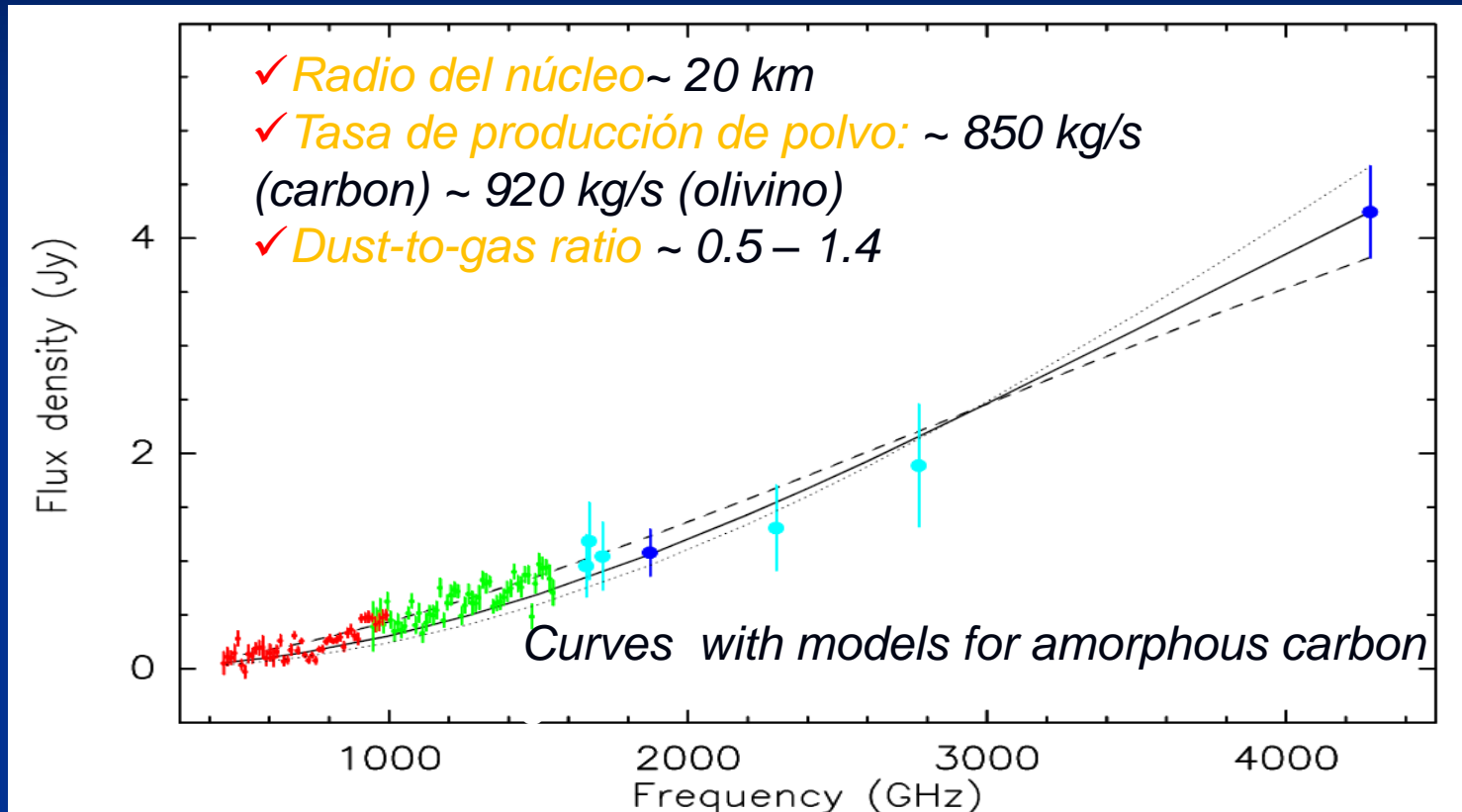


$70 \mu m$

$160 \mu m$



PACS & SPIRE SEDs: partículas grandes



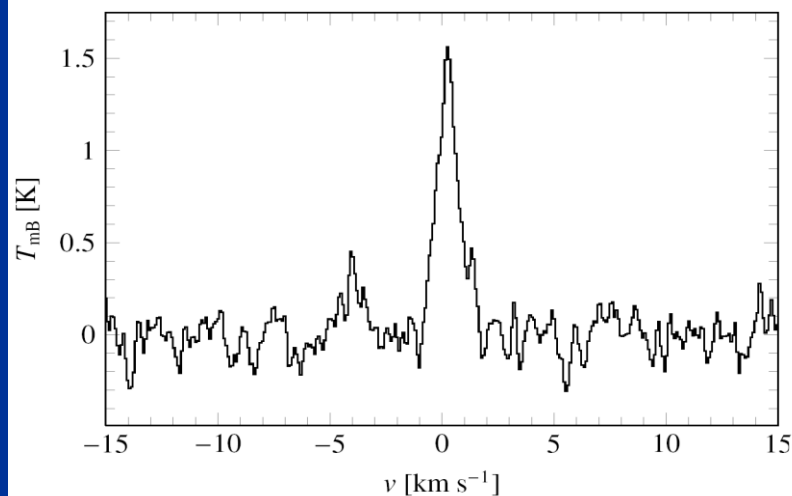
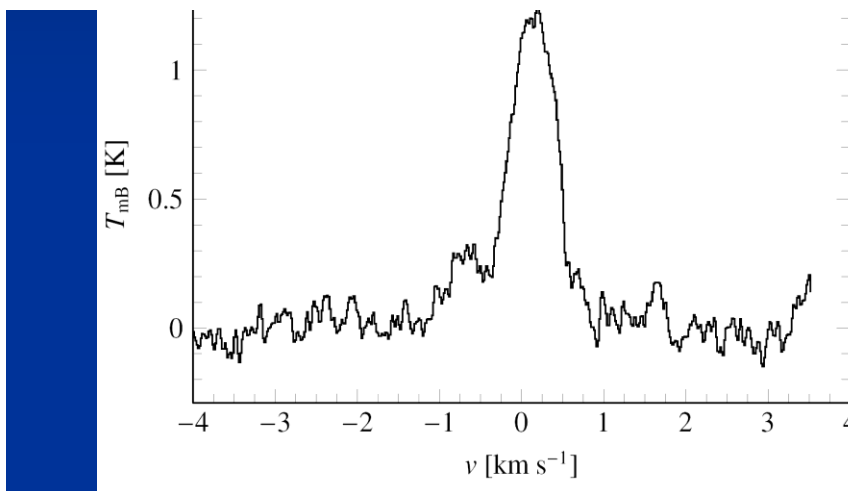
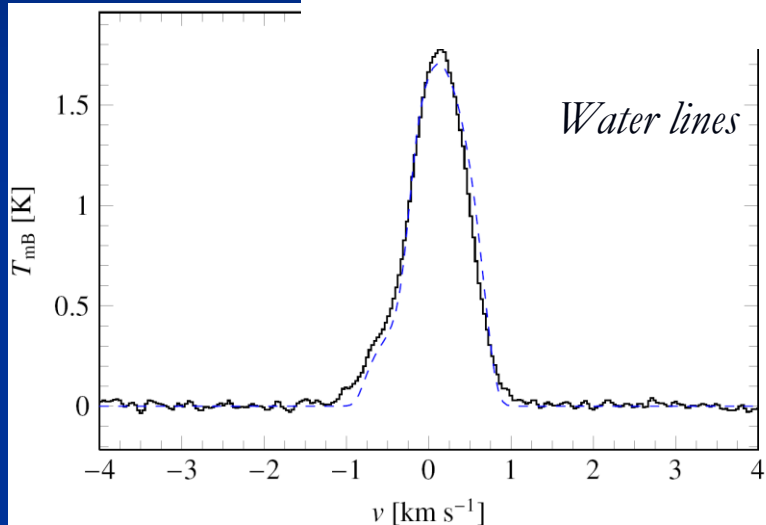
*SED indicates thermal emission from large particles
Model for amorphous grains with 0.9 mm diameter fits best*



Water production in comet 81P/Wild 2 as determined by *Herschel*/HIFI^{★,★★}

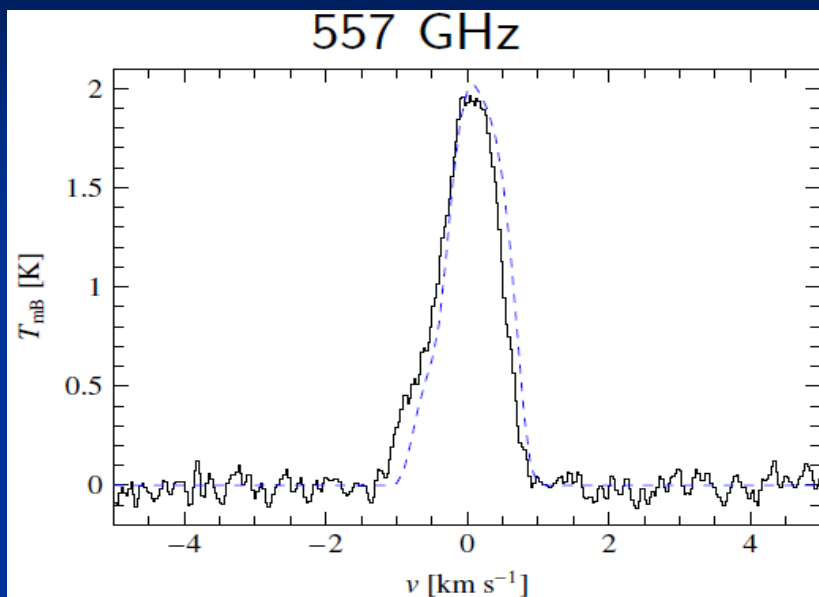
M. de Val-Borro¹, P. Hartogh¹, J. Crovisier², D. Bockelée-Morvan², N. Biver², D. C. Lis³, R. Moreno², C. Jarchow¹, M. Rengel¹, S. Szutowicz⁴, M. Banaszekiewicz⁴, F. Bensch⁵, M. I. Błęcka⁴, M. Emprechtinger³, T. Encrenaz², E. Jehin⁶, M. Küppers⁷, L.-M. Lara⁸, E. Lellouch², B. M. Swinyard⁹, B. Vandenbussche¹⁰, E. A. Bergin¹¹, G. A. Blake³, J. A. D. L. Blommaert¹⁰, J. Cernicharo¹², L. Decin^{10,13}, P. Encrenaz¹⁴, T. de Graauw^{15,16,17}, D. Hutsemékers⁶, M. Kidger¹⁸, J. Manfroid⁶, A. S. Medvedev¹, D. A. Naylor¹⁹, R. Schieder²⁰, D. Stam¹⁵, N. Thomas²¹, C. Waelkens¹⁰, R. Szczerba²², P. Saraceno²³, A. M. Di Giorgio²³, S. Philipp²⁴, T. Klein²⁴, V. Ossenkopf^{20,15}, P. Zaal¹⁵, and R. Shipman¹⁵

Feb. 2010

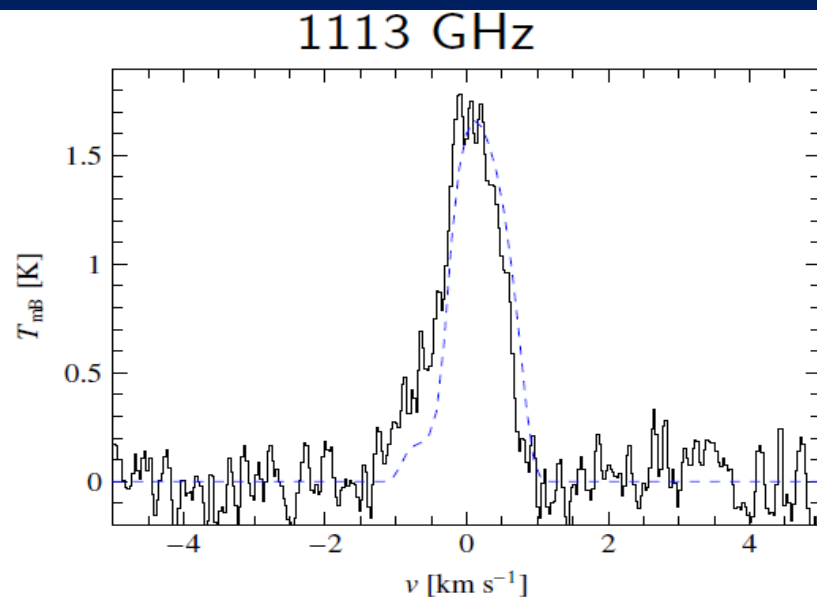


HIFI permite la detección de múltiples líneas de rotación de agua

Observaciones de 81P Wild 2 con HIFI



HRS spectra Feb 4.2 (748 s)

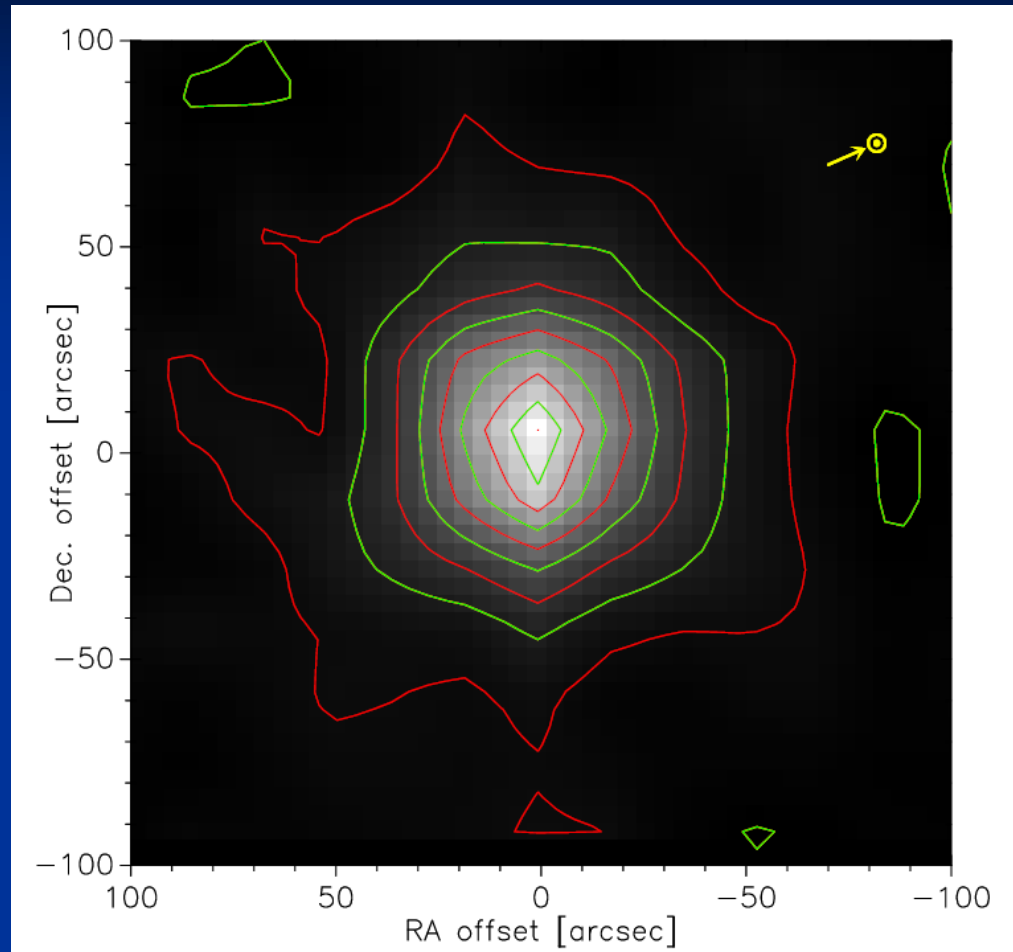


HRS spectra Feb 2.13 (390 s)
and 2.15 (366 s)

- Lines are optically thick and slightly asymmetric
- Dashed line shows the isotropic MC code ($v_{\text{exp}} = 0.6 \text{ km s}^{-1}$, $T = 40 \text{ K}$, and $x_{n_e} = 0.2$) $Q_{\text{H}_2\text{O}} = 0.9\text{--}1.1 \times 10^{28} \text{ s}^{-1}$



Mapa de C/2008 Q3 (Garradd) a 557 GHz



- Contornos: 0.2 K km/s de 0 – 1.8 K km/s
- Ancho del Mapa : 300000 km
- Se mide la temperatura del gas neutro



Resultados de C/2008 Q3

Observaciones del Cometa C/2008 con HIFI el 20-27 Julio 2009

Primera detección de las líneas rotacionales del $1_{11}-0_{00}$ (1113 GHz) y $2_{12}-1_{01}$ (1669 GHz) en un cometa

Parámetros derivados:

Temperatura del gas: 15 K

Velocidad de expansión del gas: 0.55 km/s

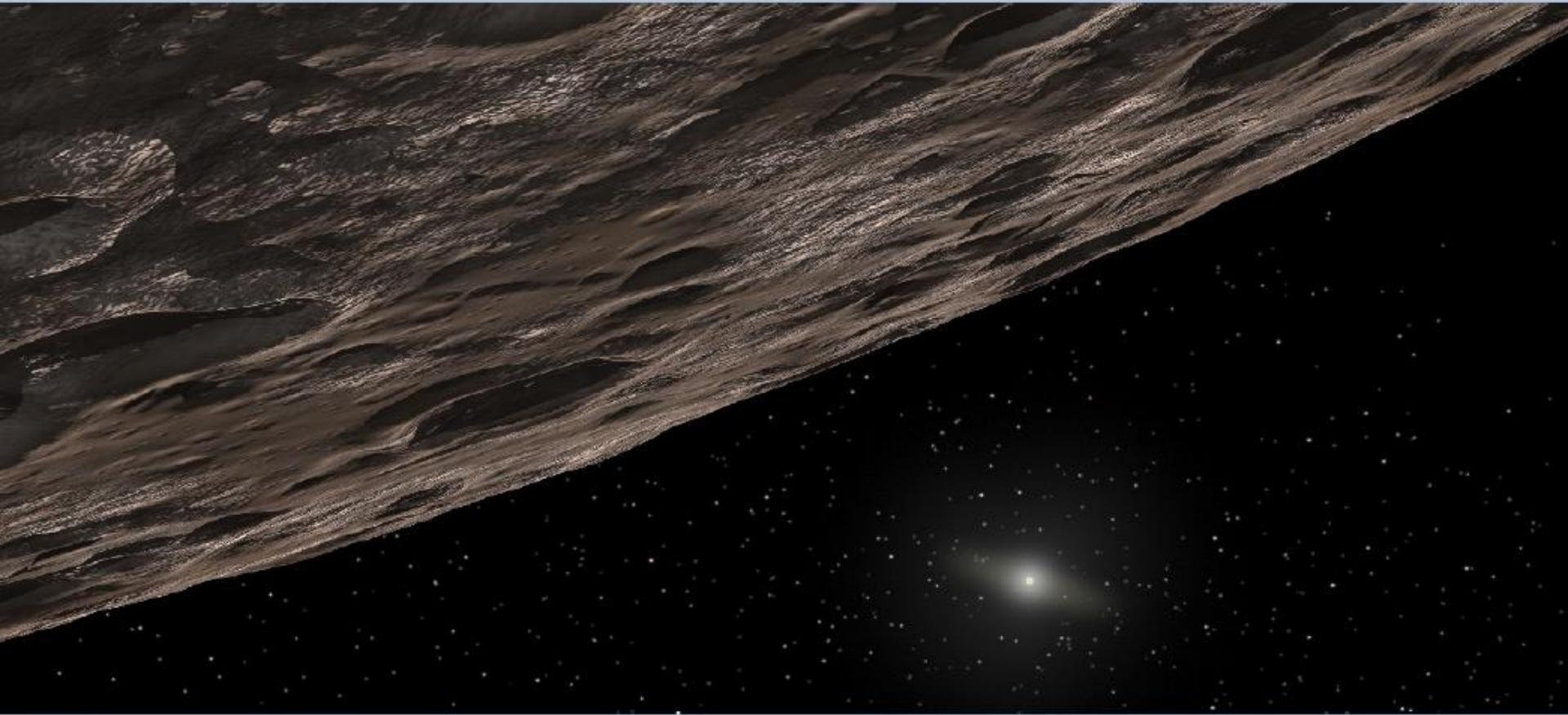
Tasa de producción de agua: $1.7 - 2.7 \times 10^{28}/s$

La tasa disminuye desde el 20 – 27 July 2009

Observaciones de TNOs con Herschel

TNOs are Cool:

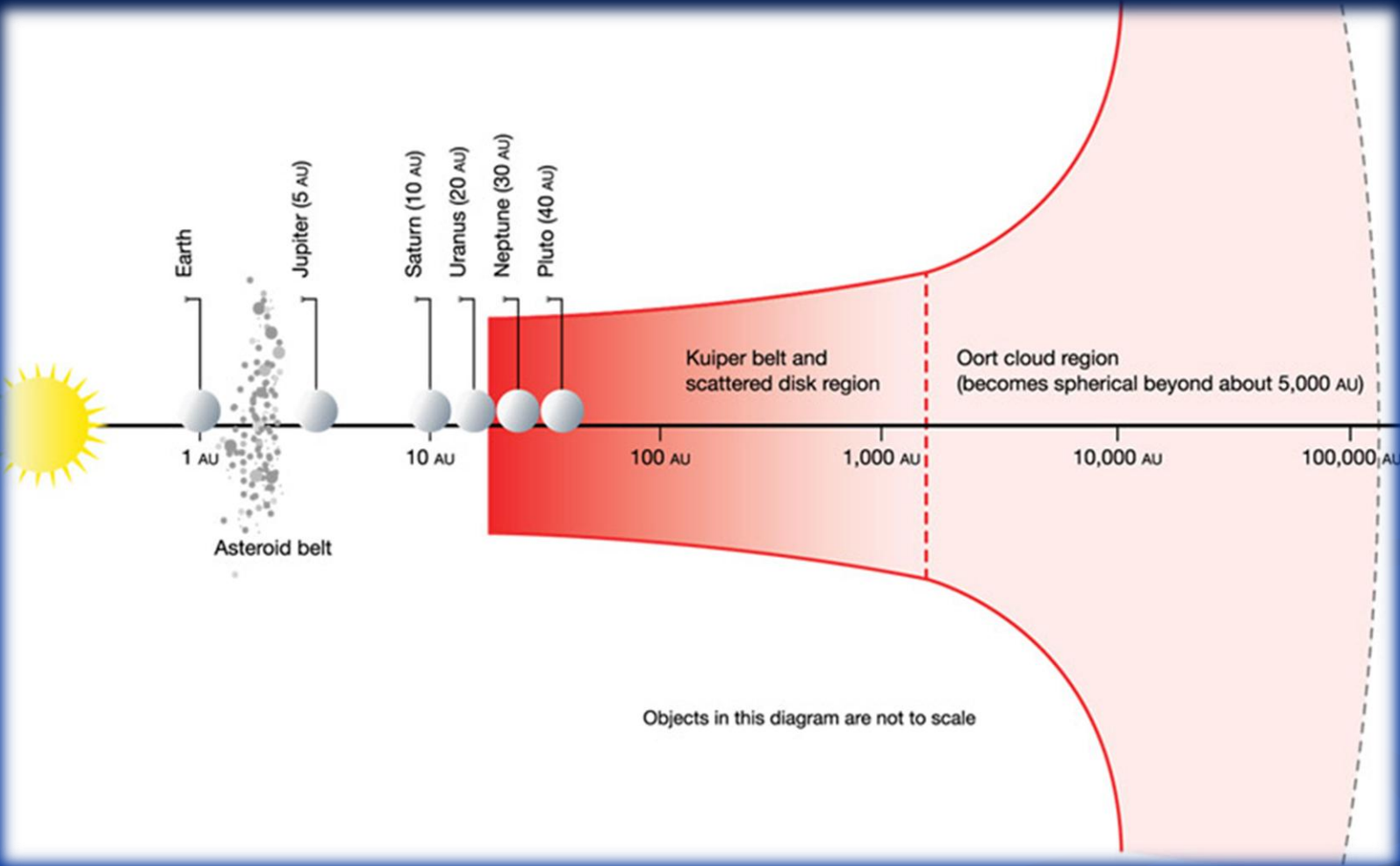
A Survey of the Transneptunian Region



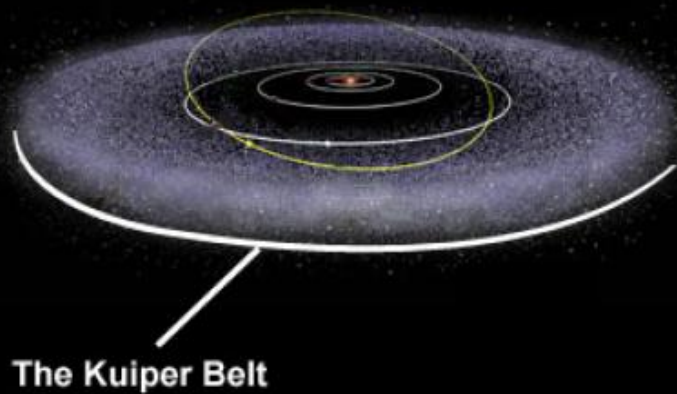
Thomas Müller
MPE Garching

The TNOs-are-Cool Team
(39 members, 19 institutes, 9 countries)

Diagrama mostrando el cinturón de Kuiper y la nube de Oort con el sistema planetario a escala

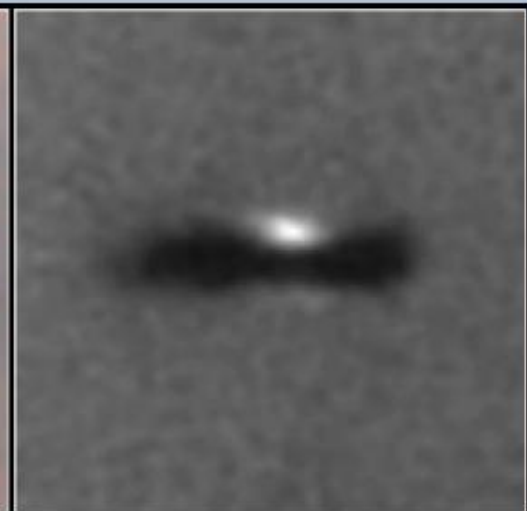


TNOs representan remanentes primitivos



Edge-On Protoplanetary Disk
Orion Nebula

PRC95-45c - ST ScI OPO - November 20, 1995
M. J. McCaughrean (MPIA), C. R. O'Dell (Rice University), NASA



HST · WFPC2

Herschel estudia el cinturón de Kuiper y Objetos transneptunianos

→ a benchmark for understanding the solar system debris disk, and extra-solar ones as well!

Müller et al. 2009, Earth, Moon & Planet 105, 209-219

Propiedades de la muestra

- TNOs son fríos
Temperaturas desde 30 a 100 K
Distancias del Sol: 30 – 100 AU
- TNOs son fríos
Radian menos del 10% (cometas < 5 %)
Unos pocos radian el 50%
por qué?
- Rango de tama~nos
100 km – 2300 km
solos, binarios, múltiples objetos

The “TNOs are cool” KP-OT program

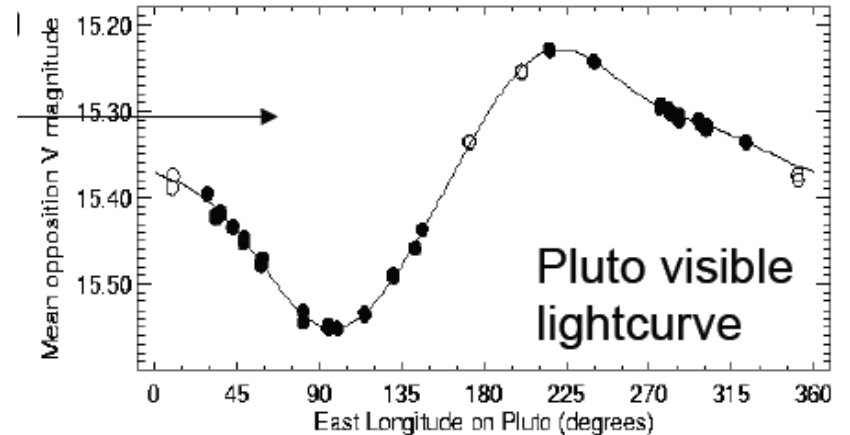
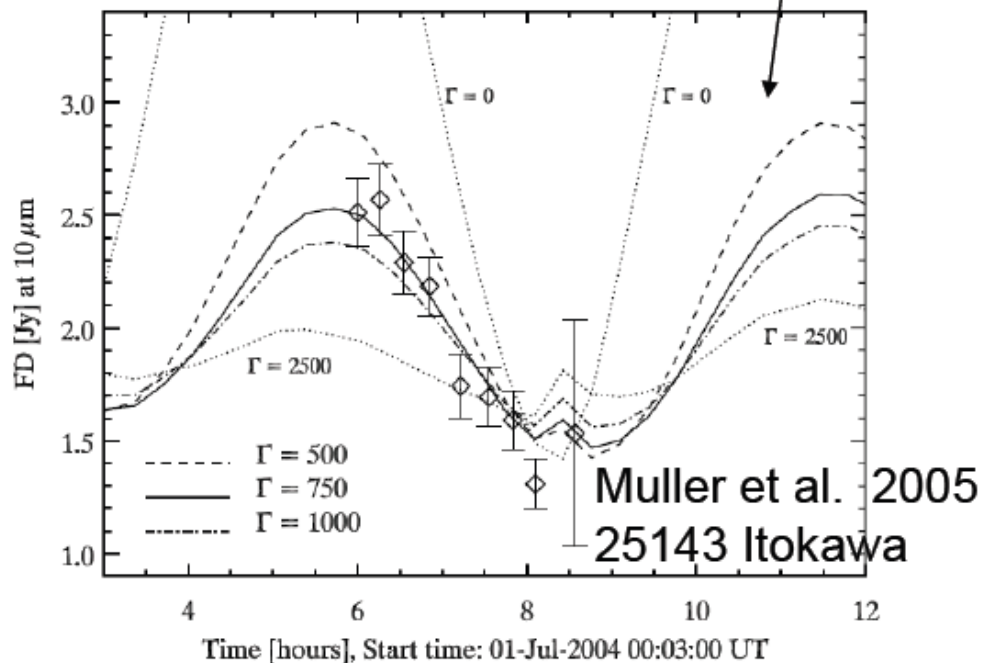


- Mediciones de la emisión térmica de ~140 objetos transneptunianos
- Metas
 - Determinar el diámetro y el albedo de una muestra de TNOs
 - Distribución del tamaño
 - Evolución física
 - Estudio detallado de una sub-muestra de objetos
 - Curvas de luz térmicas
 - 372 horas (90% PACS, 10% SPIRE)

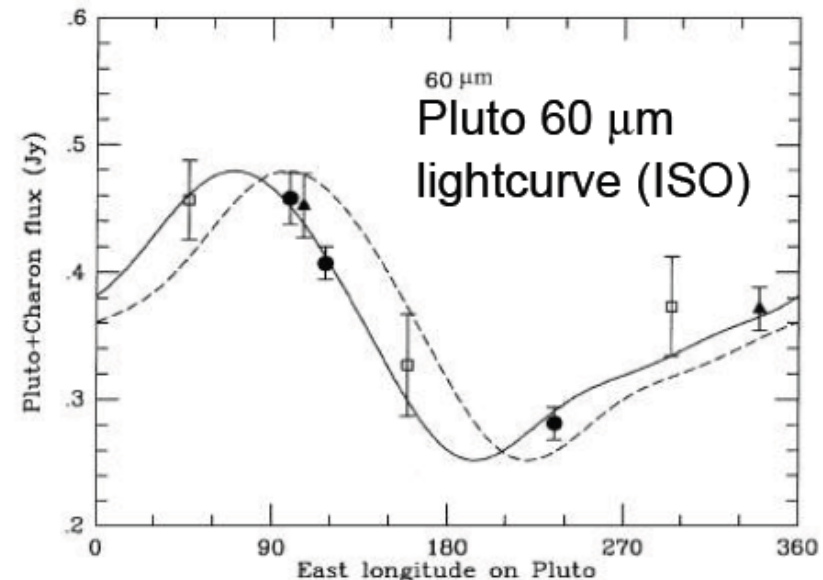
Por qué las curvas de luz?

Las curvas de luz pueden originarse por:
efectos de albedo (ej. Pluto)
efectos de la forma (asteroides)

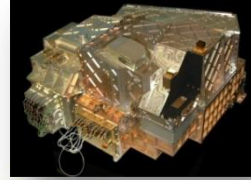
En ambos casos, se obtiene información de las propiedades termofísicas



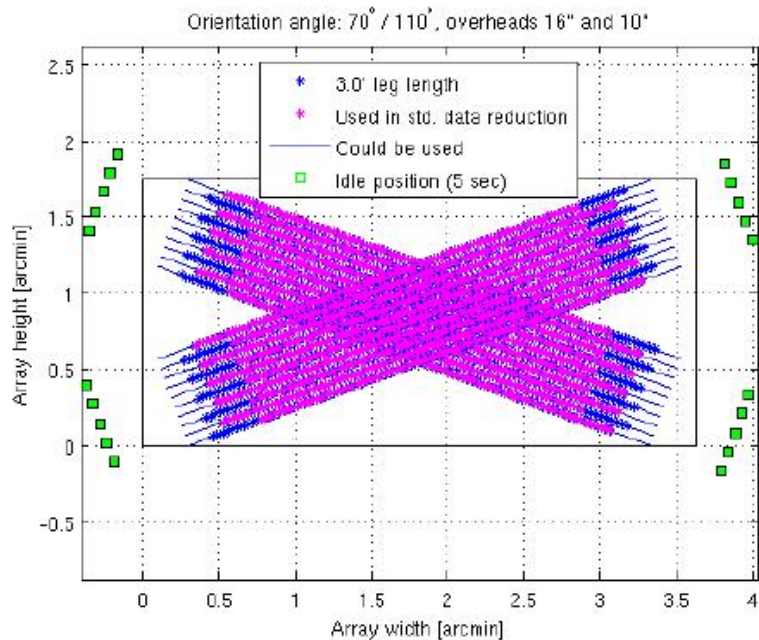
Figure



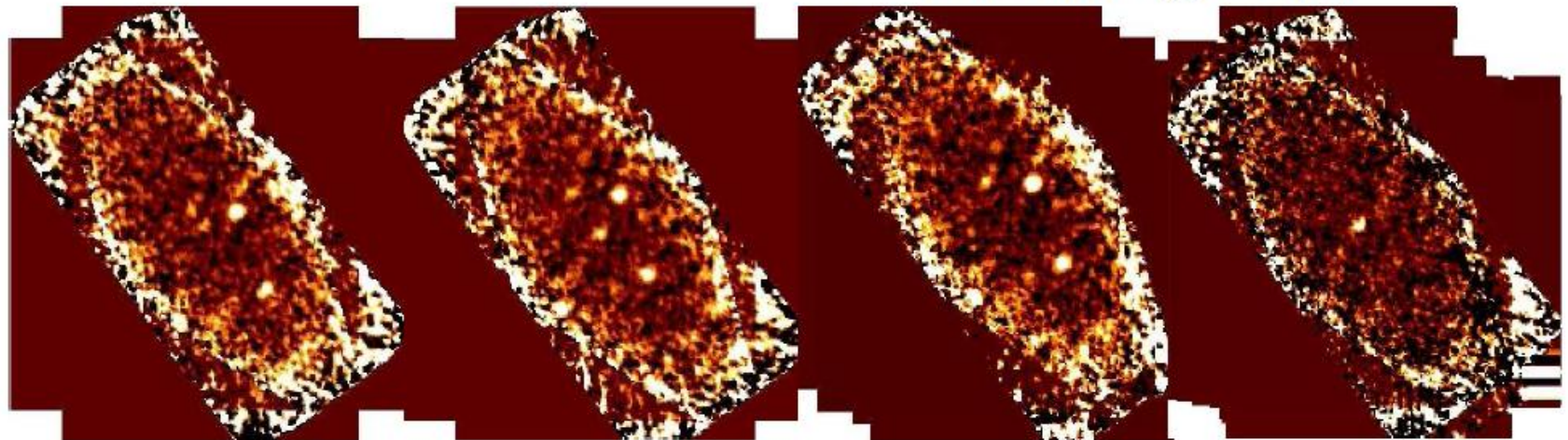
Lellouch et al. 2000



Observations (PACS): scan-map + follow-on



Makemake @ $160 \mu\text{m}$



Visit 1 (t)

Visit 2 (~t+2days)

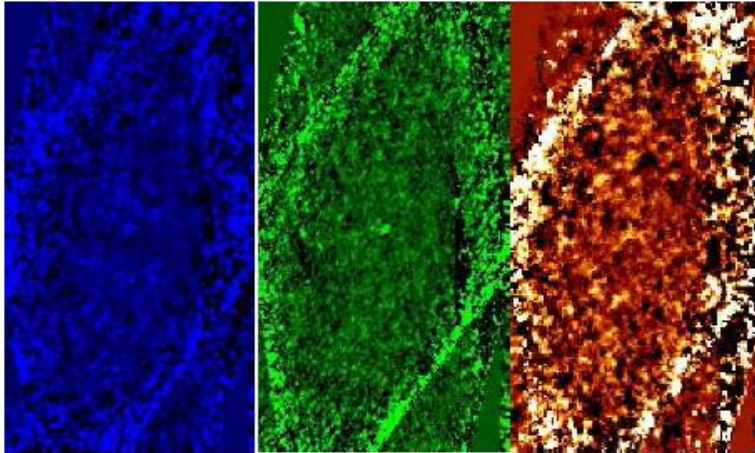
« Sky »

Final

Primera detección térmica de Sedna

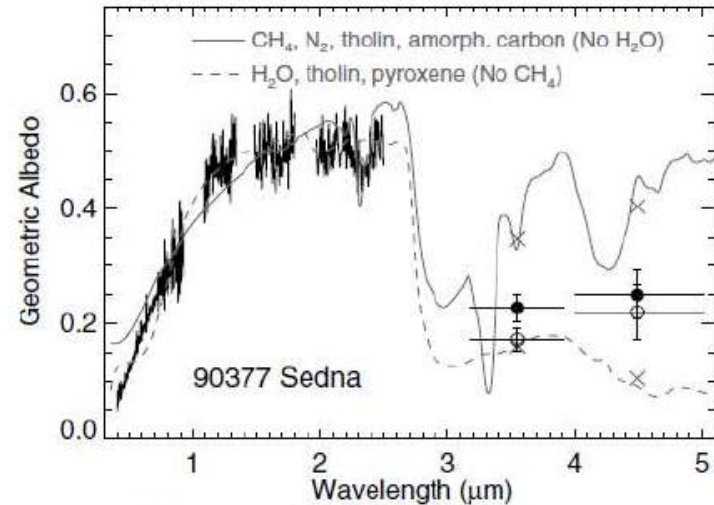
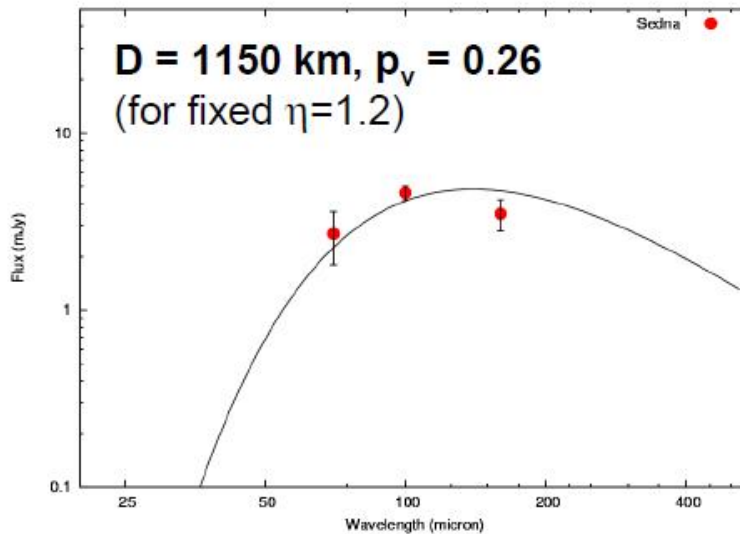
Sedna

70 100 160



Detached/Oort-cloud object
 $q = 76 \text{ AU}$

Probable presence of ices
(CH_4 , H_2O)



Emery et al. 2007

136808 HAUMEA : Un objeto remarkable



- “Classical” TNO, $a = 43$ AU, $e=0.20$, $i=28^\circ$, currently at $r_h = 51$ AU

Curva de luz con gran amplitud ($\Delta m = 0.28$ mag) Rota rápidamente ($P \sim 3.9$ hr)

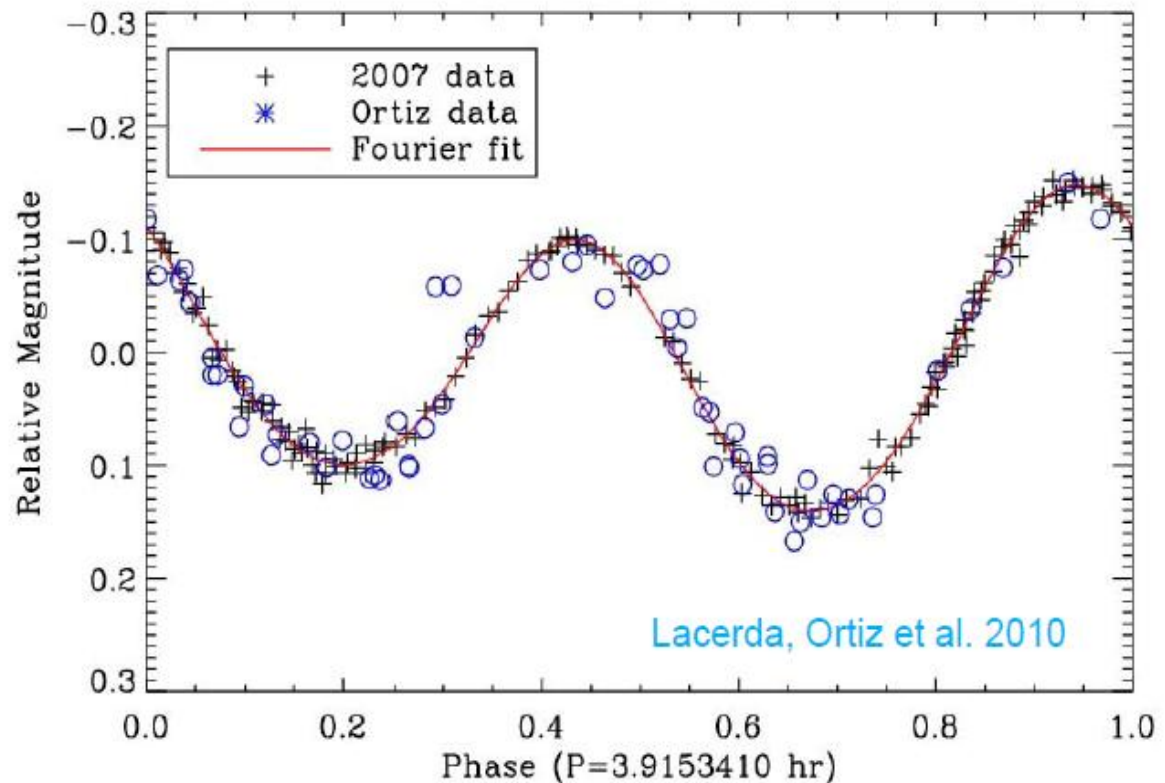
Gran albedo ($>60\%$)

Dos lunas:

- Mass known (1/3 Pluto).

- Axe lengths:

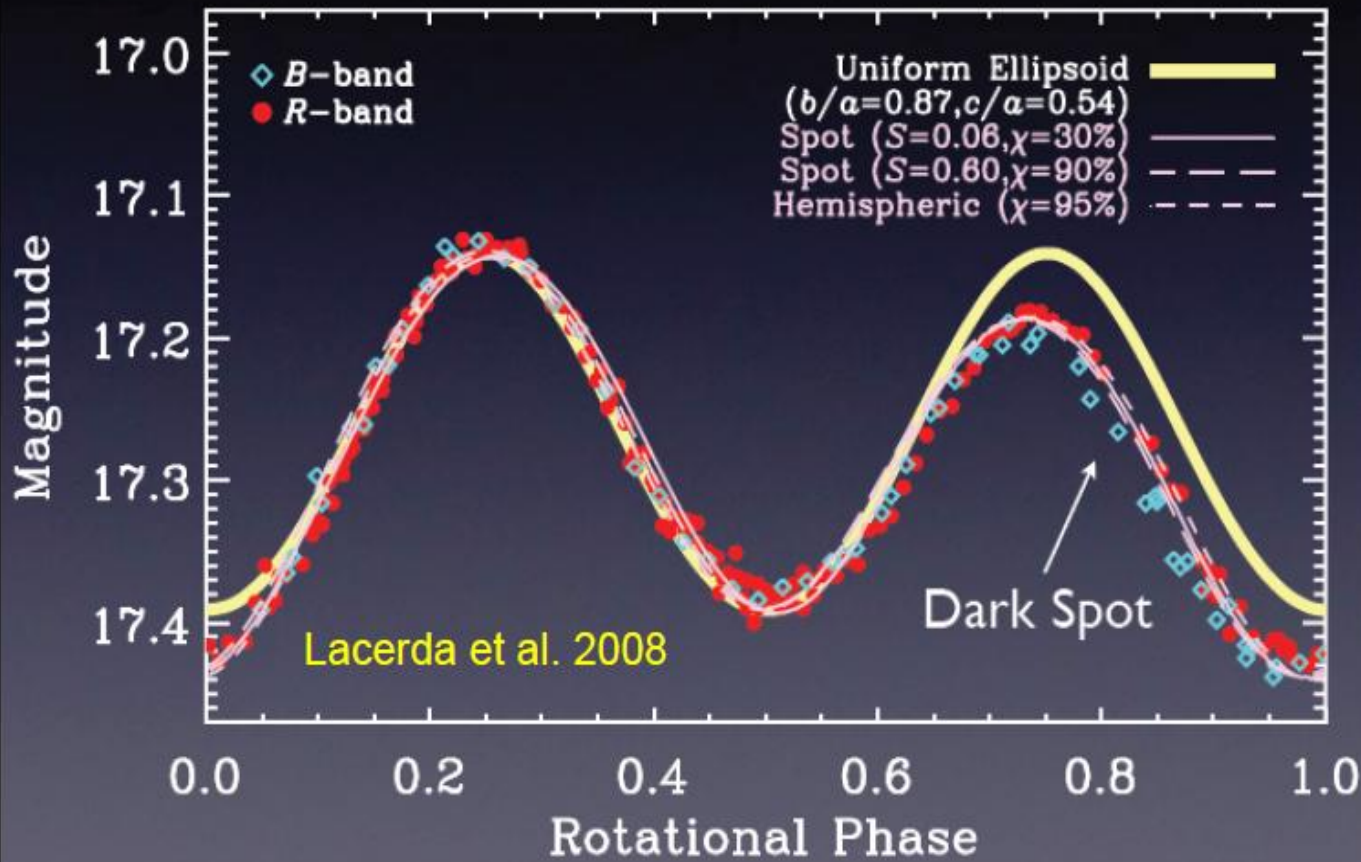
2000 x 1600 x 1000 km



136808 HAUMEA : Un objeto remarkable



Curva de luz con doble pico \rightarrow evidencia de una mancha, origen de una colisión?



Equatorial view



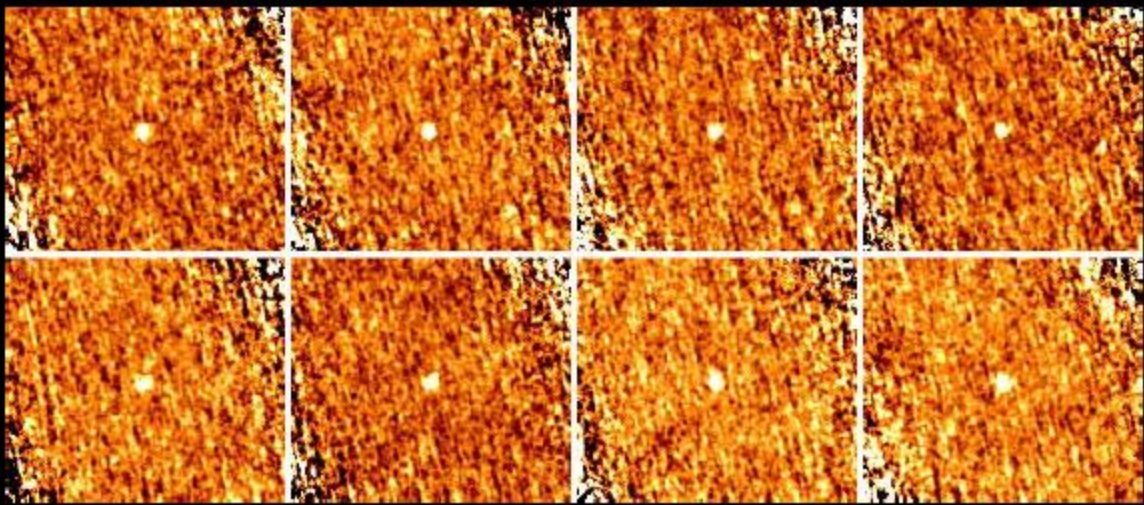
Lacerda 2009



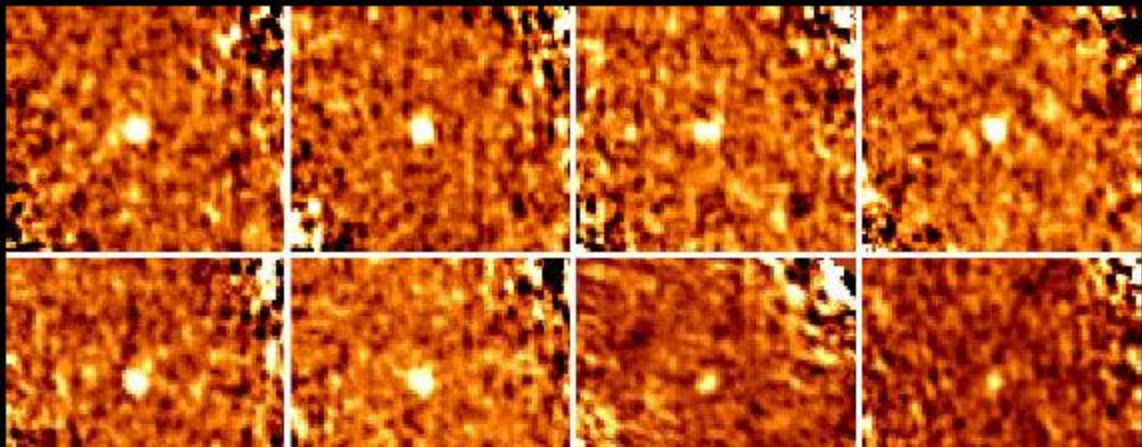
Observaciones de Herschel



- PACS at 100/160 micrones
- Fechas : Dec 23, 25 2009, Junio 20-21 2010
- Phase: 3.9153 h



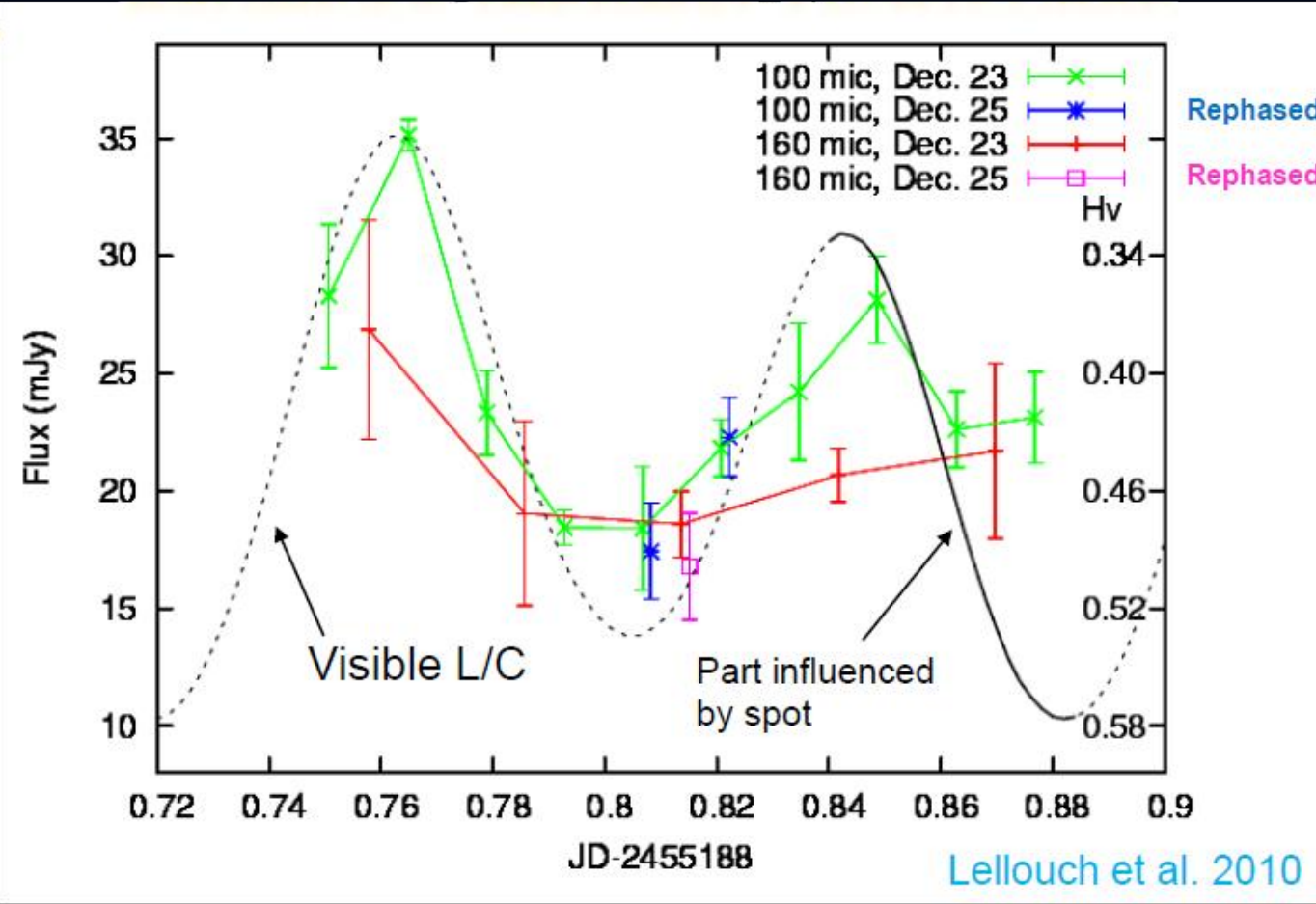
Haumea
PACS
100 μm



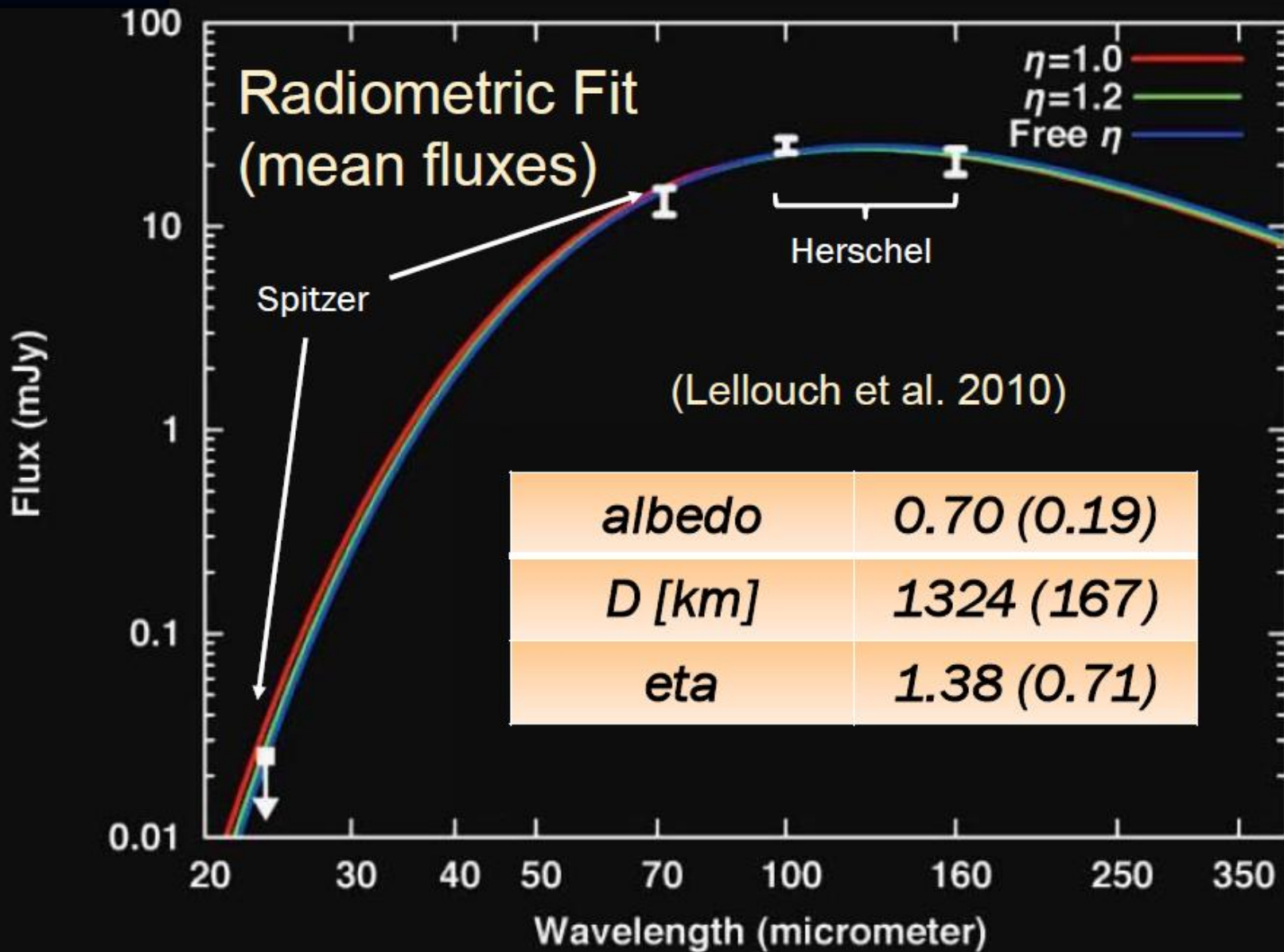
Haumea
PACS
160 μm



La curva de luz de Haumea



- Clear 100 μm L/C
- Se correlaciona con la curva visible \rightarrow efecto de la forma confirmado
- Amplitud larga
- Marginal 160 μm L/C

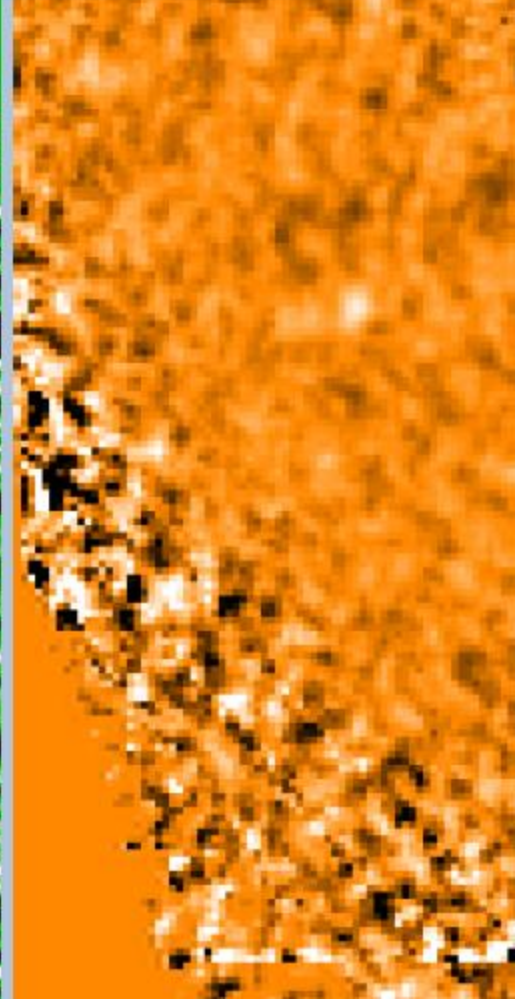
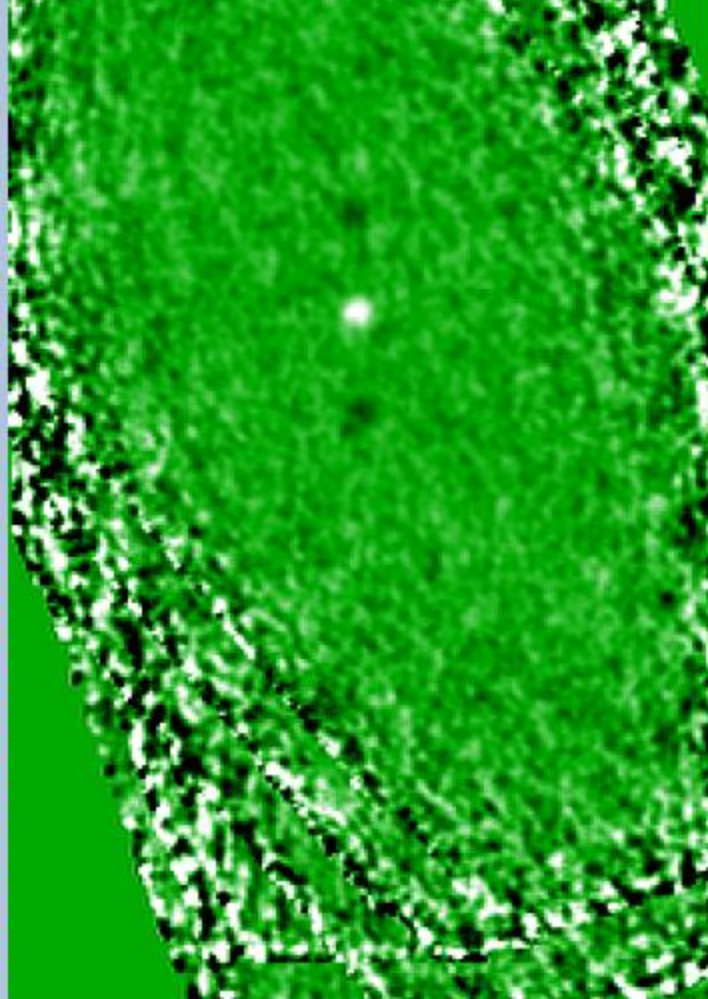
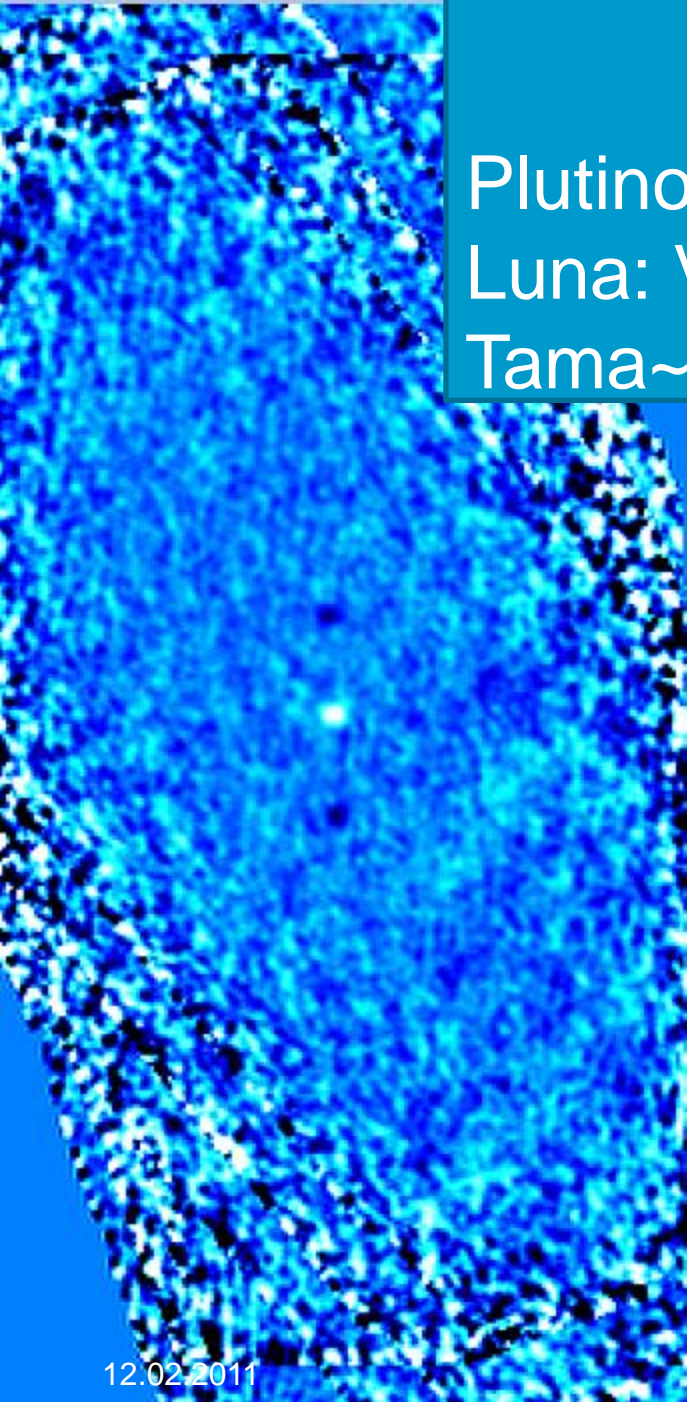


90482 Orcus

Plutino

Luna: Vanth

Tamaño: 940 +/- 70 km, albedo: 0.28



(90482) Orcus

$D = 867 (57) \text{ km}$

$P_v = 0.25 (0.03)$

$\eta = 0.97 (0.07)$

FD [mJy]

10.0

1.0

0.1

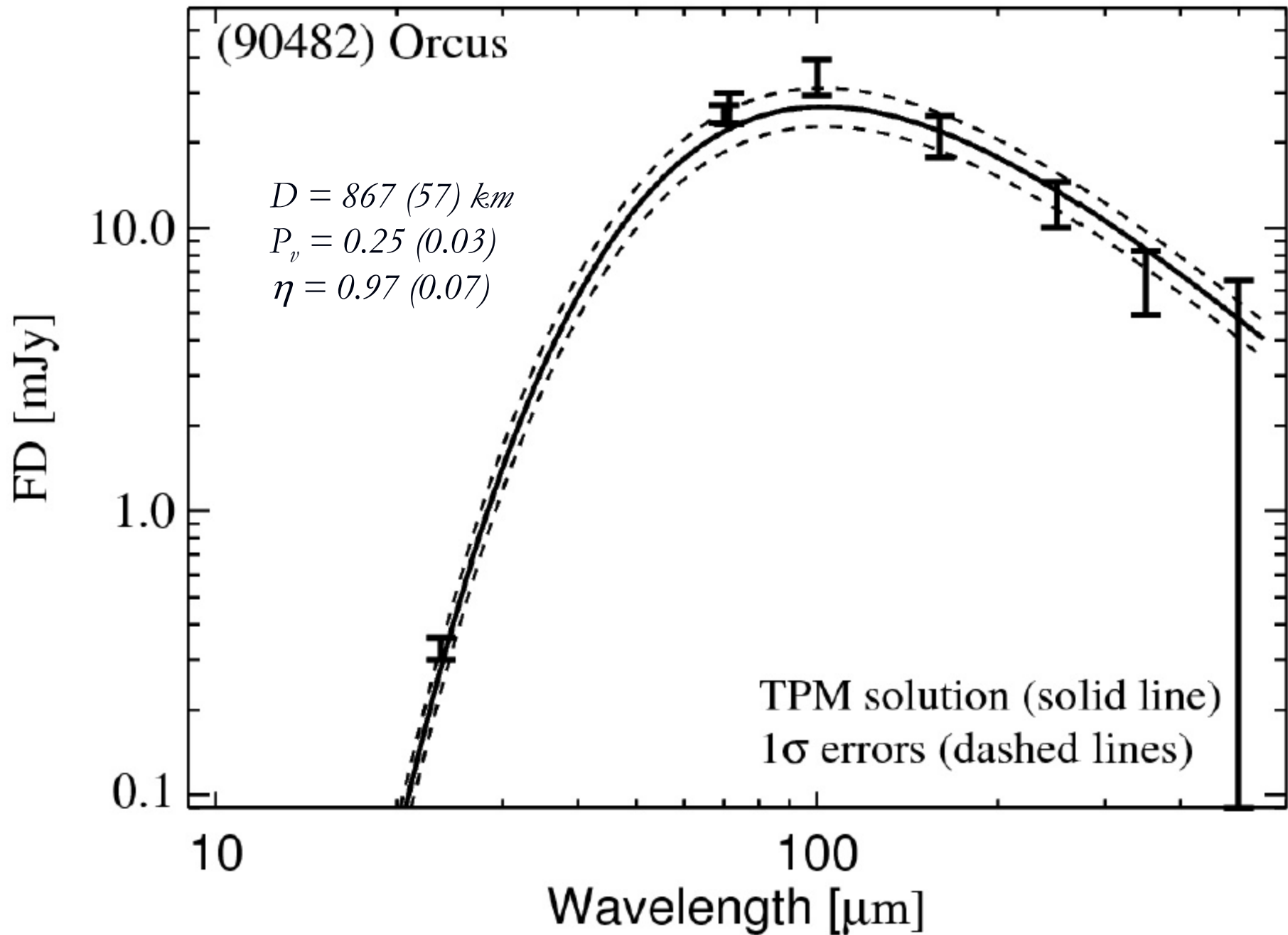
TPM solution (solid line)

1σ errors (dashed lines)

10

100

Wavelength [μm]



Makemake

Negative
image

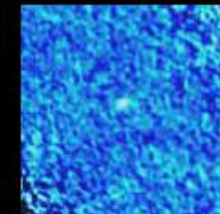
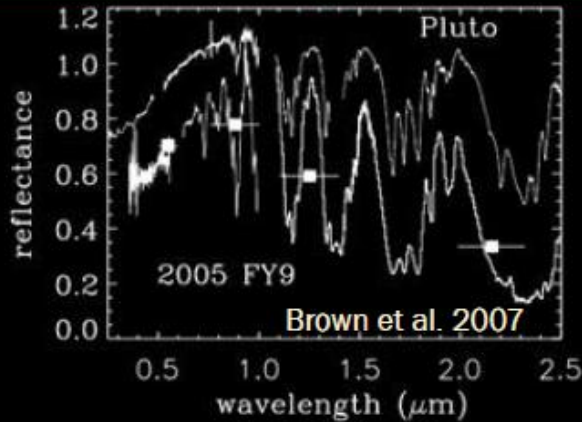
Positive
image



136472 MAKEMAKE (2005 FY9)



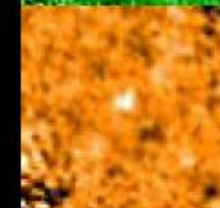
- TNO clásico – planeta enano
- No tiene lunas conocidas
- Curva de luz con amplitud de delta $m=0.014$
- Fase: 7.65 h
- Gran Albedo (de los más altos en el sistema solar)



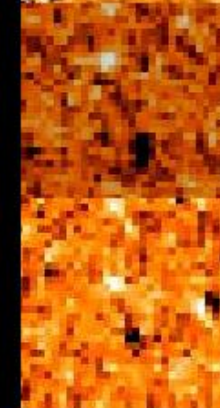
PACS 70 μm



PACS 100 μm



PACS 160 μm



SPIRE 250 μm

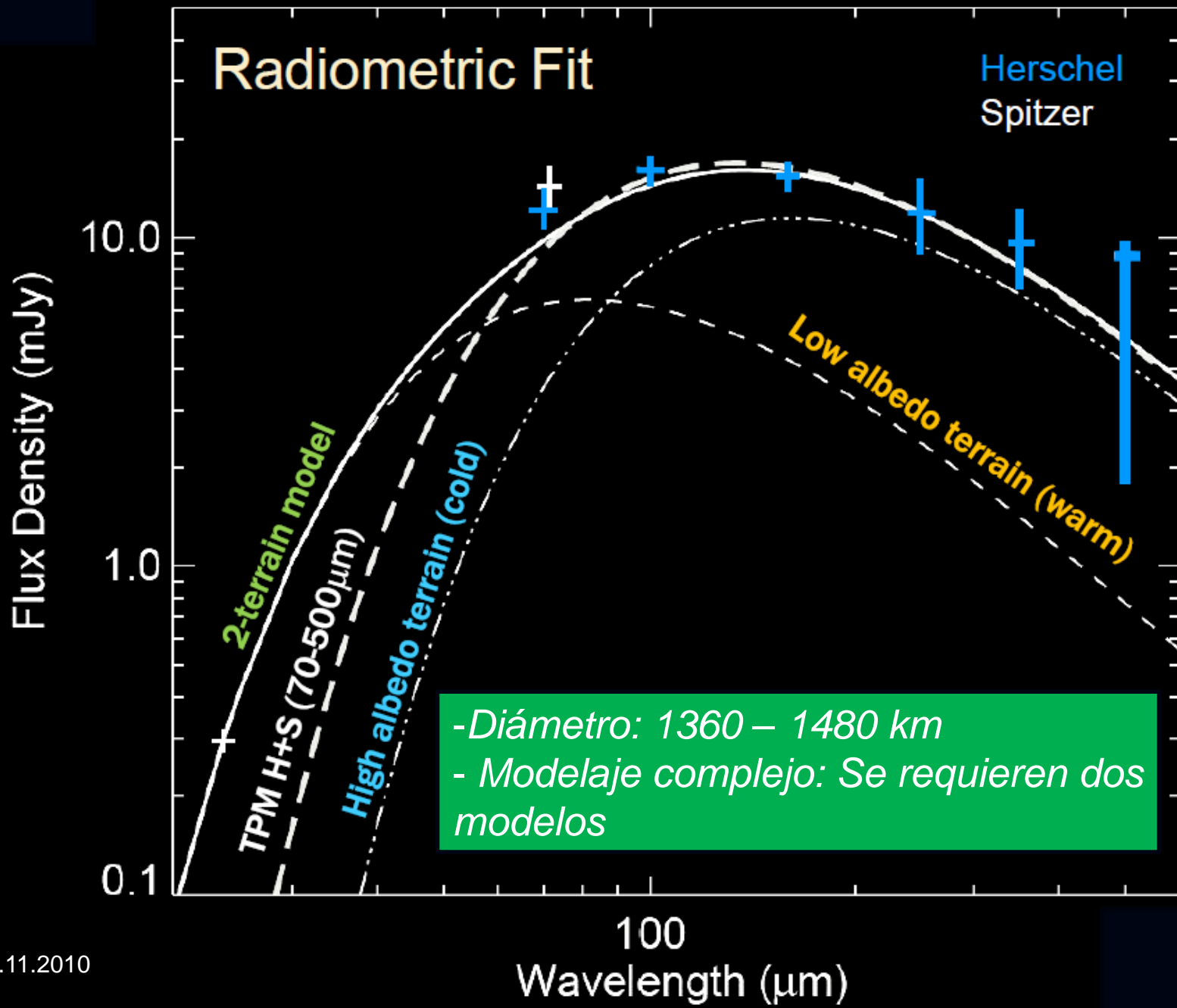
SPIRE 350 μm

Herschel Observations

- PACS at 70/100/160 μm \rightarrow Nov. 30 2009 & Jun. 3 2010
- SPIRE at 250/350/500 μm \rightarrow Nov. 30 2009 & Jun 11 2010

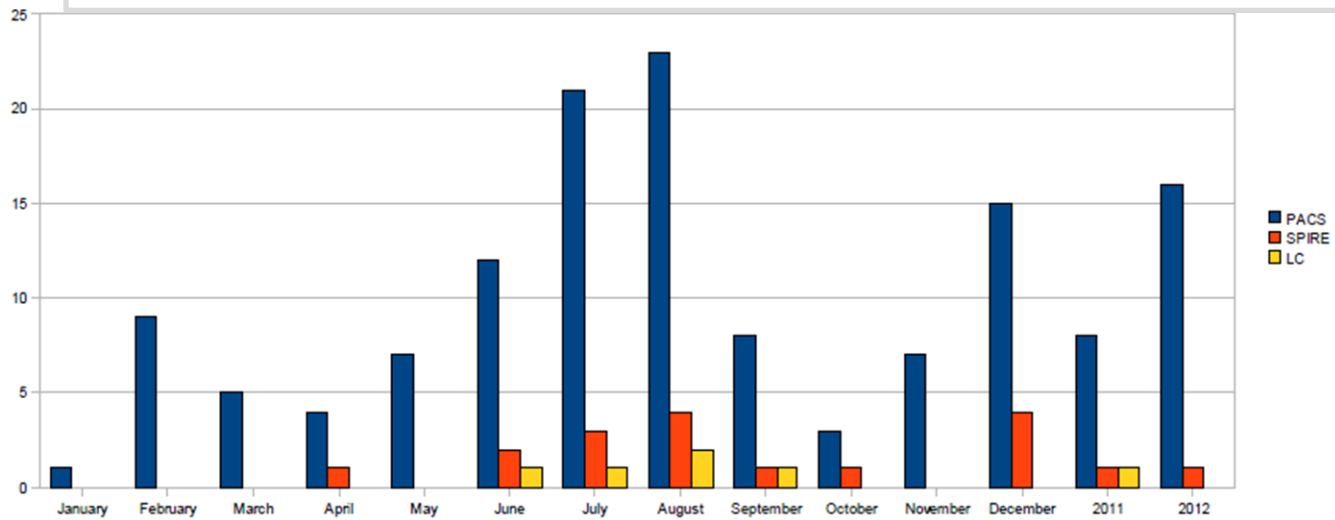
... also Spitzer MIPS 24/70 μm on Jun. 20 2005

136472 MAKEMAKE (2005 FY9)



Updated from Lim et al. 2010

Status del programa



El Futuro de las observaciones del Sistema Solar en el mm/submm

- **Atacama Large Millimeter Array Project (ALMA)**

0.3 mm – 9.6 mm

50 Platos de 12m

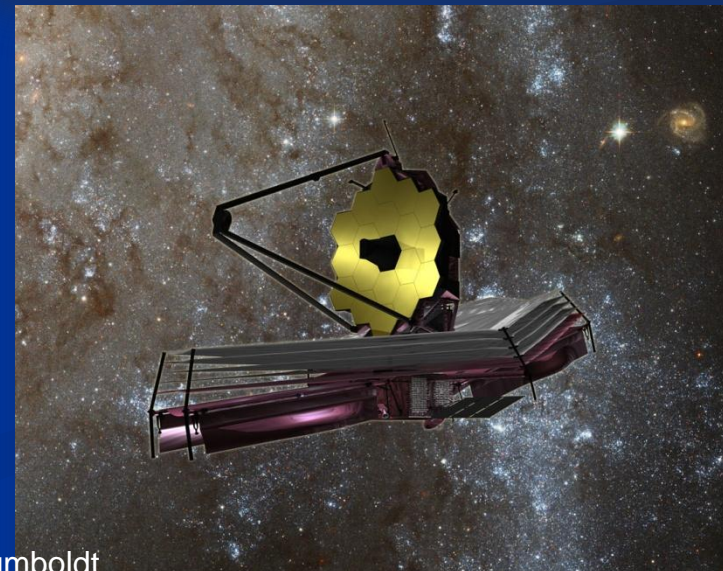
Listo en el 2012

James Webb Space Telescope (JWST)

0.6 mm – 28 mm

Telescope 6.5m

Lanzamiento: ?



Finale



Hemos comenzado a responder algunas de las grandes preguntas... Pero lo mejor está por comenzar.

Mantente alerta y siempre maravillado!