

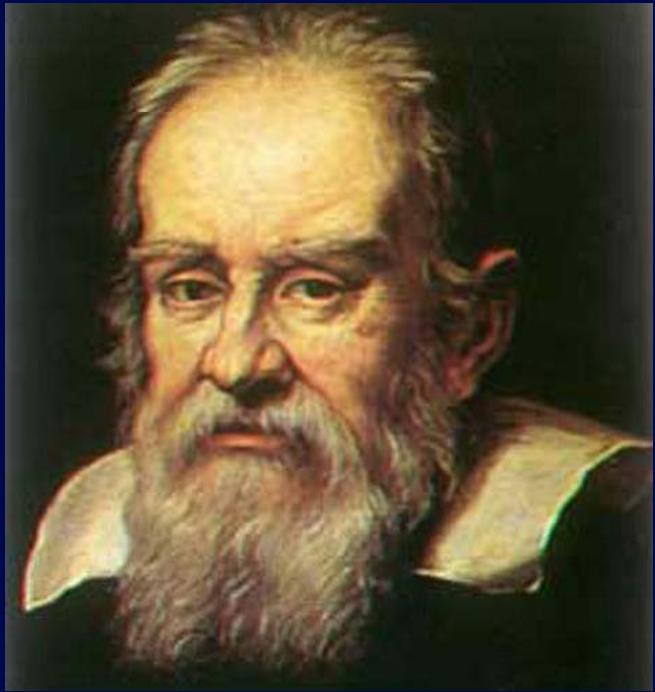
El Gran Telescopio Milimétrico

Esperanza Carrasco Licea
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
Tonantzintla, Puebla

UDLA, 24 de abril de 2009



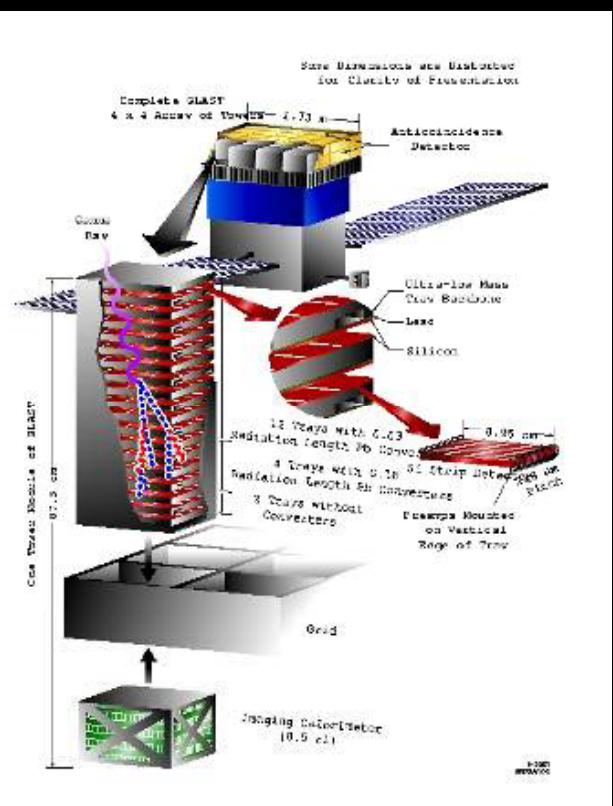
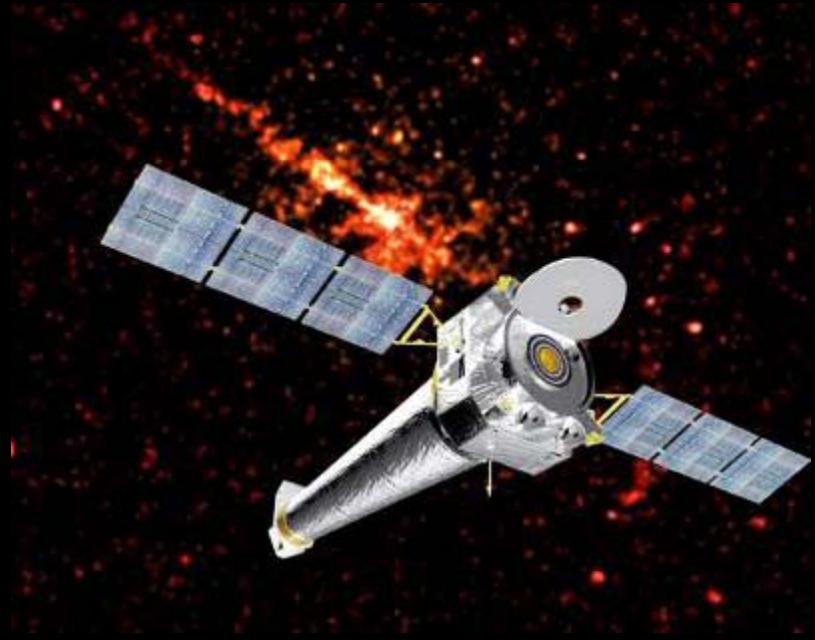




Galileo Galilei en 1409

observara el cielo
por medio de un
telescopio





El Gran Telescopio Milimétrico

El Gran Telescopio Milimétrico

- Antena de 50 metros de diámetro a operar entre 3 y 0.8 mm (100 a 345 GHz).
- Equipado con cámaras de receptores heterodinos (líneas) y de continuo.
- Proyecto formalmente aprobado en 1994



El GTM será el telescopio más grande
del mundo en su tipo

El mayor proyecto científico emprendido
por México

Mayor colaboración científica entre
México y Estados Unidos

El Gran Telescopio Milimétrico

El origen de las galaxias, las estrellas y los planetas

Las ondas milimétricas son emitidas por gas y polvo fríos de los cuales se forman todas las estructuras en el Universo

desde granos de polvo hasta el Universo mismo

GTM es una estructura de ~ 2600 toneladas de acero que se mueven con precisión de micras

Los telescopios son instrumentos de precisión

Son innovadores porque son únicos

GTM >>> Metrología de alta precisión en estructuras grandes.



Sierra Negra
(Tliltépetl) 4581m

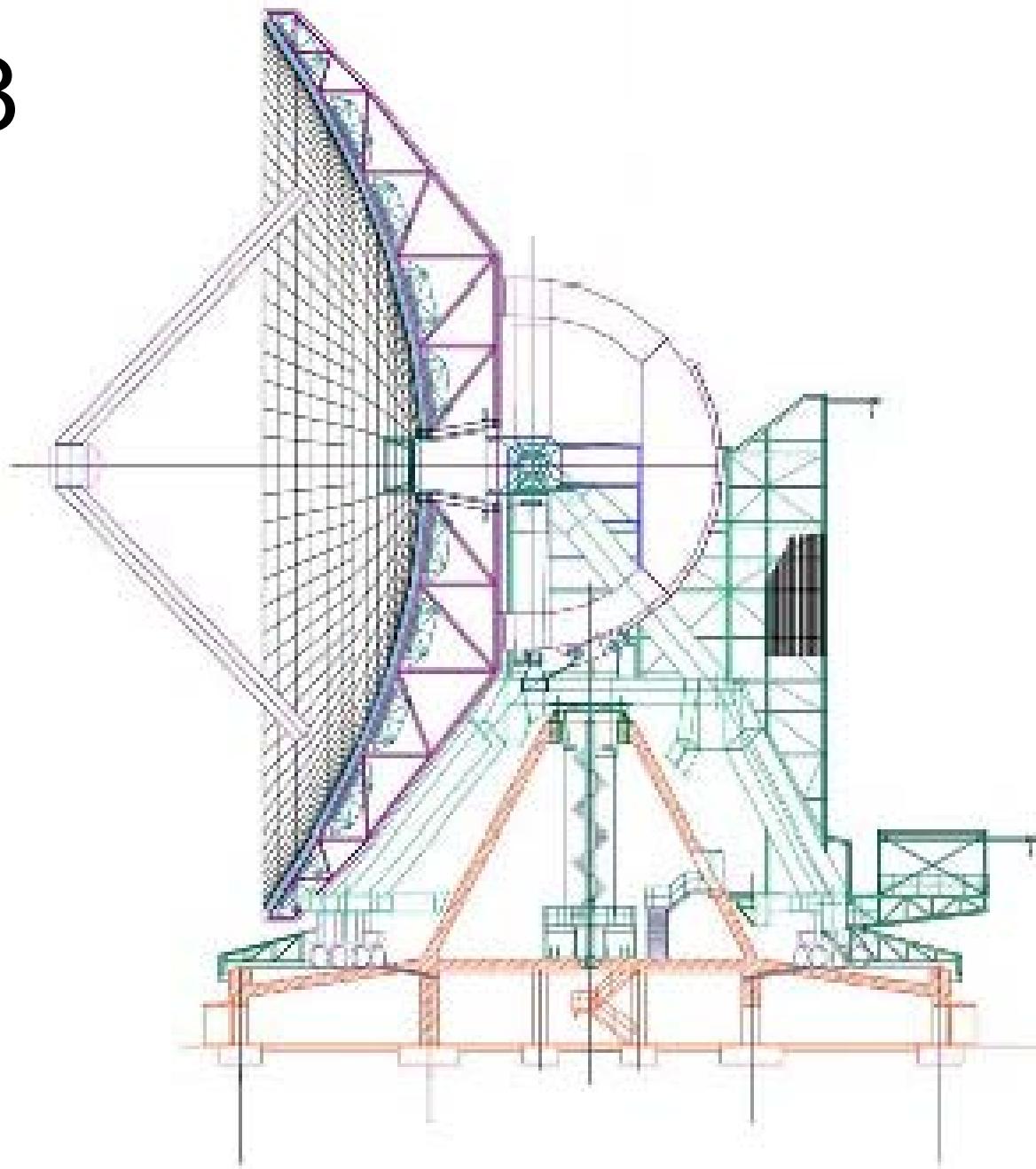
Pico de Orizaba
(Citlaltépetl) 5760m



1997



1998



1999



2000



2001



2002



2003



2004



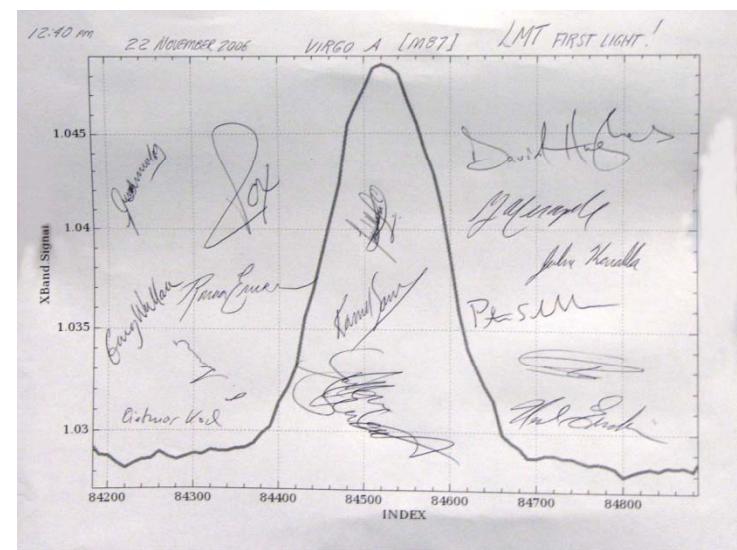
2005



2006



2007



2005



2004



2003



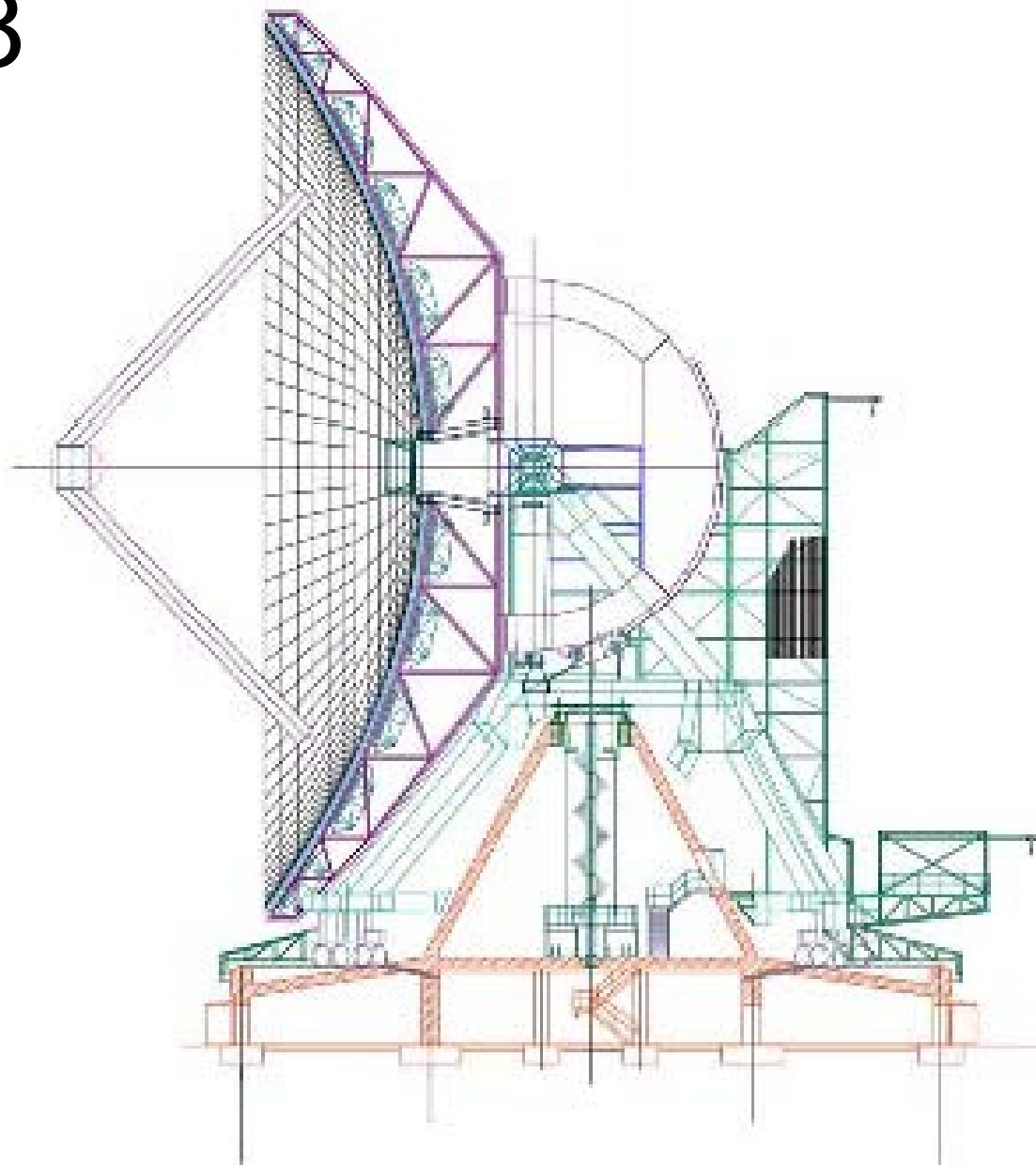
2000



1999

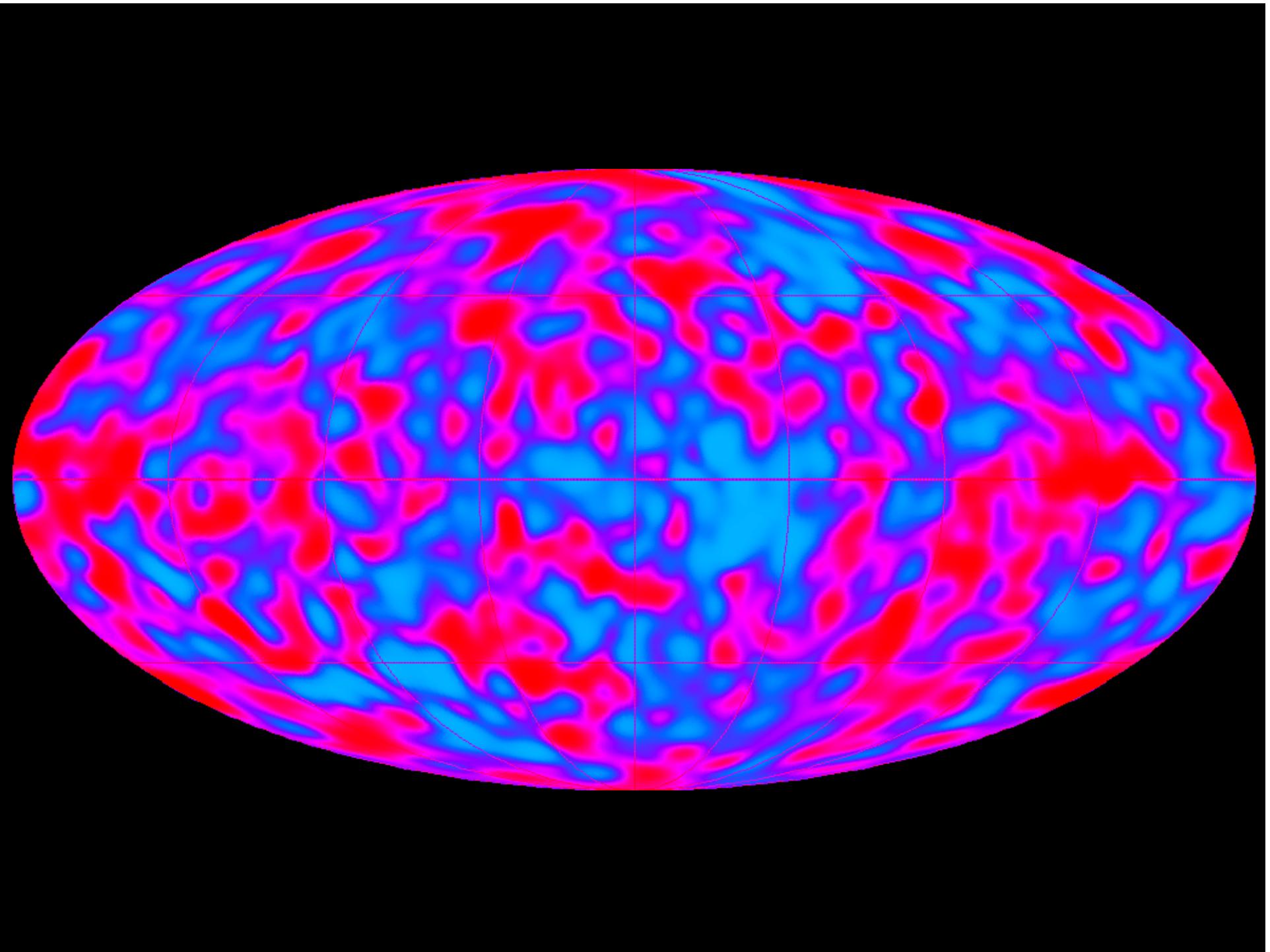


1998

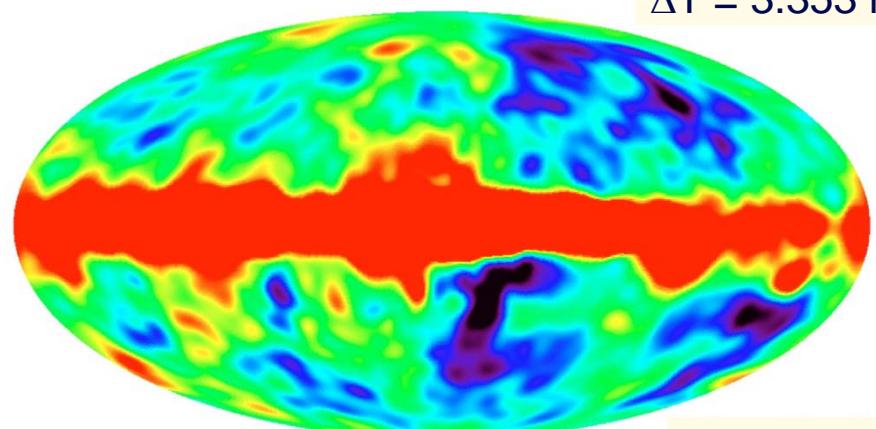
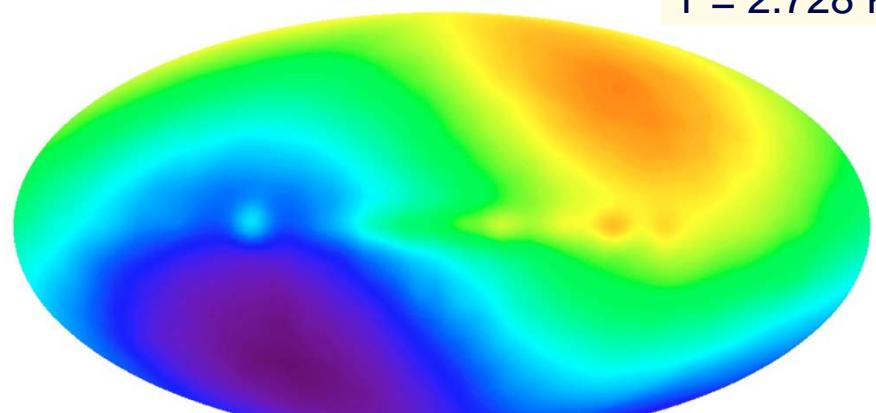
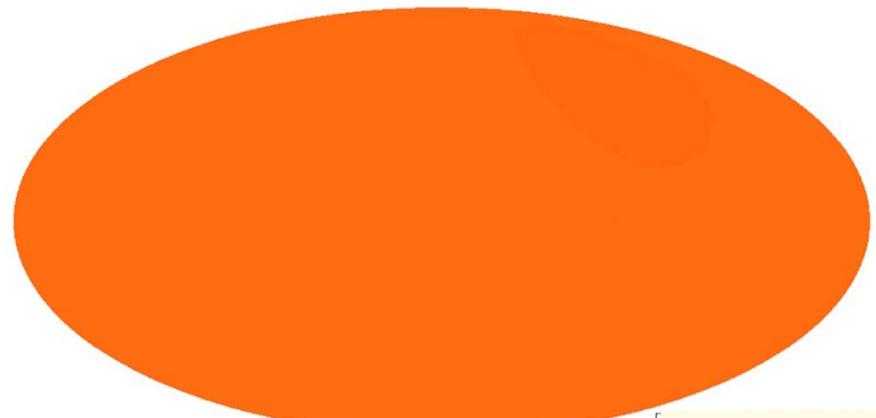


1997

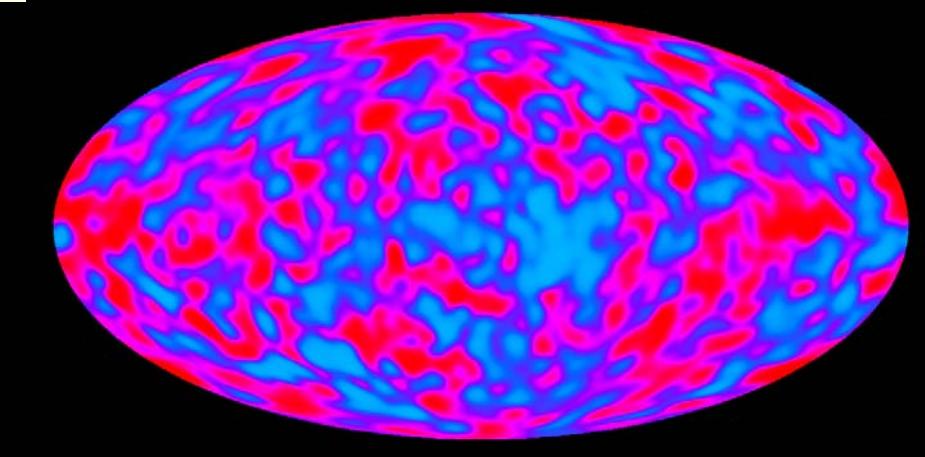
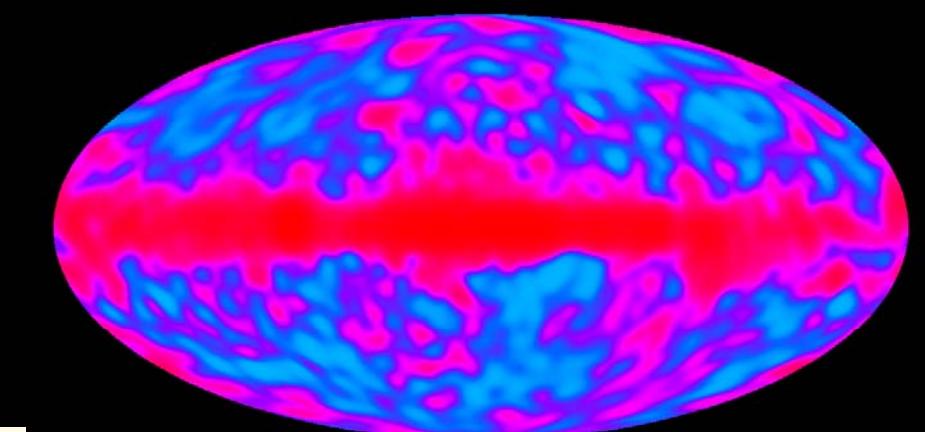
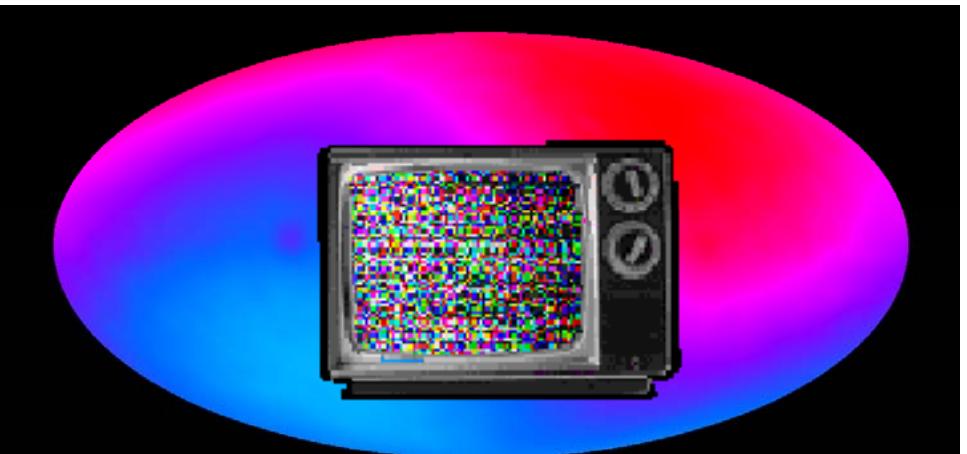




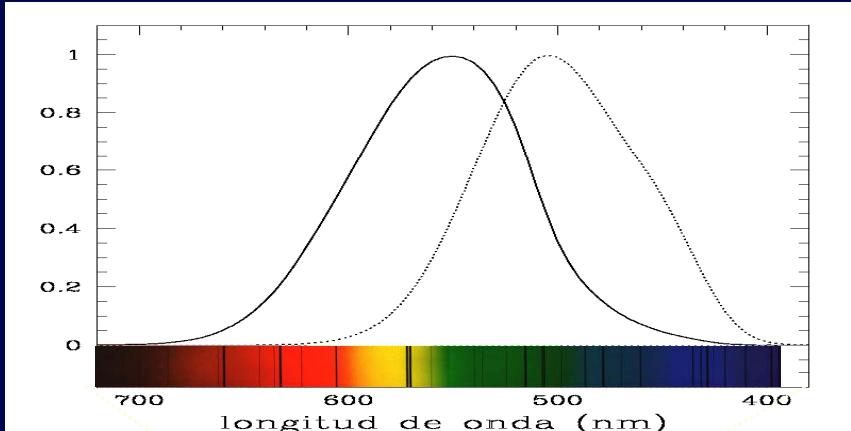
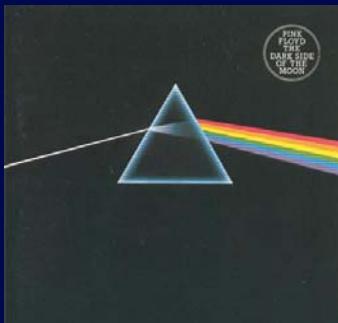
DMR 53 GHz Maps



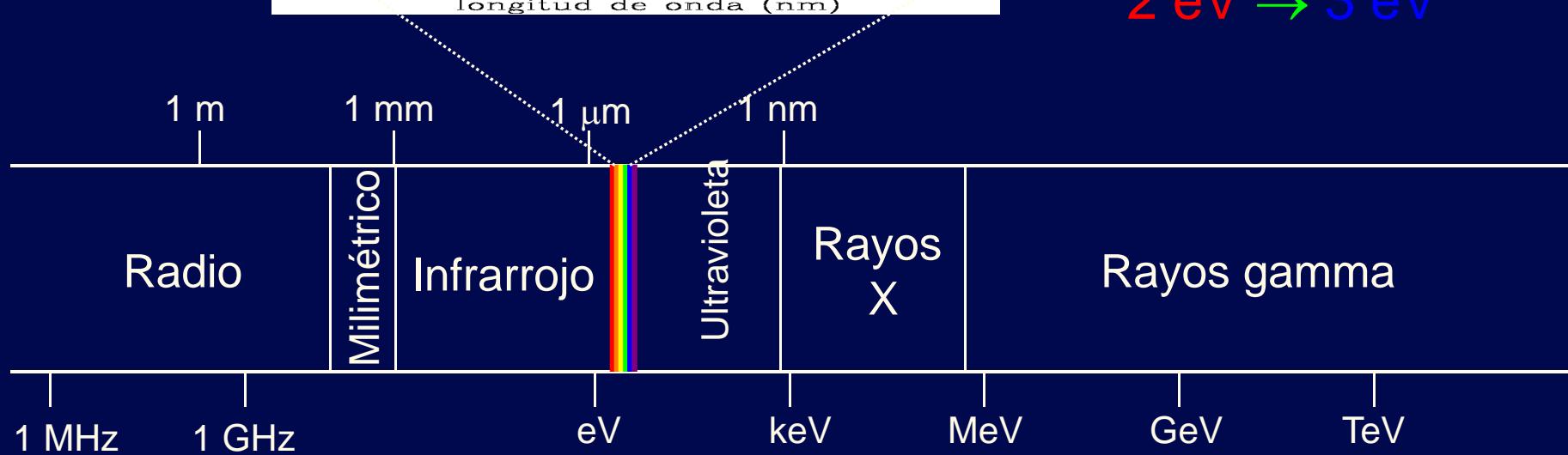
$\Delta T = 18 \mu\text{K}$



El espectro electromagnético

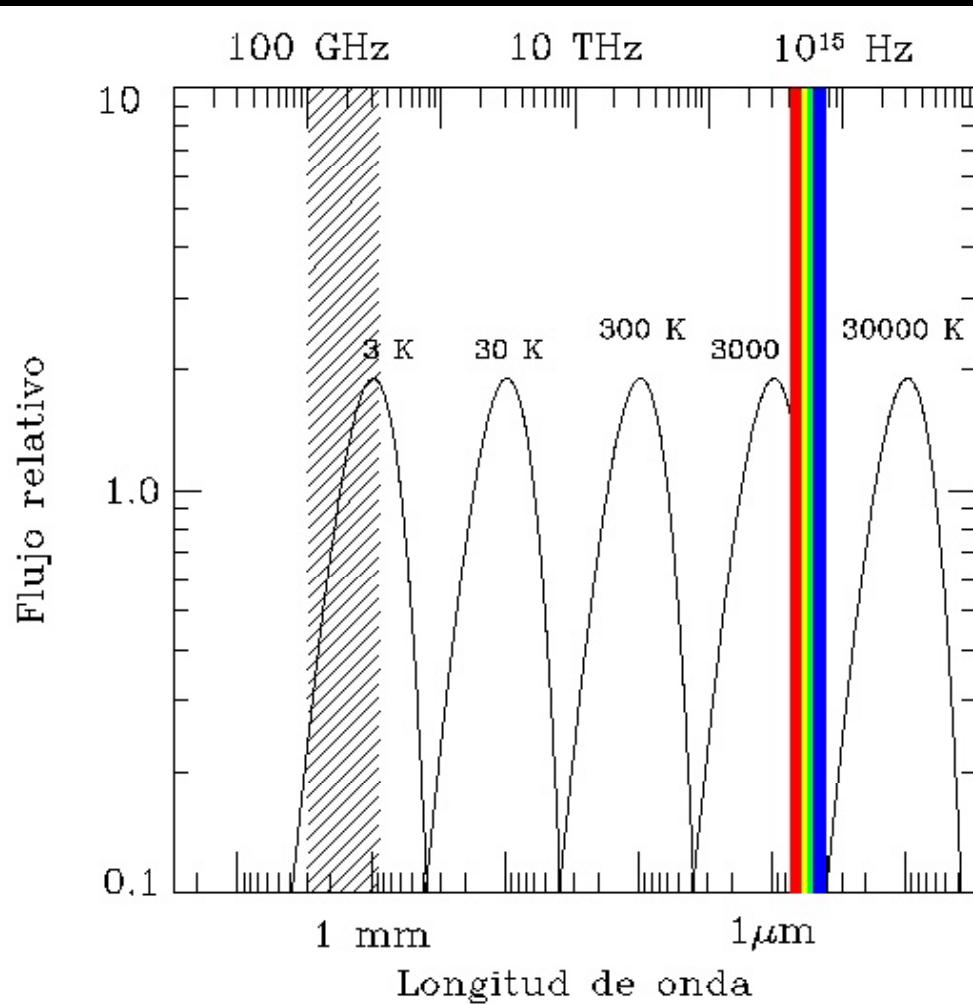


Luz visible
 $2 \text{ eV} \rightarrow 3 \text{ eV}$



Fotones
 $E=h\nu$

Los ojos ven estrellas

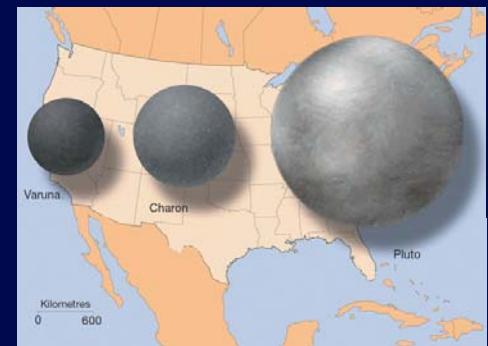
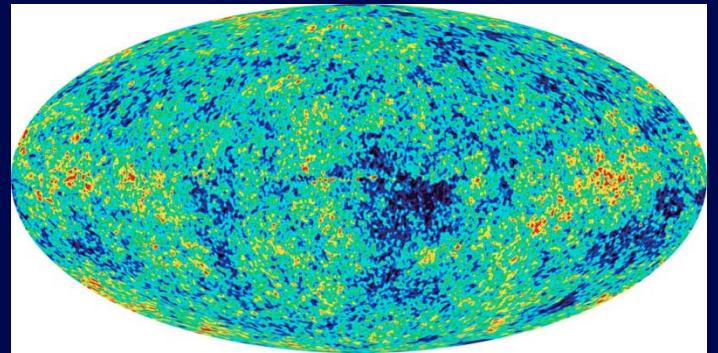


Pero el Universo tiene
algo más que estrellas

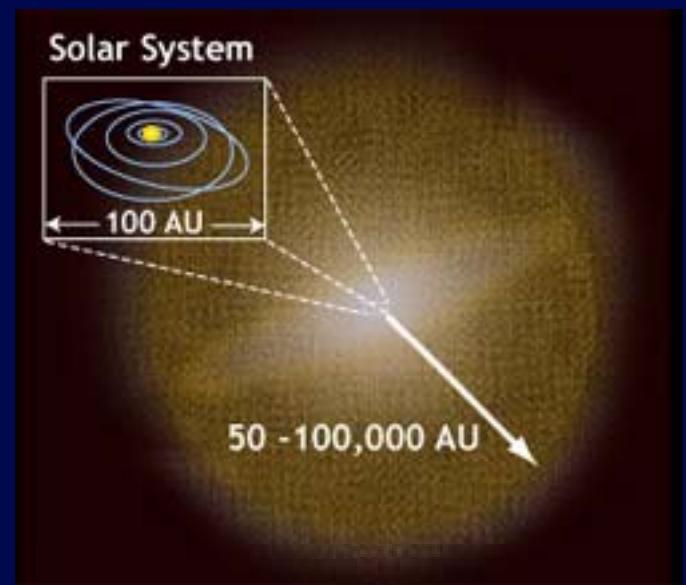
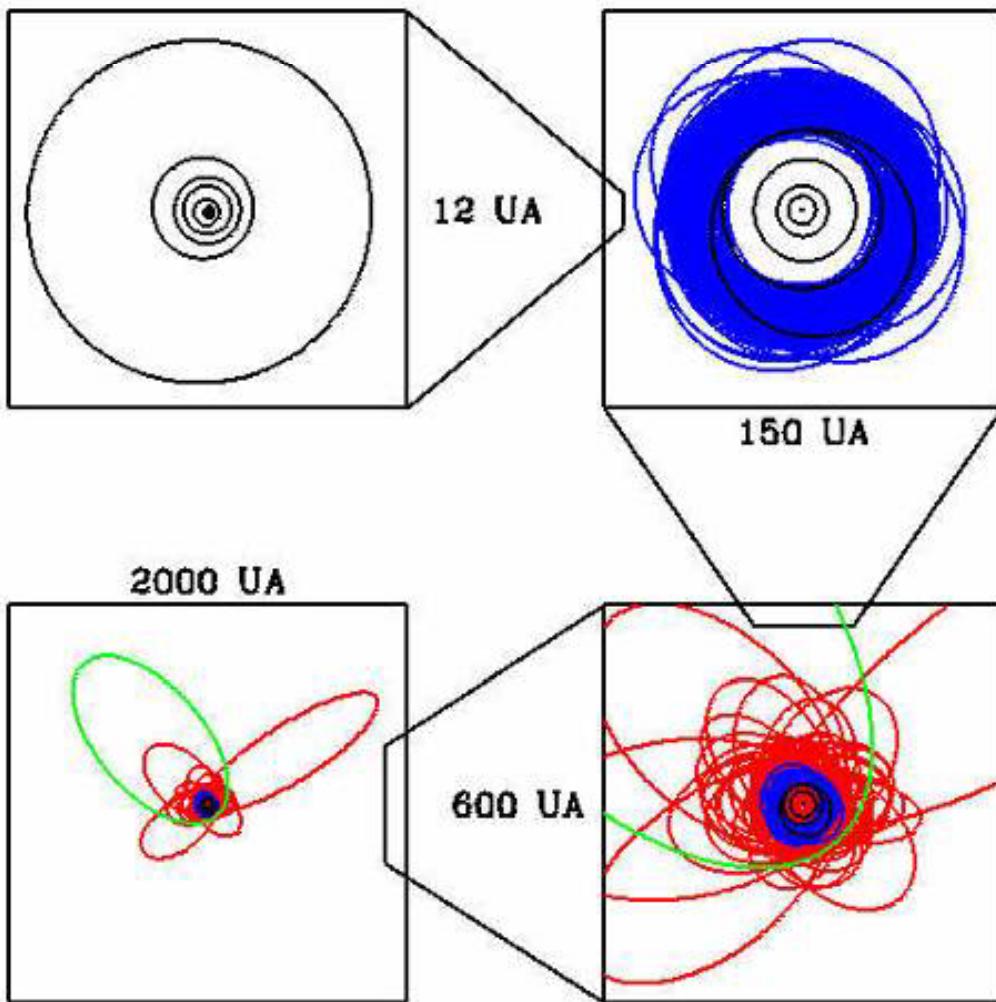
$$T(\text{Kelvin}) = T(\text{Celsius}) + 273.15$$

El Universo frío

- Los confines del Sistema Solar
→ los orígenes del Sistema Solar.
- Nubes moleculares en la Galaxia
→ el origen de las estrellas.
- Nubes moleculares en otras galaxias
→ el origen de las galaxias.
- El fondo cósmico de radiación
→ el origen del Universo.

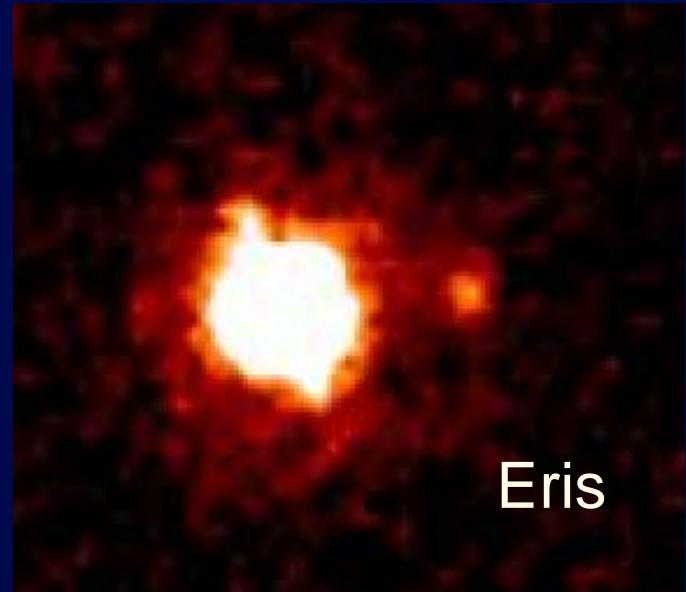
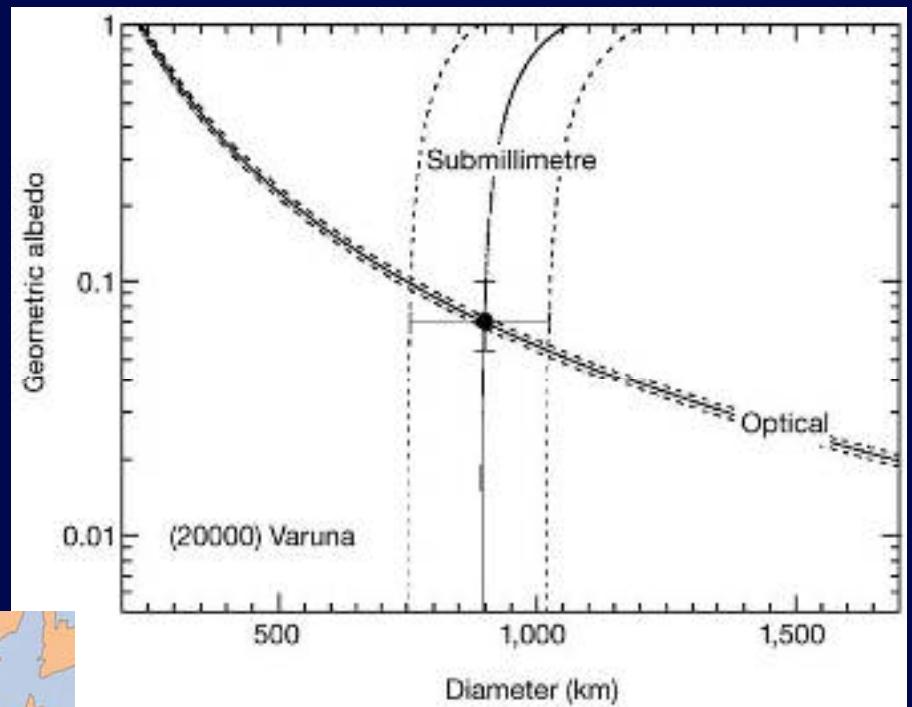
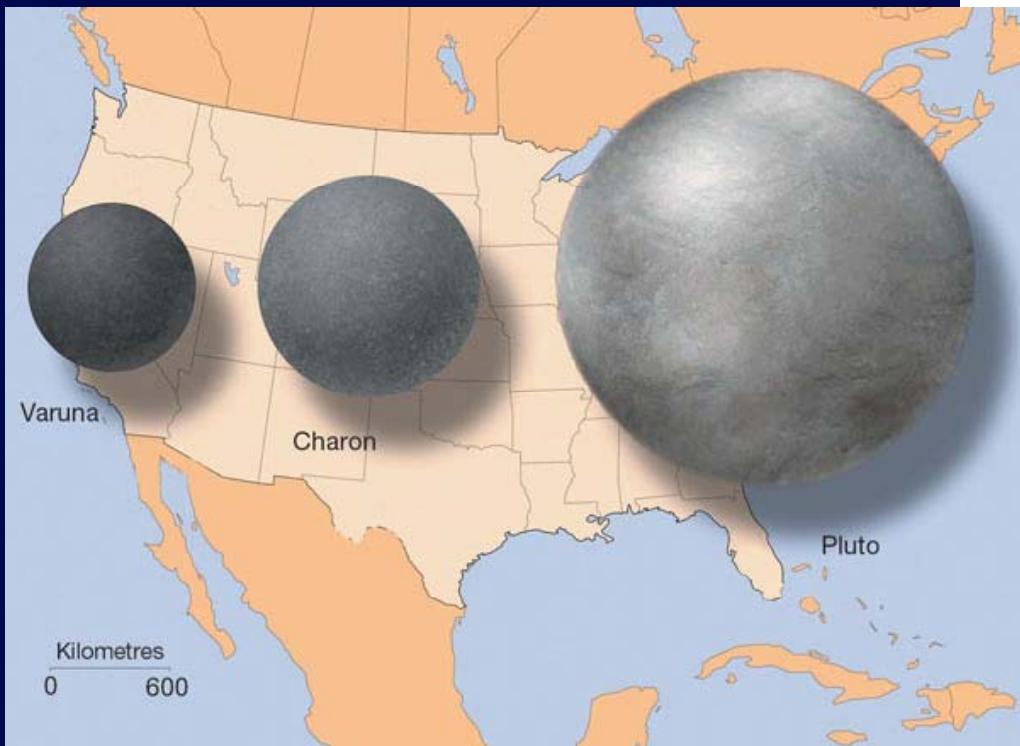


El sistema solar “hoy en día”

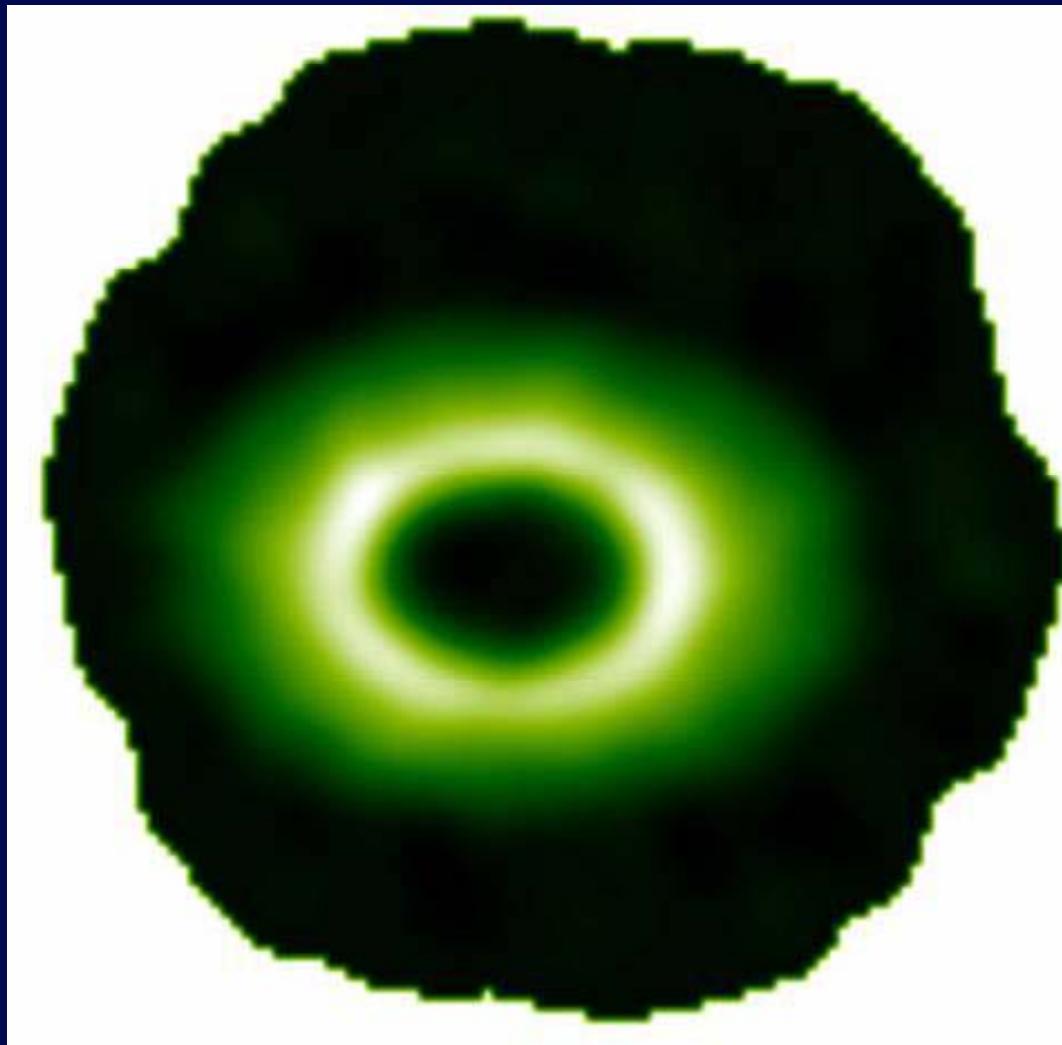


La nube de Oort?

Los objetos del cinturón de Kuiper



Discos protoplanetarios



Un disco protoplanetario de 40 a 100 UA de diámetro a 10 años-luz visto con AzTEC en el GTM.

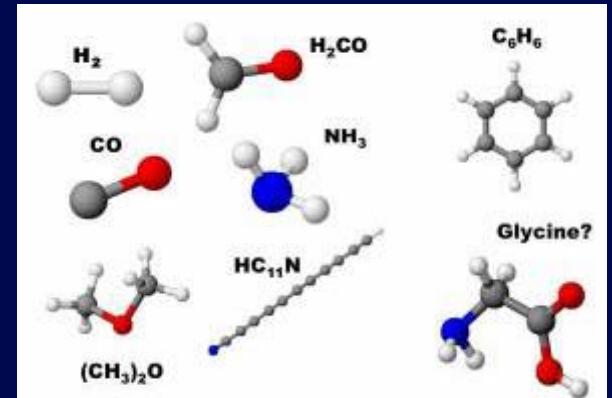
Simulación!

Formación de estrellas

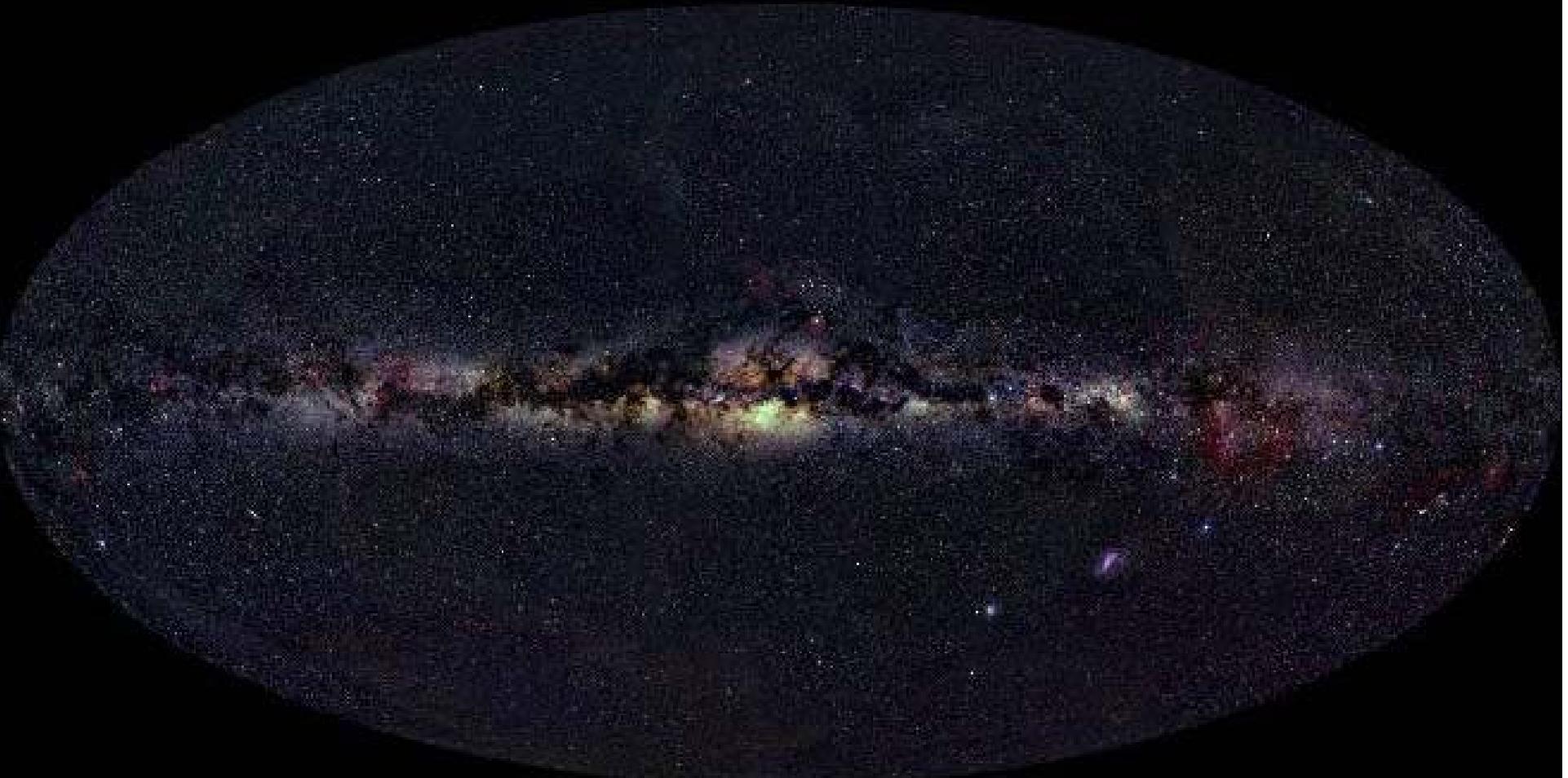


Las estrellas nacen en oscuras
nubes moleculares gigantes.

(~ -200 C)

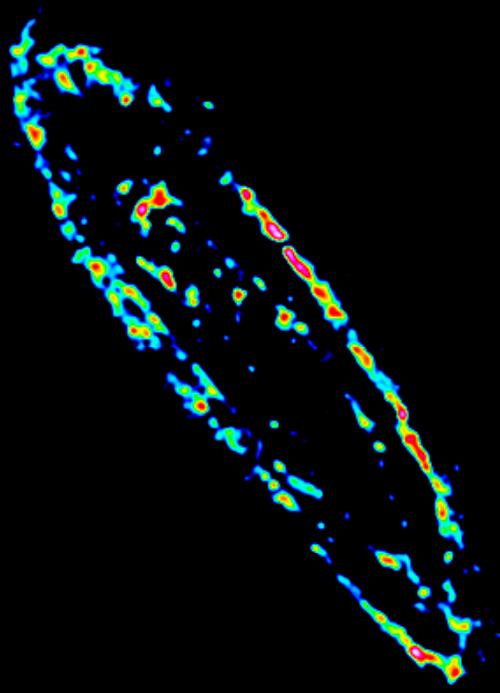


The Deep Sky



© 2000, Axel Mellinger

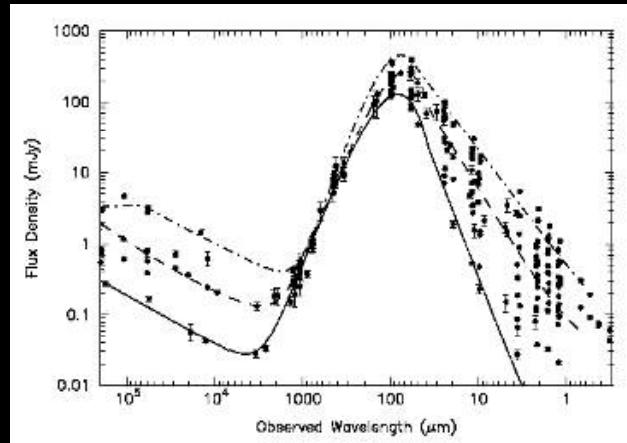
Galaxias cercanas

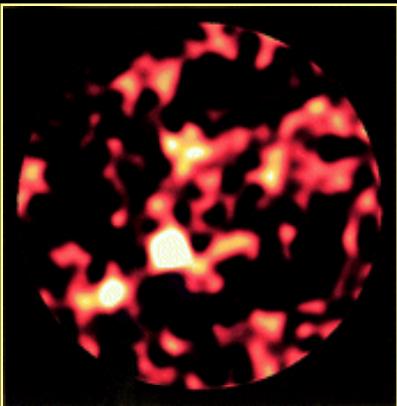


Mapa de Andrómeda obtenido con el 30m
de IRAM Neininger et al. 1998

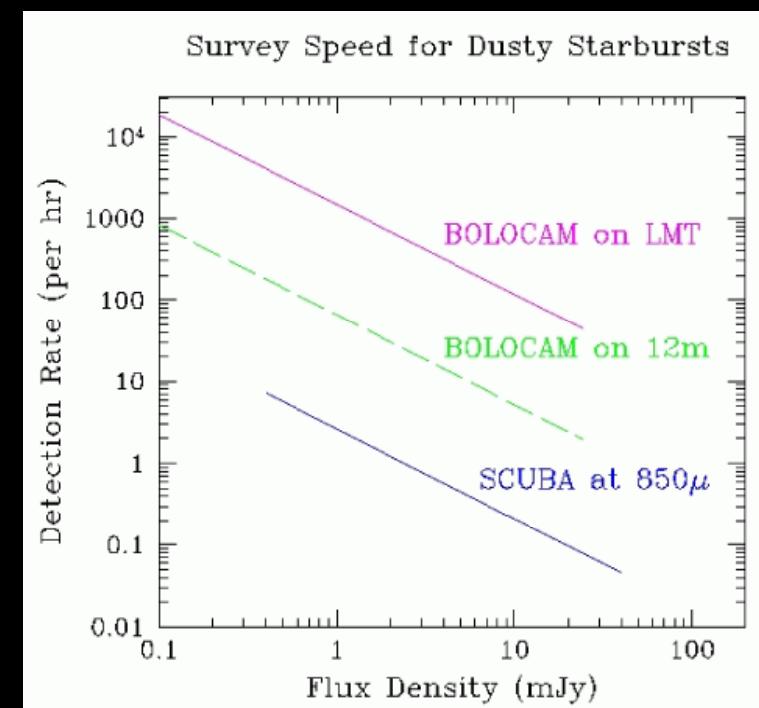
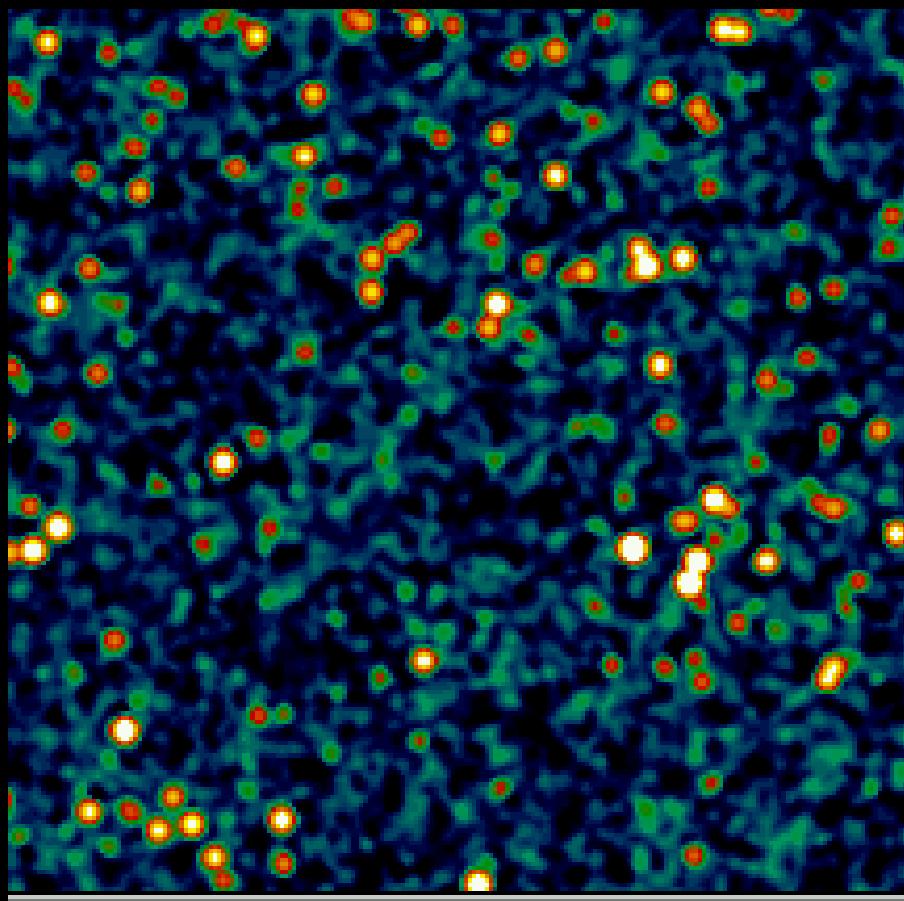
Galaxias polvosas y el corrimiento al milimétrico

- La luz visible se corre al rojo
- La luz infrarroja se corre al milimétrico





Búsquedas de galaxias distantes



Simulación...

Primera generación de instrumentos

Cámaras del continuo

AzTEC ensamble de bolómetros, 144-pixeles (2, 1.4, 1.1 mm)

SPEED matriz 4-pixeles simultáneamente en 2, 1.4, 1.1, 0.85mm

Receptores heterodinos

SEQUOIA ensamble de 32-pixeles a 3mm

Buscador de corrimientos al rojo 3mm, espectrómetro de banda ancha

Receptor de 1mm (SIS) un pixel 1mm espectrómetro

AzTEC

(Astronomical thermal emission camera)

144 bolómetros Si-Ni

1.1, 1.4 y 2.1 mm

haz de 6" a 1.1mm

campo de visión 2.4 min de arco

NEFD ~ 3 mJy/Hz^{1/2}

velocidad de cartografía > 20 minarc²/hr/mJy²

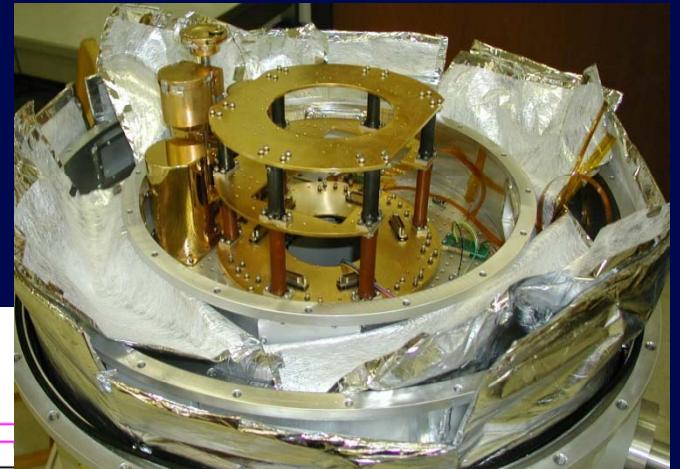
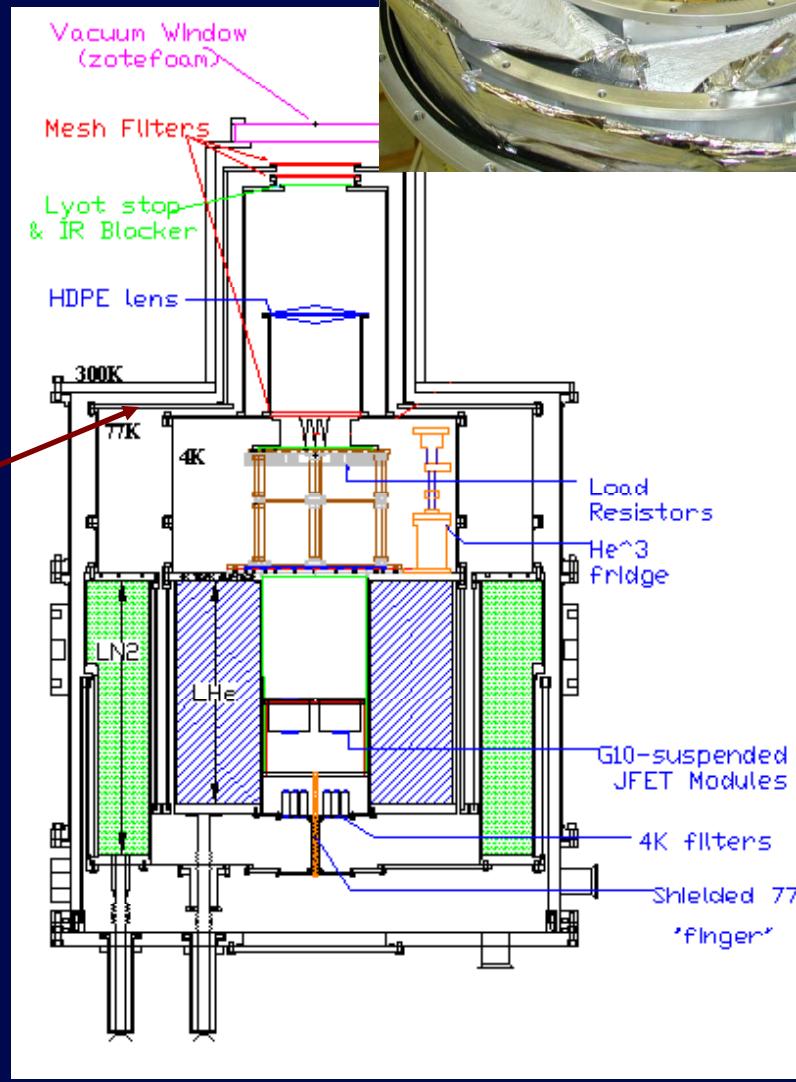
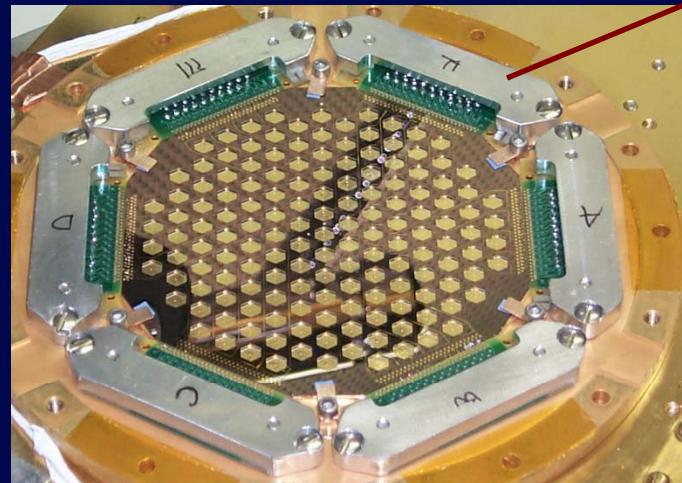
Imagen profunda de campo amplio

galaxias en formación en el Universo temprano
astroquímica del polvo en galaxias
seguimiento de asteroides y cometas

AzTEC

Instalación y verificación
JCMT en Junio 2005

Temporadas de observación
JCMT Nov/Dec 2005



SPEED

Spectral Energy Distribution Camera

2 x 2 pixeles
bolómetros de frecuencia selectiva (FSB)
observaciones simultáneas a 2.1, 1.4, 1.1, 0.85 mm
en cada pixel

haz de 11 seg de arco

NEFDs~ 0.9, 1.5, 1.8, 3.3 mJy/Hz^{1/2}

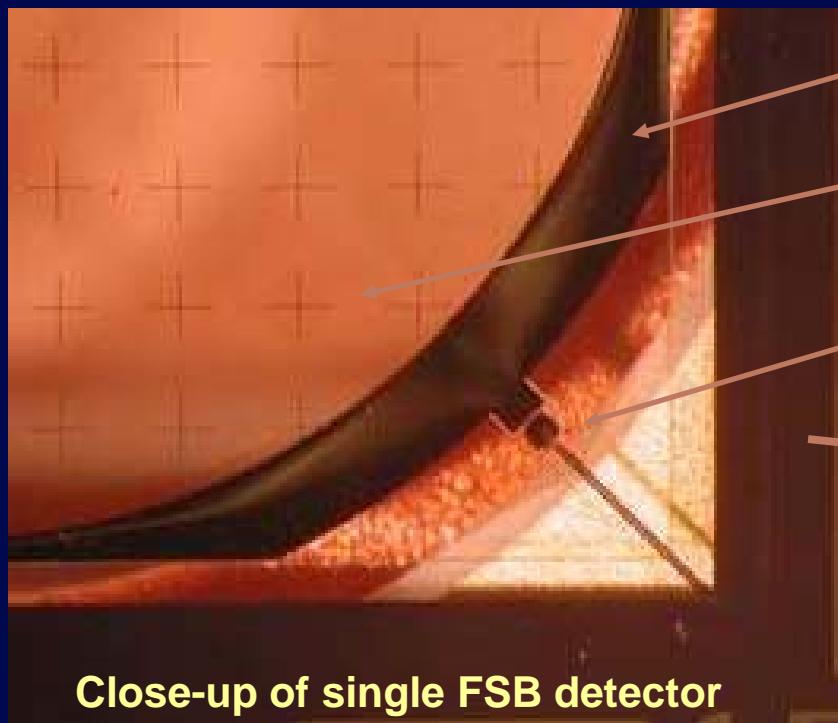
Seguimiento de fuentes de Aztec

Cúmulos distantes de galaxias
atmósferas cometarias, nubes moleculares

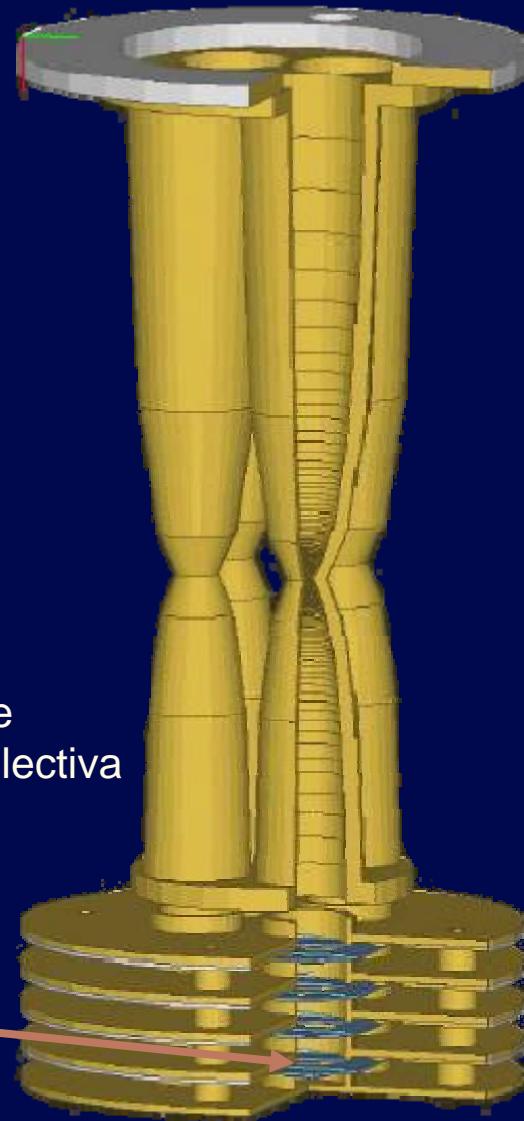
SPEED

- Instalación en el 2007

Telescopio Henrich Hertz on 10-m
Arizona



Close-up of single FSB detector



Speed ensamble de plano focal

G.Wilson et al., SPIE 2004, Glasgow

SEQUOIA

(Second Quabbin Optical Imaging Array)

Ensamble de 32-elementos 3mm

haz de 15 seg de arco

Alta sensibilidad $T_{\text{Receiver}} \sim 60\text{K}$

15 GHz ancho de banda instantáneo

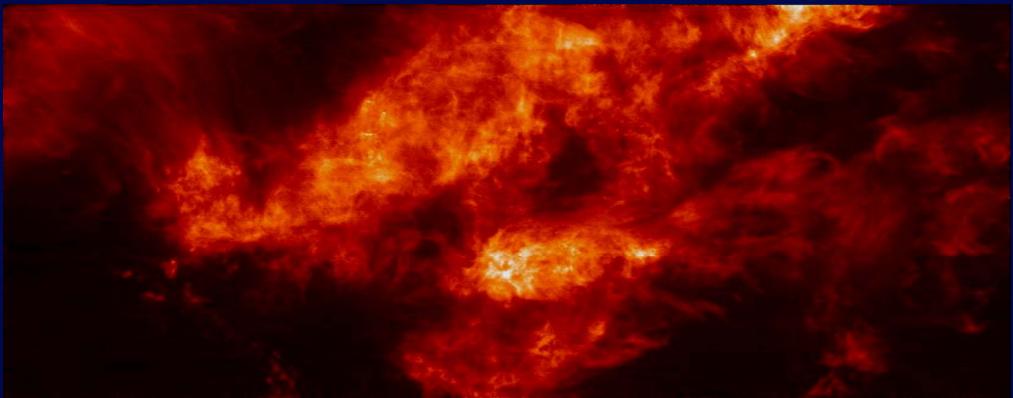
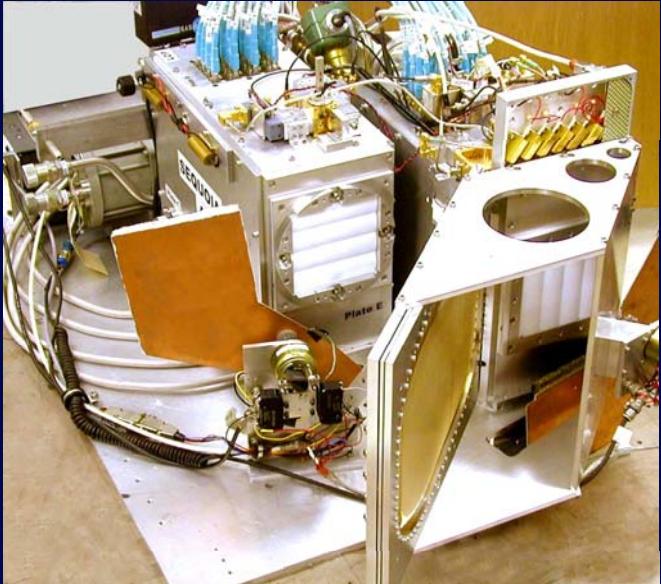
MMIC amplificadores

Autocorrelador digital

Líneas de emisión moleculares

Caracterización de la física y química de la
Galaxia y de otras galaxias

SEQUOIA



"Nube de Tauro" 60 grados cuadrados de
 ^{12}CO J=1-0 con SEQUOIA en FCRAO 14-m

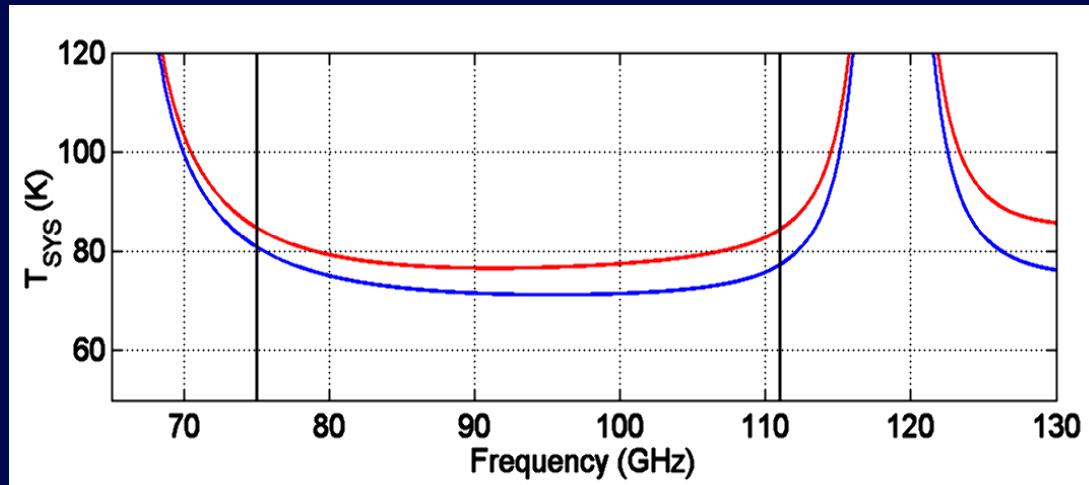
FCRAO Five College Radio Astronomy
Observatory, Universidad de Massachusetts

Buscador de corrimientos al rojo (banda ultra ancha)

75-111 GHz cubre toda la ventana de 3mm

resolución 31 MHz (100 km s^{-1})

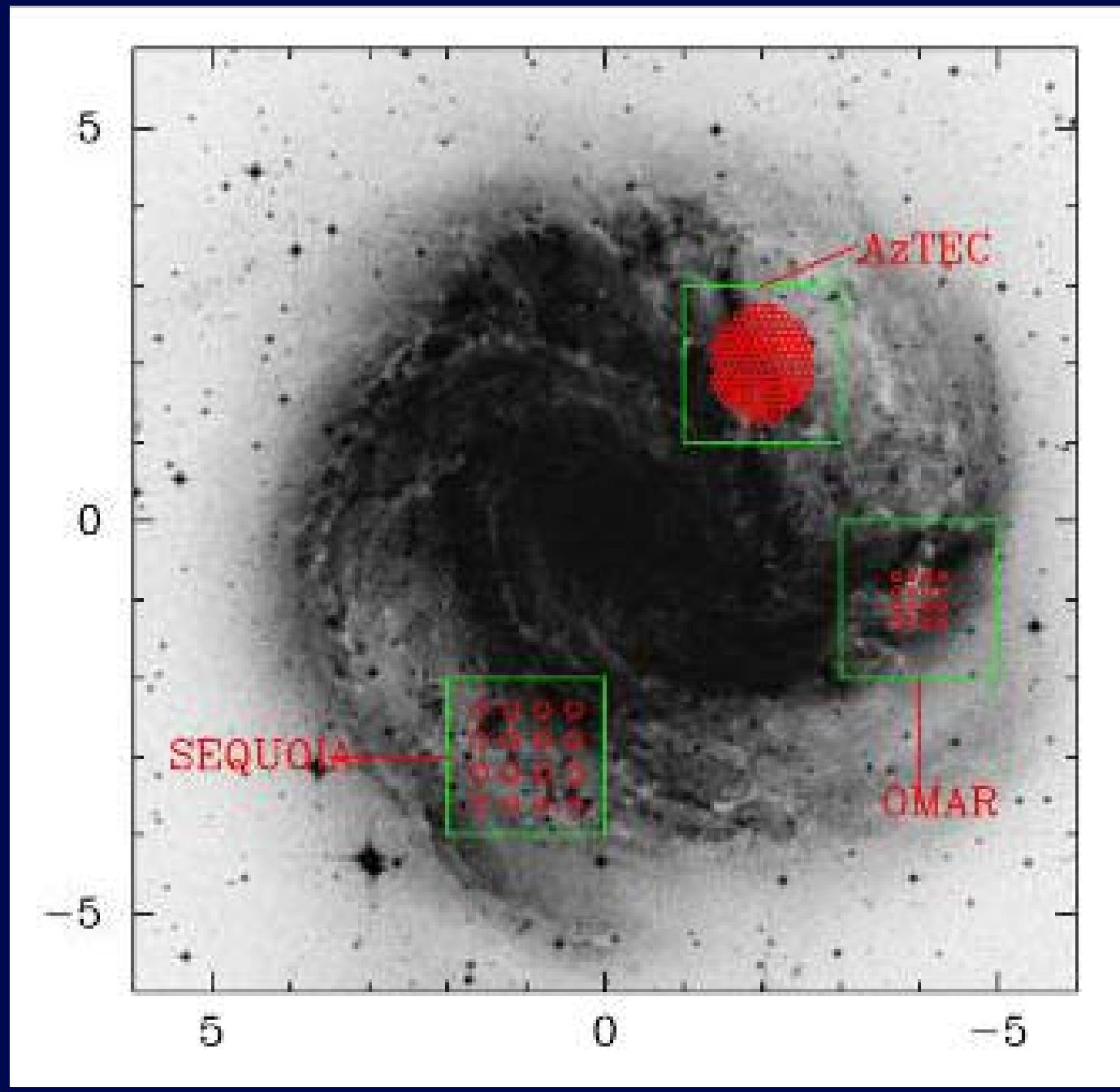
Autocorrelador analógico



$T_{\text{ruido}} = 60 \text{ K}$

para 2 y 5 mm vapor de agua
precipitable

- 75-111 GHz alta probabilidad de tener al menos una de las líneas de CO de galaxias



M83

15m JCMT AzTEC 2005-2006 campaign

COSMOS – (ASTE 2008) preliminary

Survey 1 sigma equivalent depth [1.1mm mJy]



MAMBO
Lockman Hole
Greve et al. 04

Bolocam
Lockman Hole
Leroy et al. 05

CUDSS
Eales
et al. 00

HDF
Hughes et al. 98
HDF
Borys et al. 04

MAMBO
Elais-N2
Greve et al. 04

MAMBO
COSMOS
Bertoldi et al.
2007

Bolocam
COSMOS
Aguirre et al. 07

La superficie reflectora del GTM
diámetro = 50m

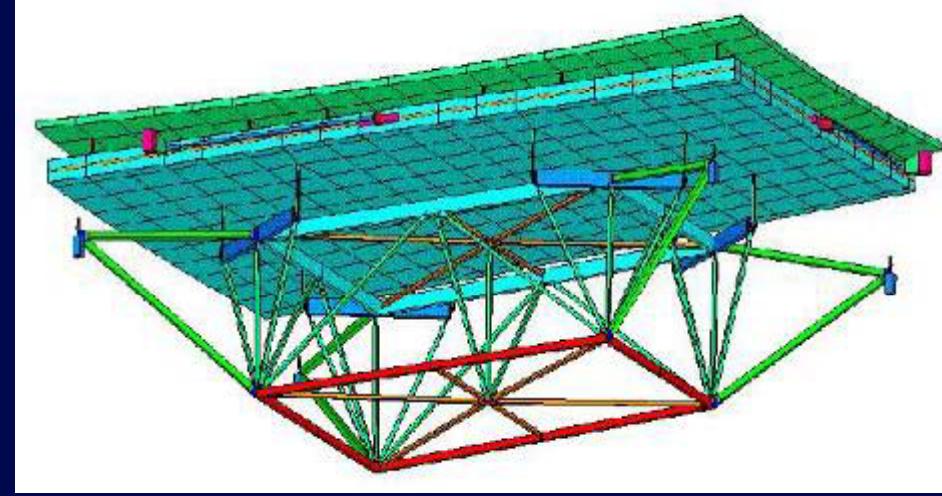
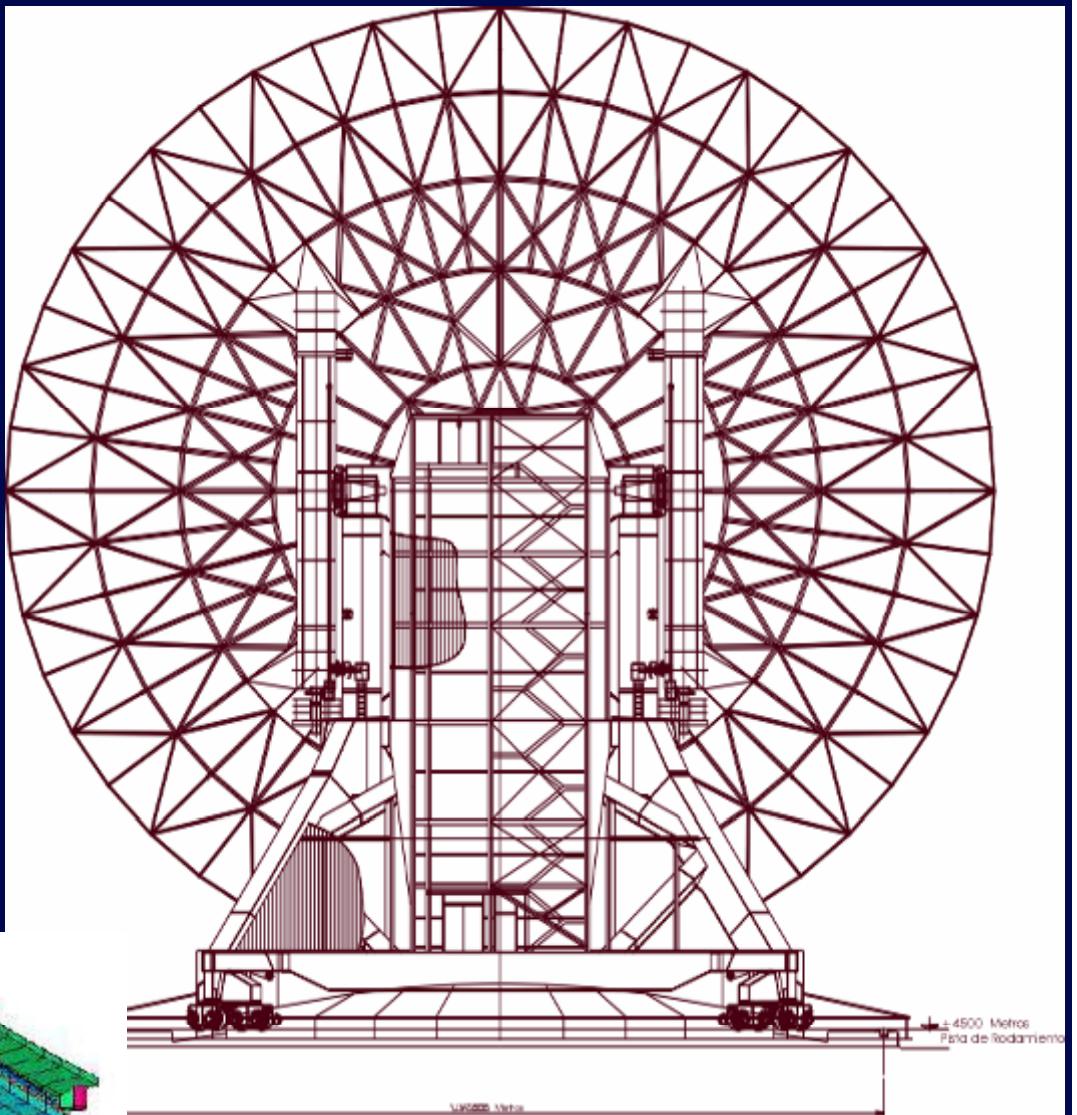
180 segmentos ~ 3m x 5m
de níquel electroformado

Precisión: 70 micras rms para la superficie

- >> cada segmento (8 subpaneles) 25 micras
- >> subpaneles a 7 micras
- >> integración de 7 micras a 25 micras (INAOE)

La superficie del GTM

- El diseño de los paneles evolucionó de fibra de carbono a pánels de níquel.



Primario 180 paneles

(8)sub-paneles de níquel
electroformado

Aislante térmico

40 ajustadores

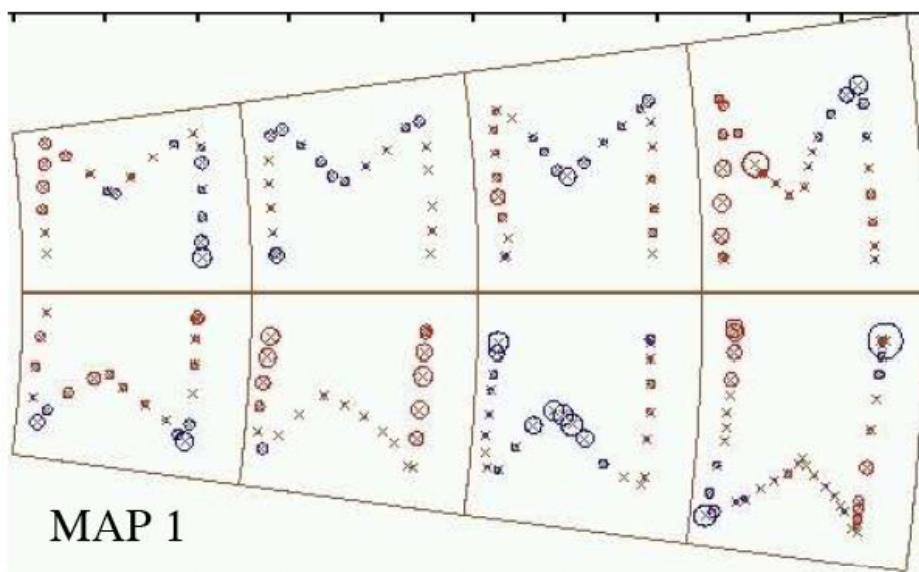
Base de aluminio

Submarco de acero inoxidable
Actuadores

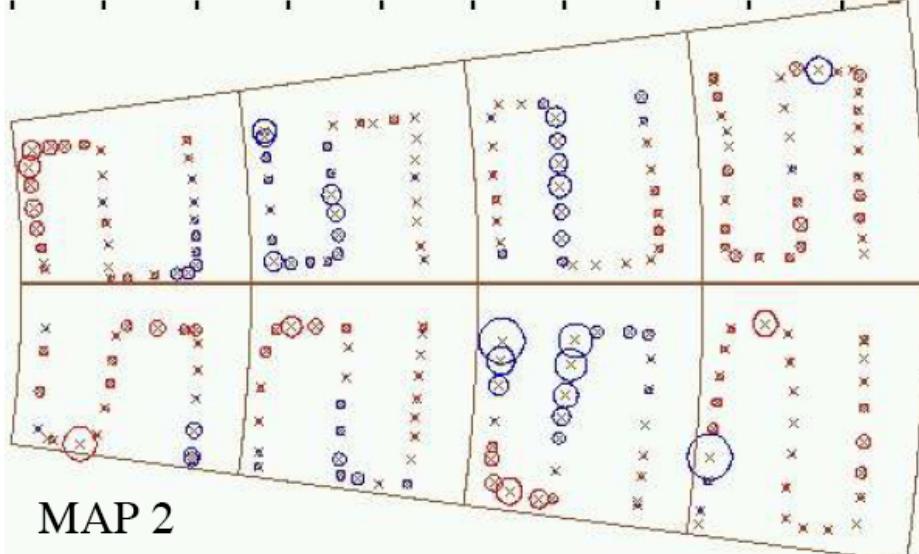


2008

Map Repeatability D1R2S24 *Residuals after 4 parameter Fit*

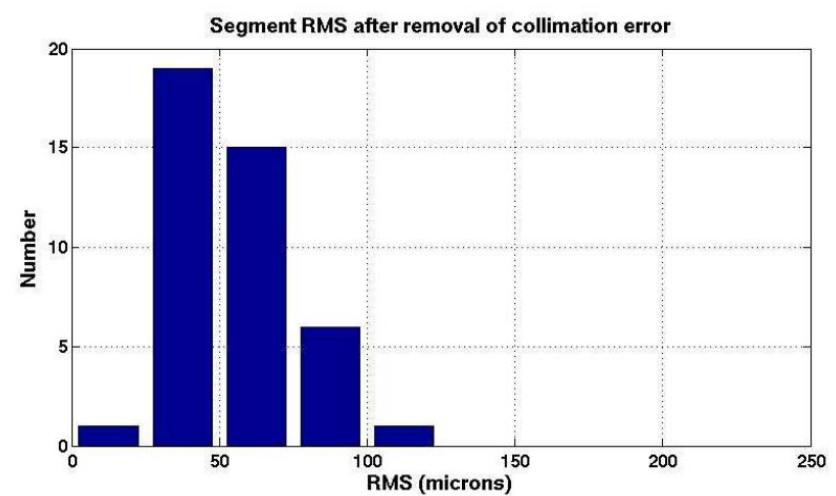


MAP 1



MAP 2

MAP	1	2
DATE	9/6/07	9/24/07
Z OFF	-1.503E-001	-1.235E-001
Error Z OFF	1.807E-003	1.984E-003
TILT X	6.069E-006	-2.712E-005
Error Tilt X	1.260E-006	1.406E-006
TILT Y	1.336E-004	7.294E-005
Error Tilt Y	2.739E-006	3.031E-006
WARP	-3.217E-008	6.131E-009
Wrror WARP	1.880E-009	2.167E-009
RMS	25.1	29.6



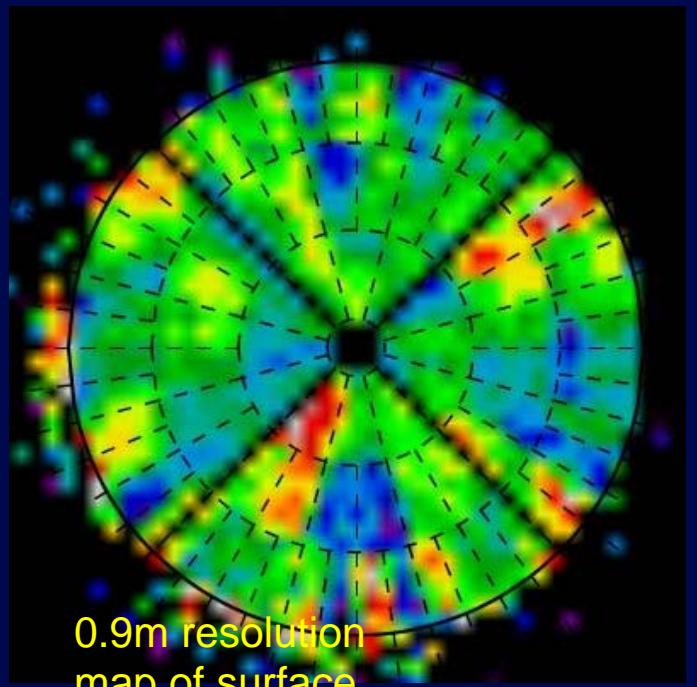
FARO laser-tracker measurements



Alineación de la antena



- Sistema holográfico funcional
- Análisis de errores indica mediciones a 25 micras son posibles



El GTM será el primer telescopio milimétrico con una superficie activa

mediante 720 actuadores
(4 x 180)

compensará

efectos gravitacionales, térmicos y por viento



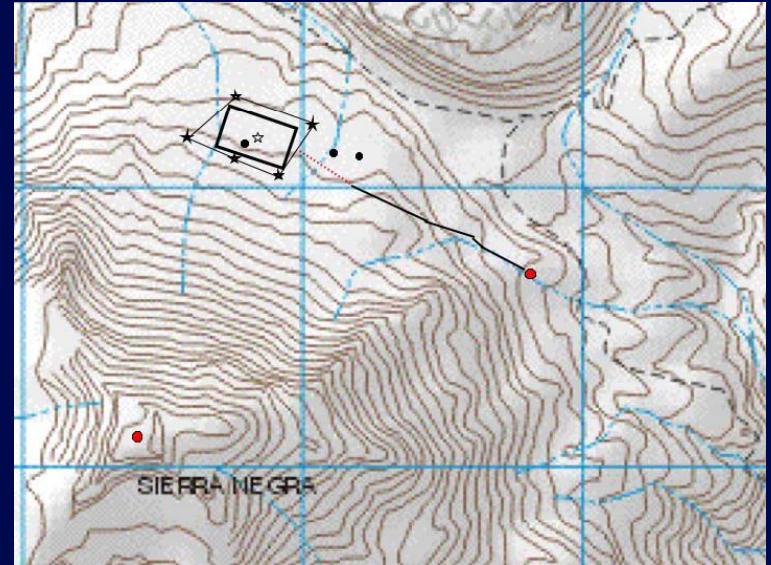
La operación del GTM requiere comunicaciones de voz y datos confiables entre INAOE <==> Sierra Negra

- > Seguridad de empleados y visitantes
- > Monitoreo del estatus del telescopio por los técnicos
- > Observaciones remotas
- > Transferencia de datos científicos y de ingeniería al acervo de datos del GTM en el INAOE

Servicios actuales

GTM enlace óptico 10 km

datos 1Mbps
voz e internet
meteorología en tiempo real
radiometría y opacidad en
tiempo real
video en tiempo real



Telmex
voz, datos
2 Mbps

Requerimientos

Servicio	$\langle \Delta v \rangle$ (Mbps)	Prioridad
Voz	0.06	Esencial
Monitor/Control	0.4	Esencial
Revisión de datos	5	Esencial
Video	2	Deseable
Transferencia completa de datos crudos	> 100	Deseable

Desarrollo del sitio

- Condiciones excepcionales:
 - altitud
 - cercanía al ecuador
 - entorno del Citlaltépetl
- Atractivo para experimentos científicos que se beneficien de las condiciones del sitio
- Primer acercamiento en 1997 por el grupo mexicano en Auger

Consorcio Sierra Negra

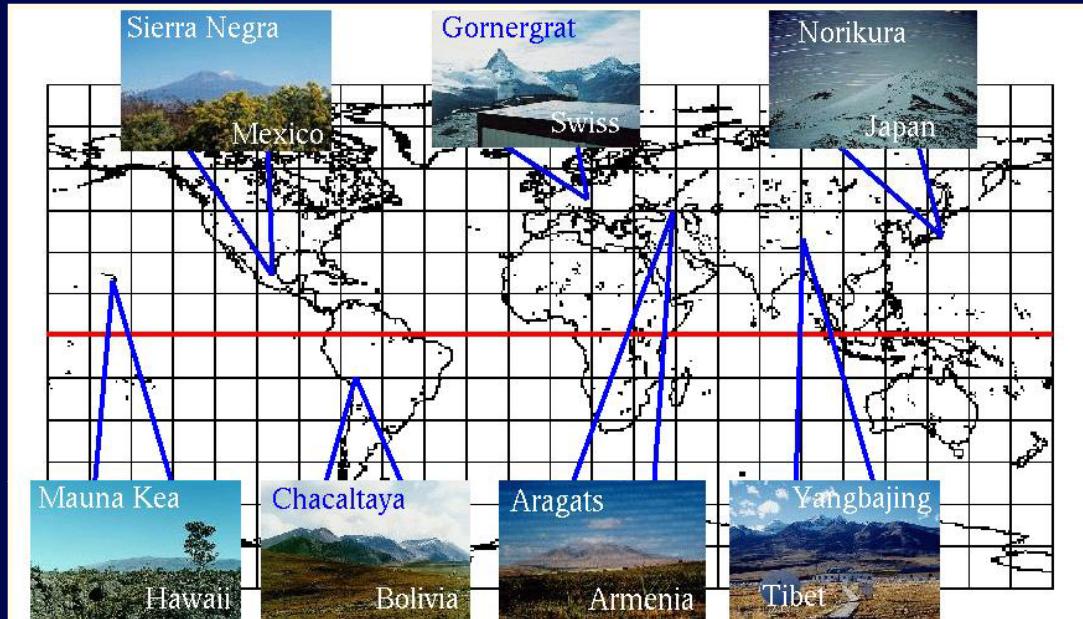
- Gran Telescopio Milimétrico (INAOE, UMass)
- Telescopio de Neutrones Solares (IGF-UNAM + U. Nagoya)
- Radiotelescopio RT5 (INAOE, IGF + IA-UNAM)
- LAGO - detector rayos cósmicos (BUAP)
- El observatorio de rayos γ HAWC (INAOE, UNAM, ... UMD, LANL, ...)
- Estación de vigilancia sismológica (FI-BUAP)
- Estación climática (Climate Institute.)



Telescopio de neutrones solares

- Neutrones de alta energía son producidos en eventos solares (hasta 1 GeV?)
- Neutrones viajan de manera rectilínea desde los sitios de aceleración
- Flujo de neutrones atenuado por la atmósfera
- Los protones solares son filtrados cerca del ecuador por el campo geomagnético
- Estación solar en CU-UNAM desde...
- 1999-2001: contacto por J.F. Valdés Galicia (Geofísica UNAM) - proyecto con la U. de Nagoya
- 2003-2004: instalación y comienzo de operaciones
- Complementario a observaciones solares con RT5

World network of Solar neutron telescopes



Sitio	Altura (g/cm ²)	Longitud	Latitud	Area (m ²)	Cts sin Anti (m ² /min)	Cts con Anti (m ² /min)
Gronergrat, Suiza	700	7.8° E	46.0° N	4	33,000	12,000
Aragats, Armenia	700	40.5° E	44.2° N	4	23,000	15,000
Yanbajing, Tibet	600	90.5° E	30.0° N	9	34,000	8,900
Mt. Norikura, Japón	730	137.5° E	36.1° N	64	19,000	2,600
Mauna Kea, Hawaii	610	156.3° W	19.8° N	8	25,000	12,000
Sierra Negra, México	575	97.3° W	19.0° N	4	47,000	20,000
Chacaltaya, Bolivia	540	68° W	16.2° S	4	56,000	26,000

Radiotelescopio RT5

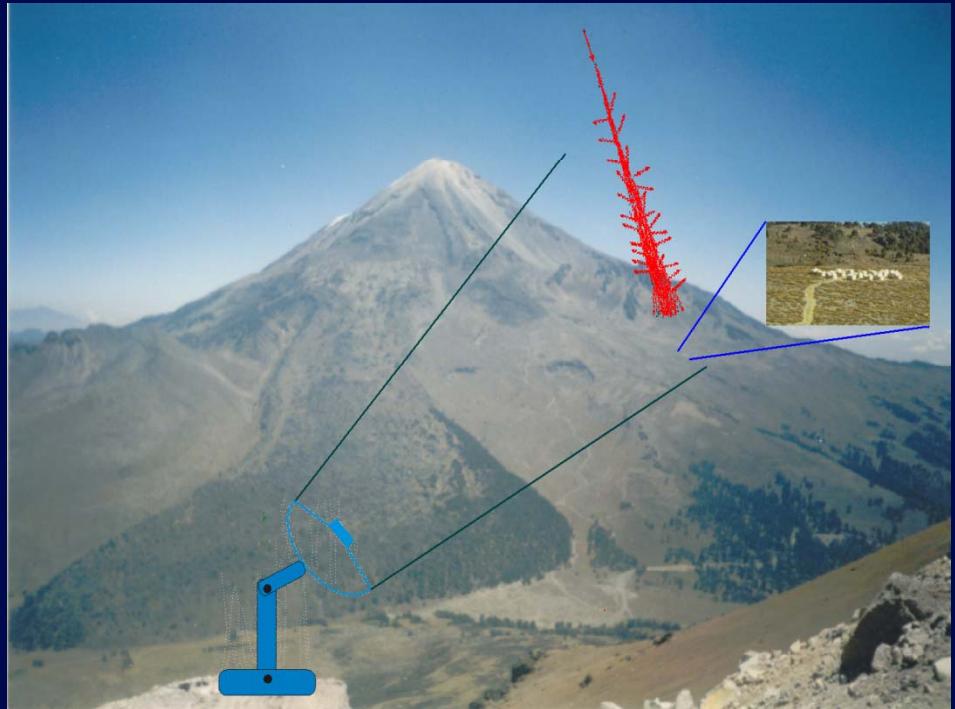
- Antena de 5m donada por la U. Texas en Austin
- Proyecto INAOE (Mendoza), IGF-UNAM, IA-UNAM
- Para observaciones solares
 - nocturno: máseres (blazares?)
- Aún por instalarse

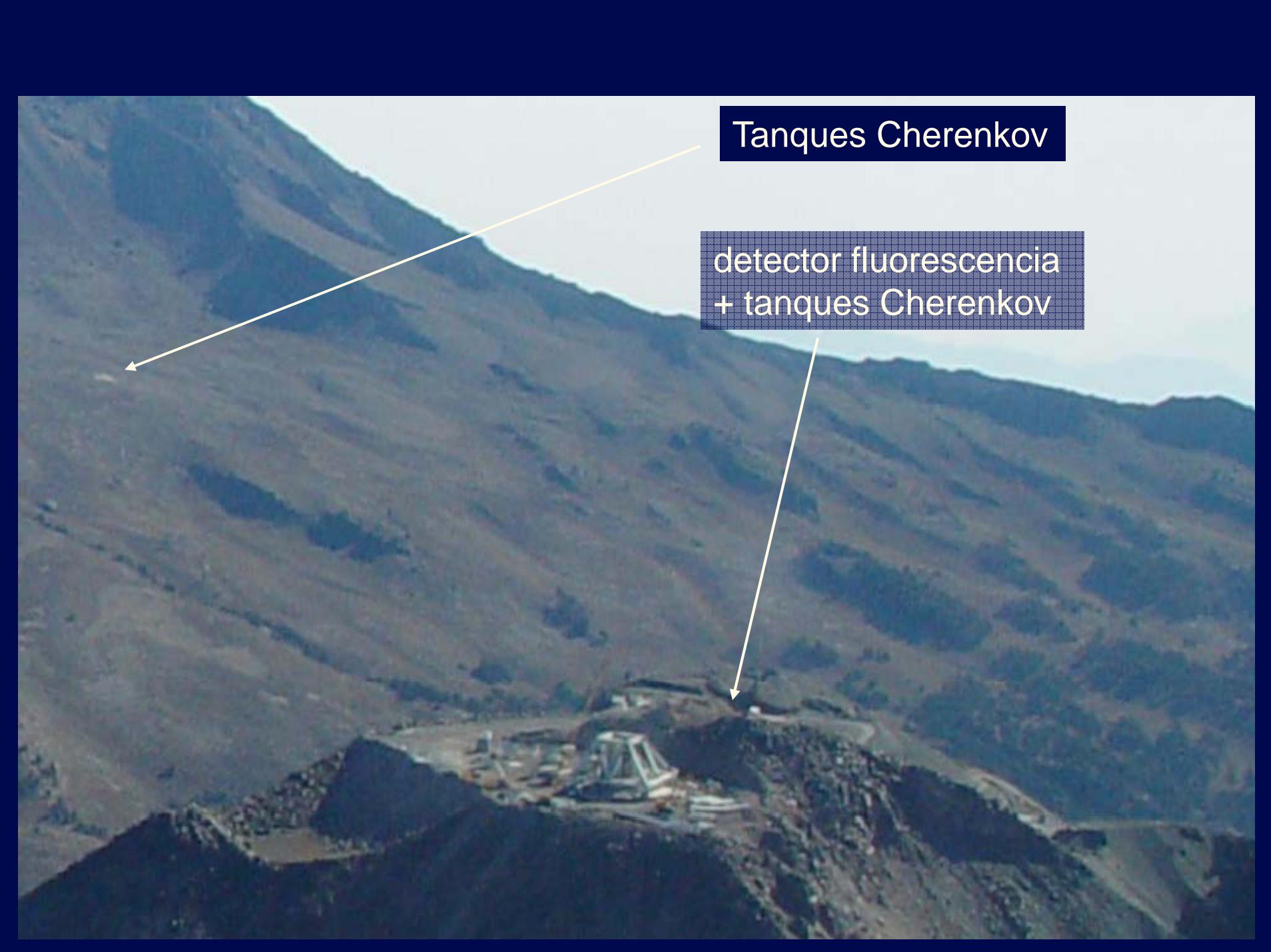




Detectores de rayos cósmicos

- Experimento de la BUAP + U. Michoacana en colaboración con el Instituto Balseiro de Bariloche
- Medir la composición de masa de rayos cósmicos en el rango 10^{17} - 10^{18} eV
- Potencial para detectar Gamma-Ray Bursts
 - tanques Cherenkov en la falda de Citlaltepetl (4300m)
 - LAGO: arreglo de tanques Cherenkov cerca del RT5
 - telescopio de fluorescencia





Tanques Cherenkov

detector fluorescencia
+ tanques Cherenkov

Estación Sismológica FI-BUAP

- Monitorea actividad Pico de Orizaba desde marzo 2007
- Facultad de Ingeniería BUAP - comisionada por Protección Civil del Estado de Puebla
- Junto a la torre del monitor de seeing (parte NE sitio)



Estación del Climate Institute

- Sep 2006: carta de invitación del Climate Institute para hospedar el *National High Altitude Global Climate Observing Center in Mexico*
 - Monitoreo de gases de invernadero
 - Plataforma de observación, centro de acopio de datos y torre ⇒ aprox 100m²
 - A ubicarse en la zona del RT5 y LAGO

El observatorio de rayos γ HAWC

High Altitude Water Cherenkov

- Segunda generación de observatorios γ de gran apertura (campo de visión) (Milagro)
- Mapeo y monitoreo del cielo visto en fotones TeV ($E \geq 100$ GeV)
- Construido sobre la experiencia de Milagro:
 - mayores dimensiones y mayor altura \Rightarrow 15 times más sensitivo
- Complementario al telescopio espacial Fermi y IceCube
- Propuesta de sitio 2006 - decisión julio 2007

En resumen

Se cuenta con los requerimientos mínimos para iniciar las operaciones del GTM

Para observaciones remotas se requiere un ancho de banda mayor

Para transferencia de datos se requiere mayor ancho de banda

Se están construyendo la segunda generación de instrumentos del GTM que requerirán un ancho de banda mucho mayor