

# El Gran Telescopio Milimétrico

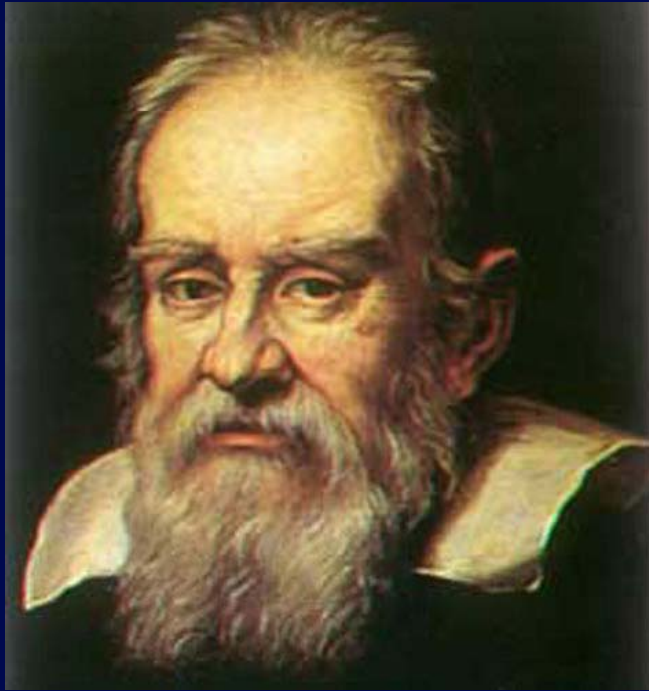
Esperanza Carrasco Licea

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica  
Tonantzintla, Puebla

UDLA, 24 de abril de 2009

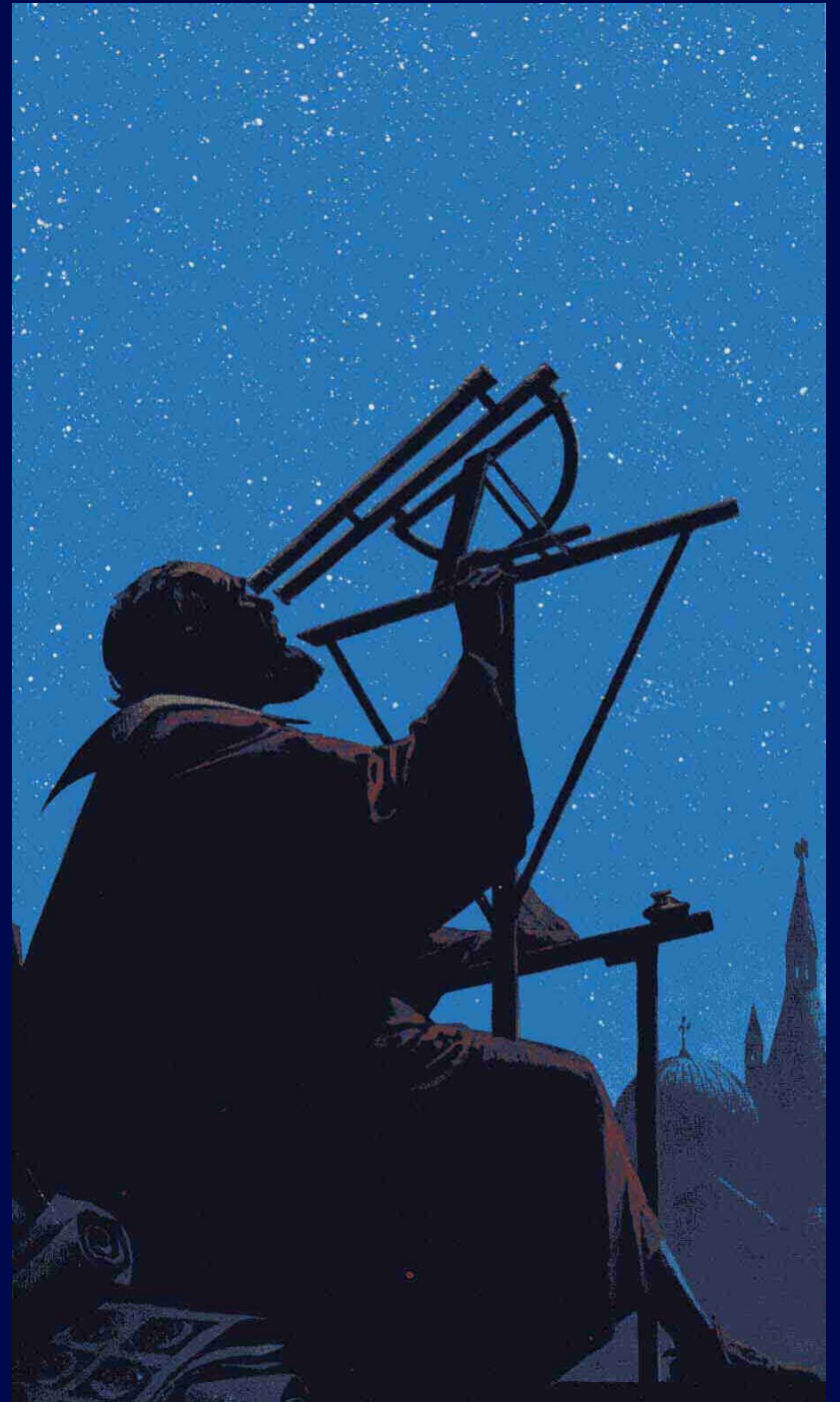




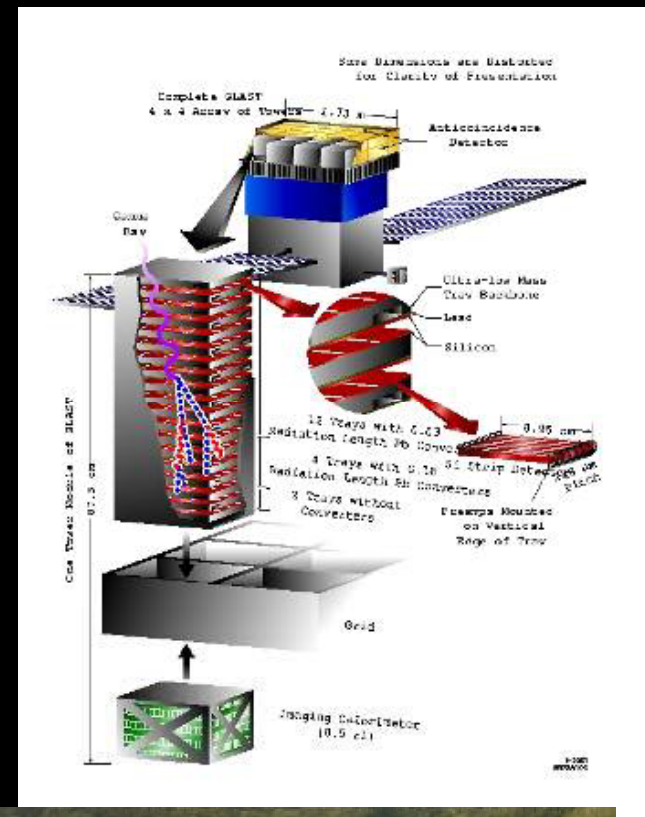
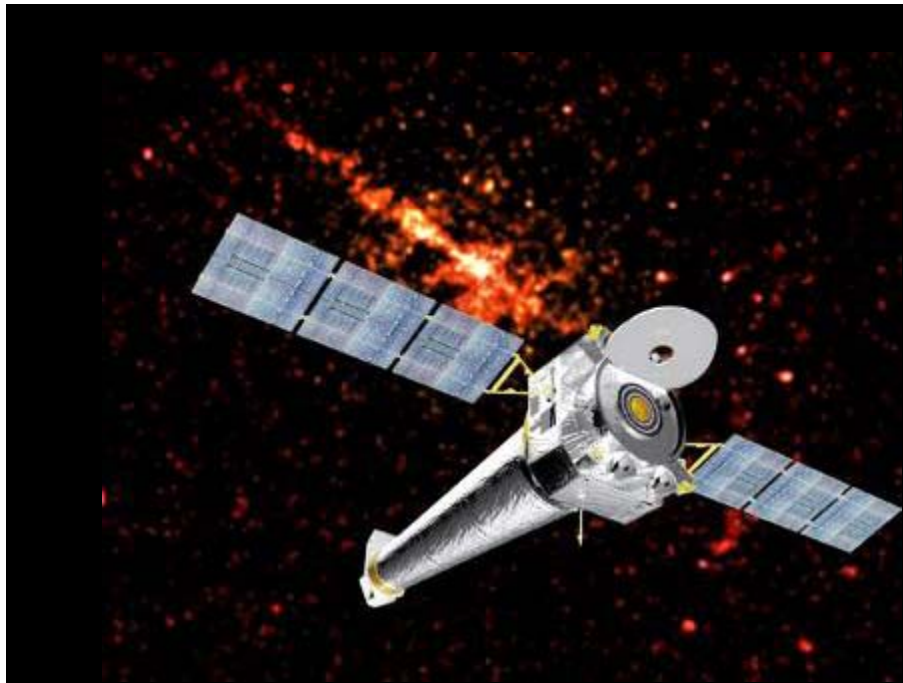


Galileo Galilei en 1409

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

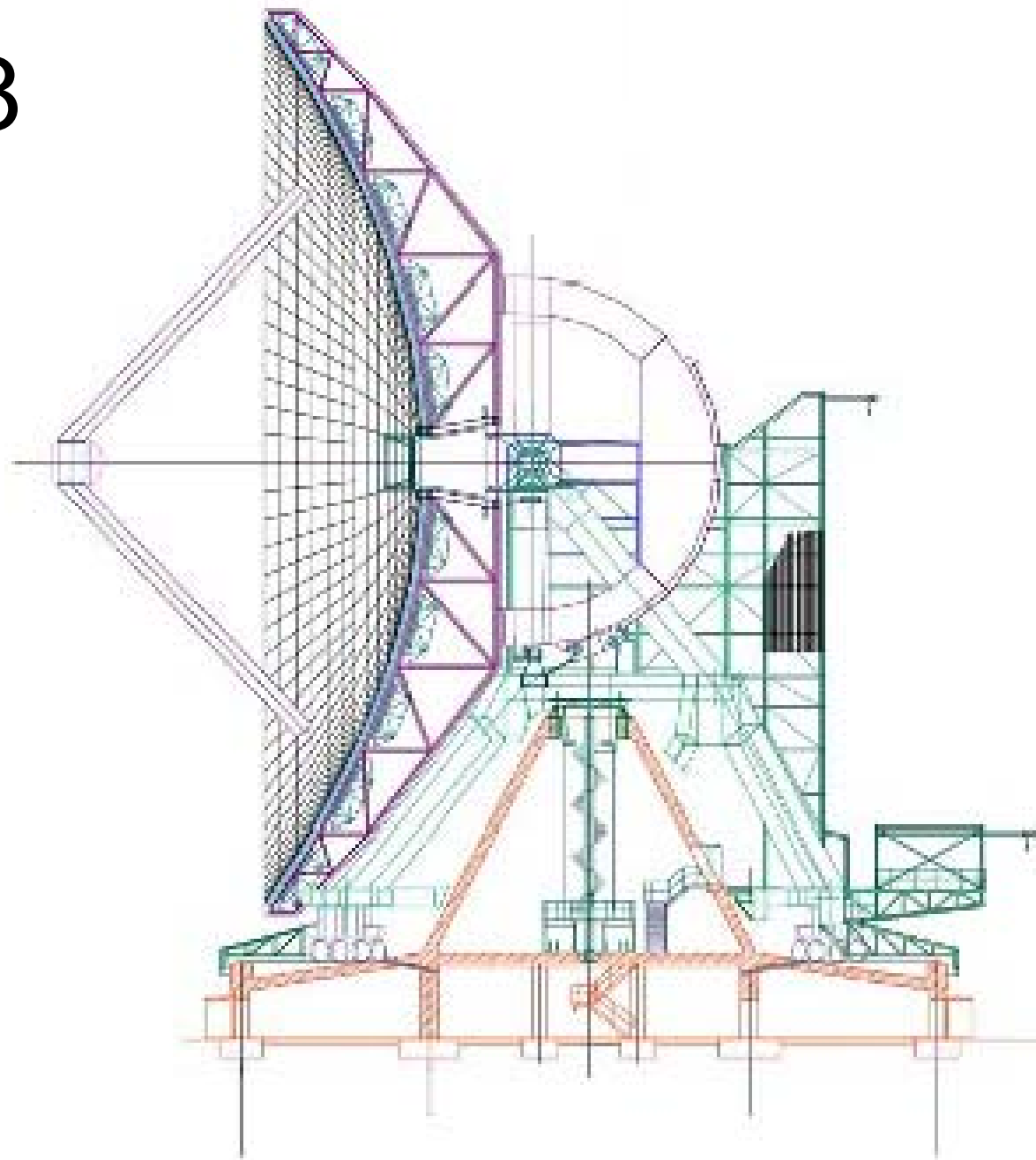




1997



1998



1999





2000





2001





2002



2003





2004





2005



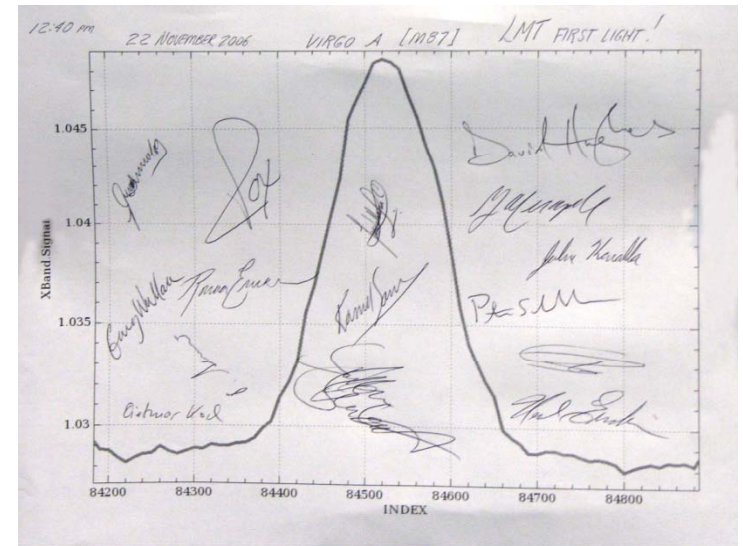


2006

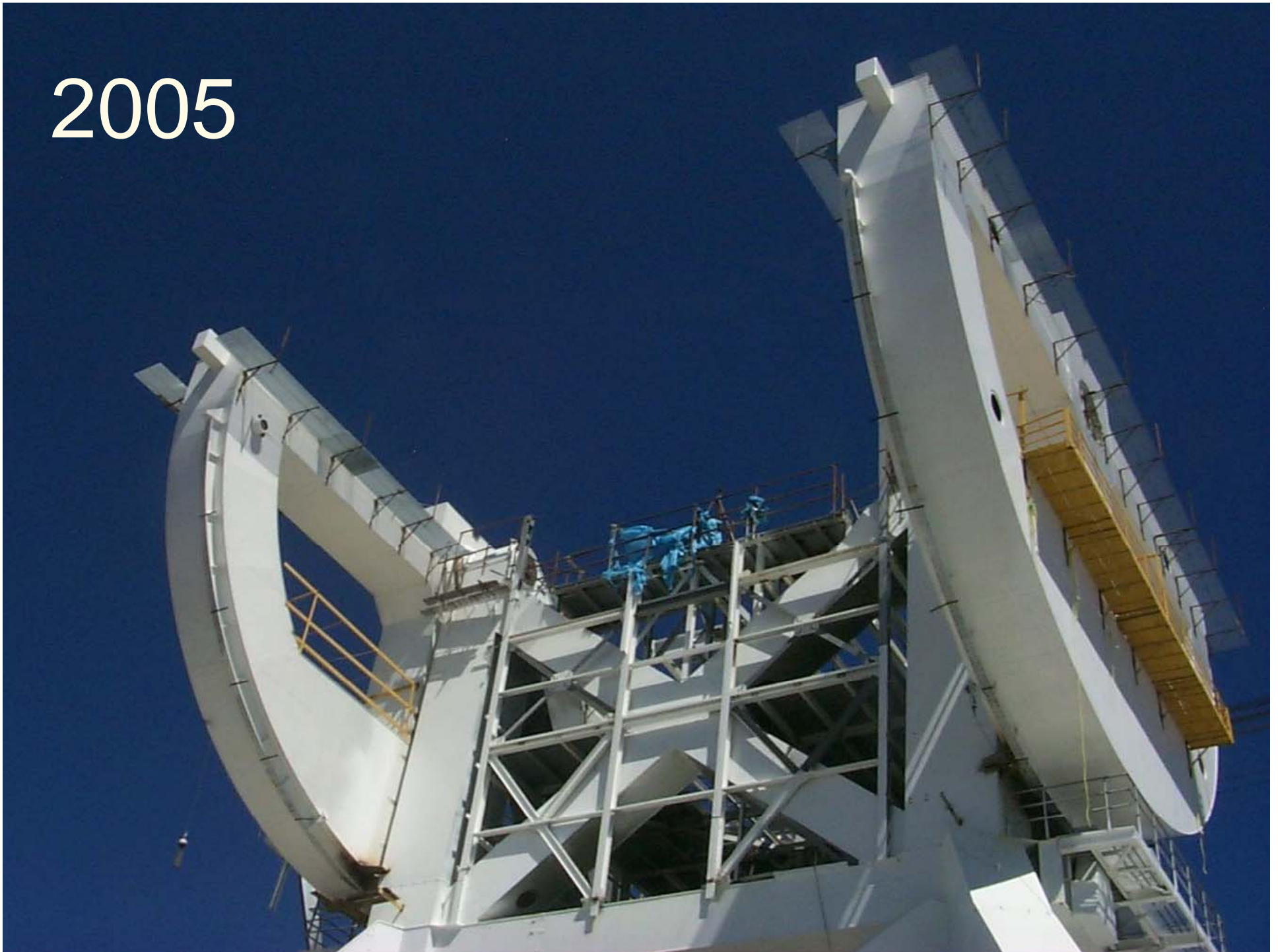




# 2007

A large satellite dish antenna is mounted on a white, conical pedestal. The dish is blue and has a complex internal structure. At the base of the pedestal, a Mexican flag is visible. The structure is situated on a dark, rocky ground. In the background, there are some vehicles and a clear blue sky. The year '2007' is written in large black digits in the top left corner.

2005





2004



2003





2000



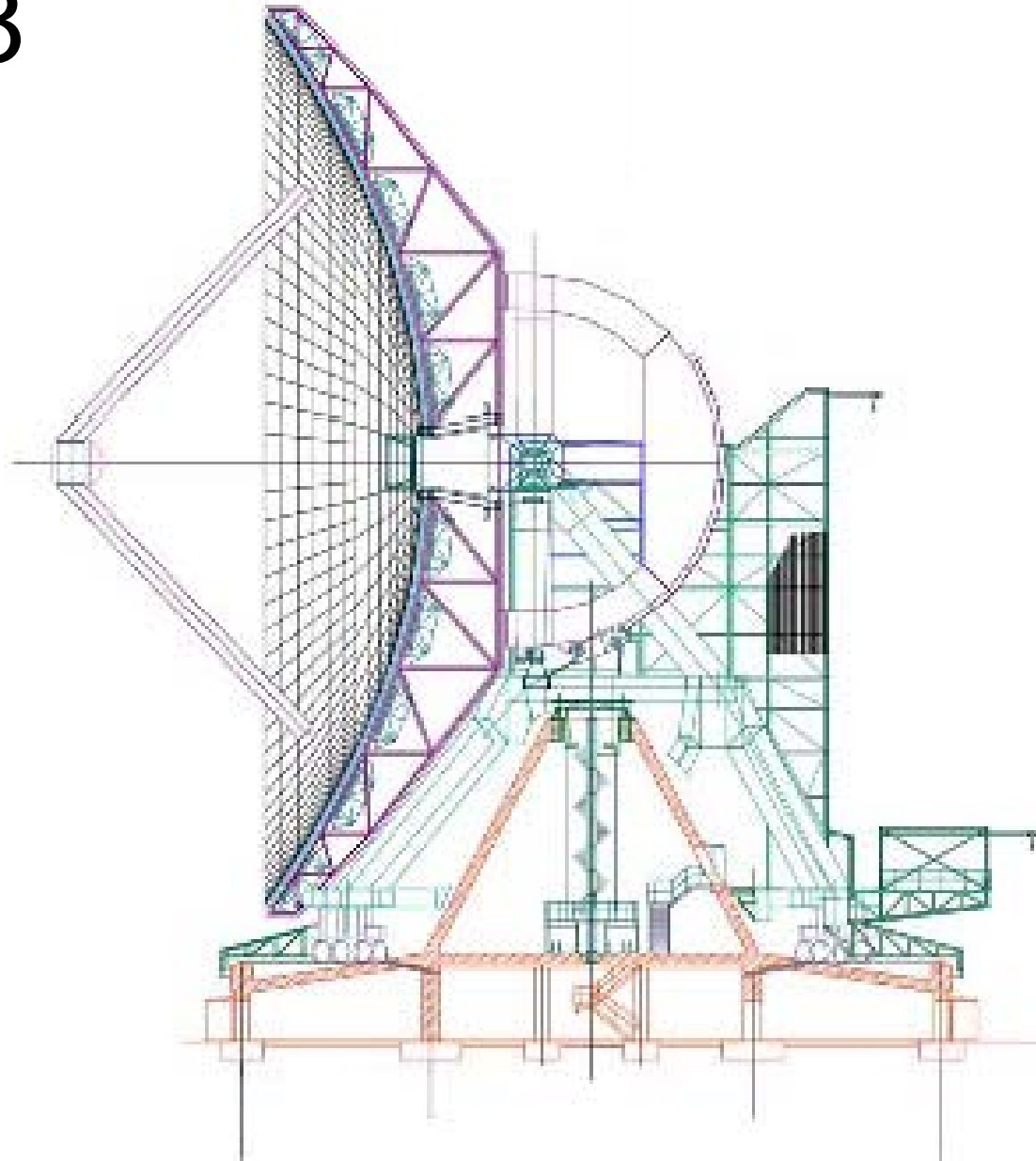


# 1999



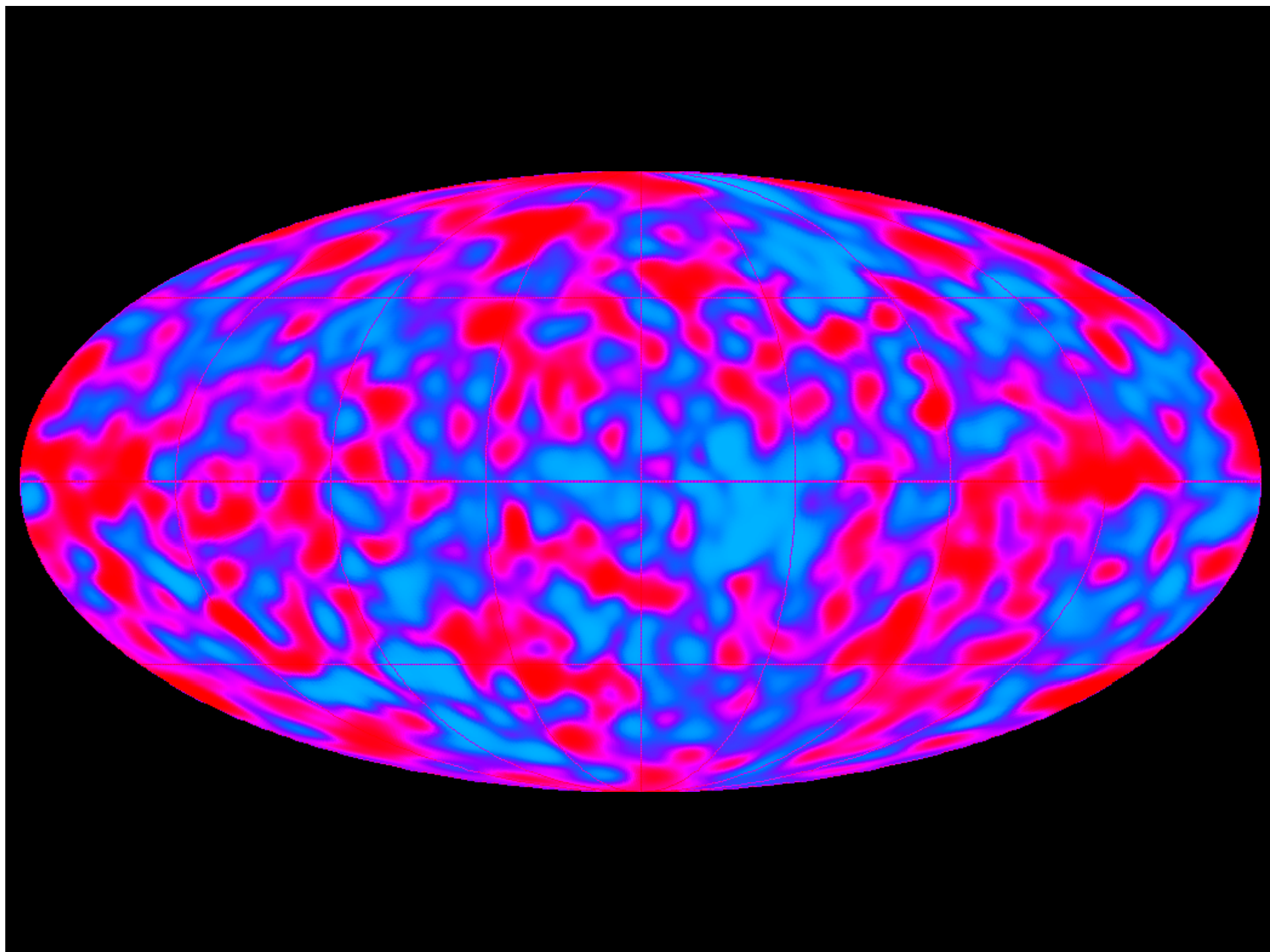


1998

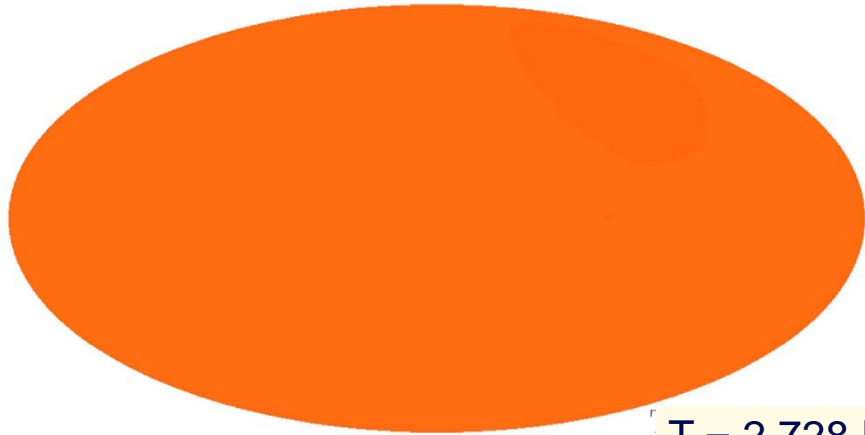


1997

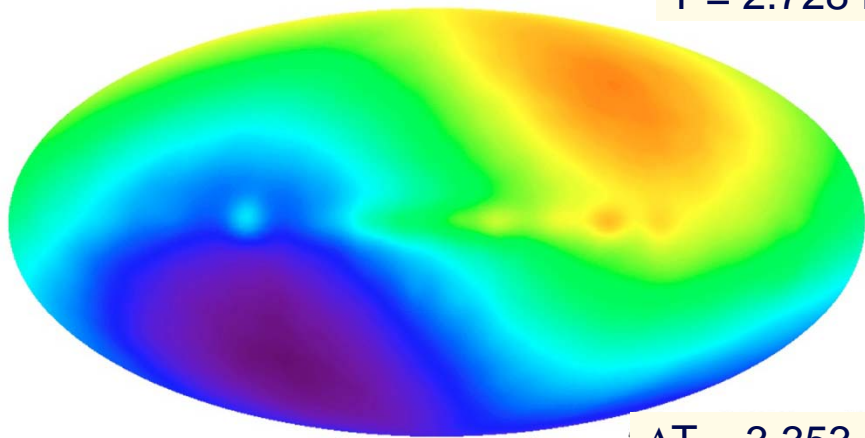




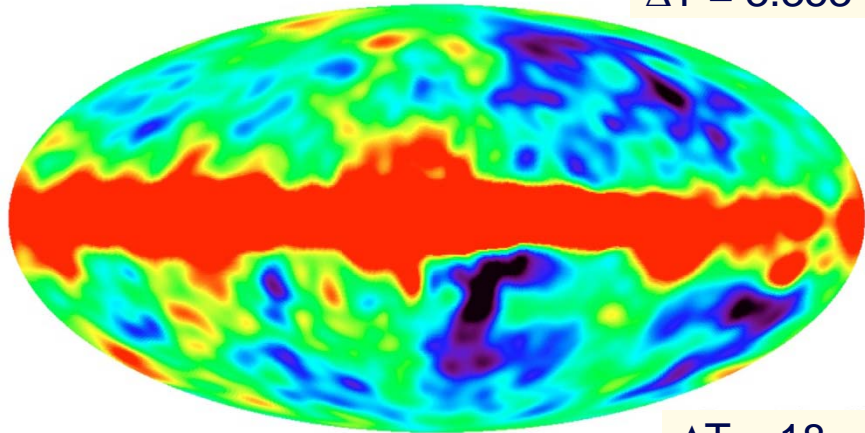
*DMR 53 GHz Maps*



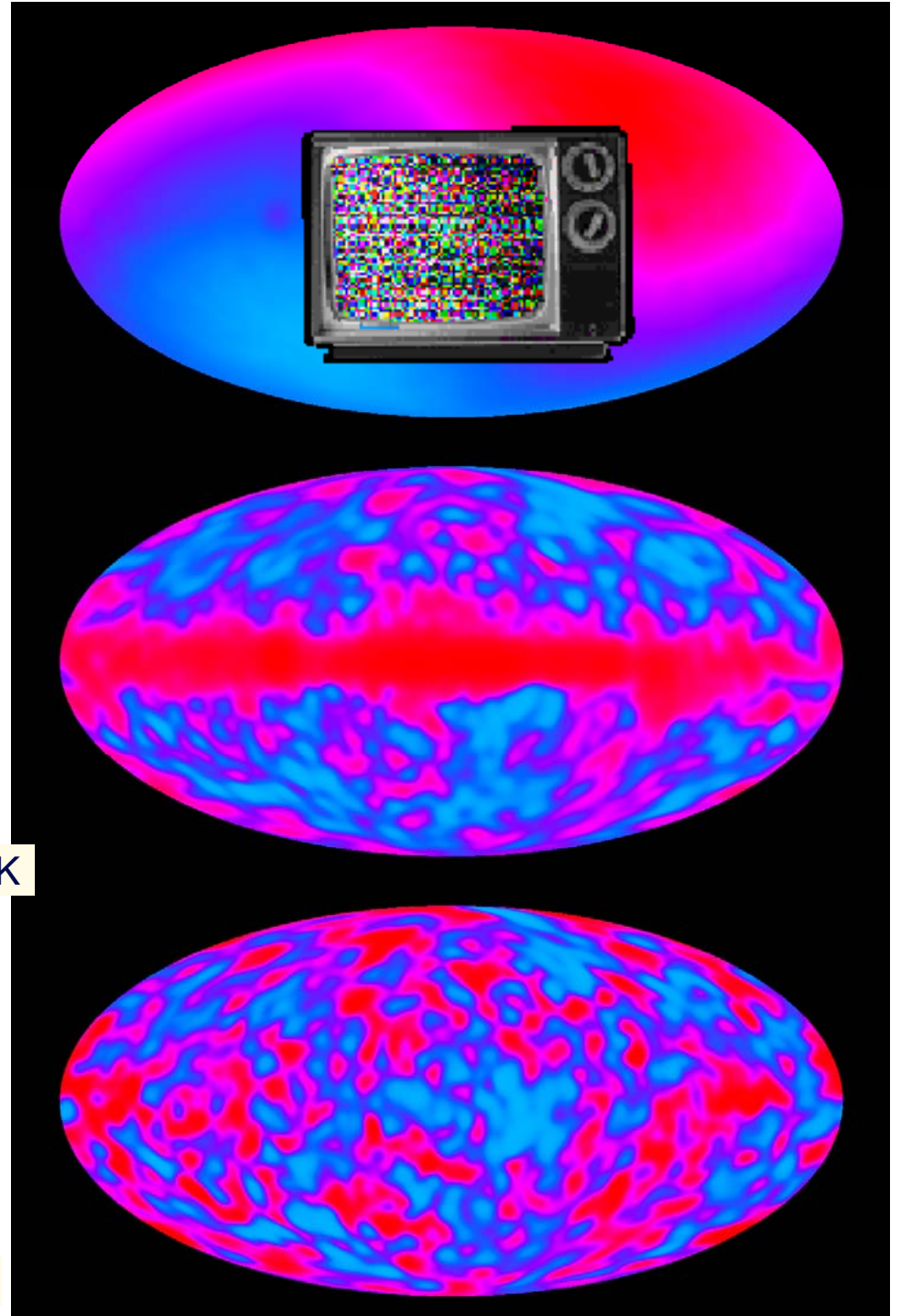
$T = 2.728 \text{ K}$



$\Delta T = 3.353 \text{ mK}$

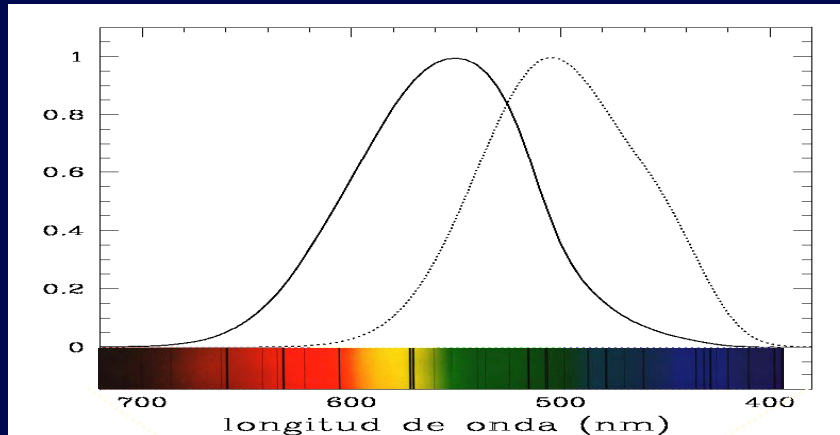


$\Delta T = 18 \text{ } \mu\text{K}$



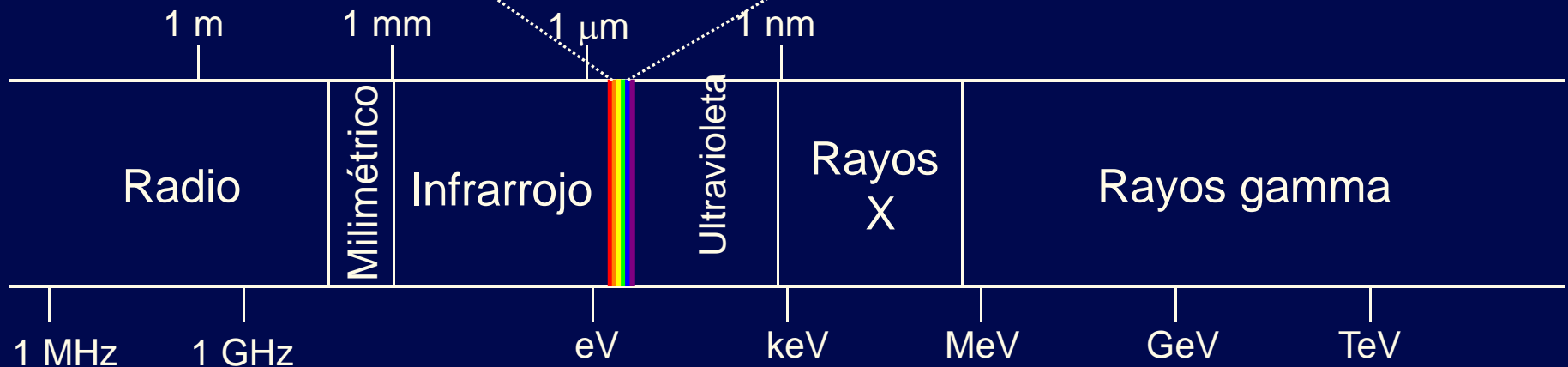


# El espectro electromagnético



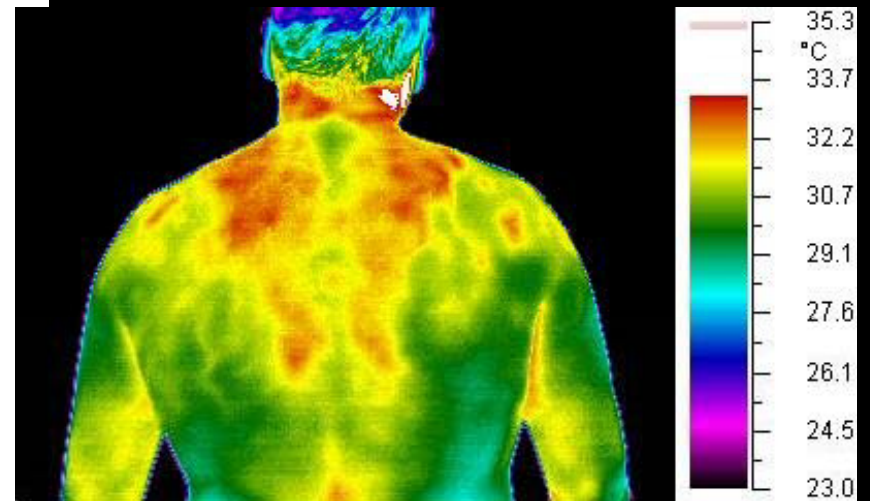
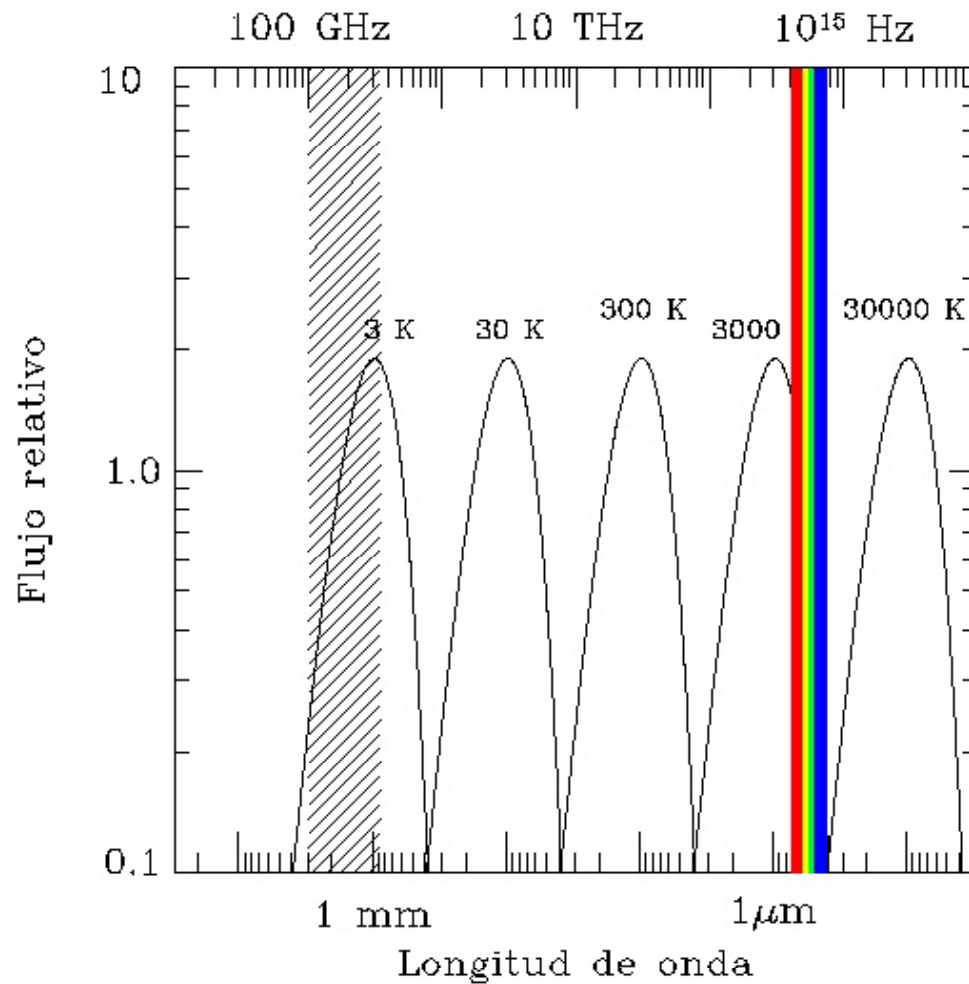
Luz visible

2 eV → 3 eV



Fotones  
 $E=h\nu$

# Los ojos ven estrellas



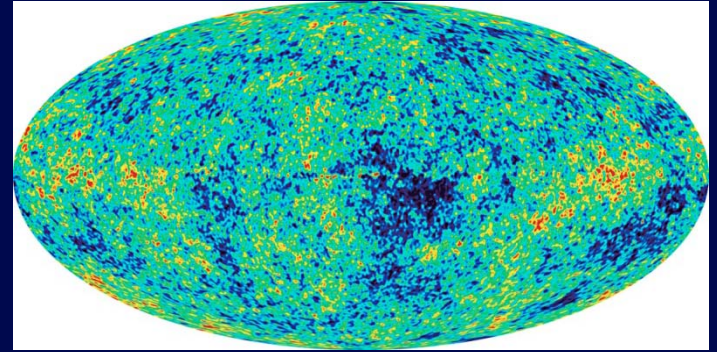
Pero el Universo tiene algo más que estrellas

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

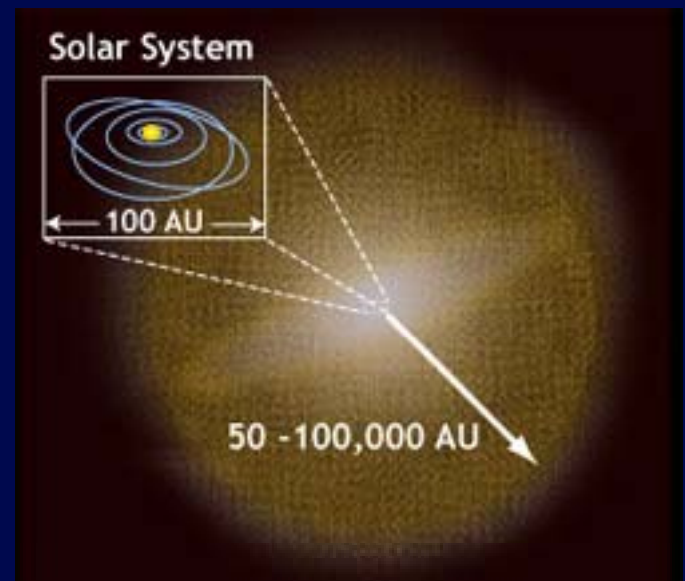
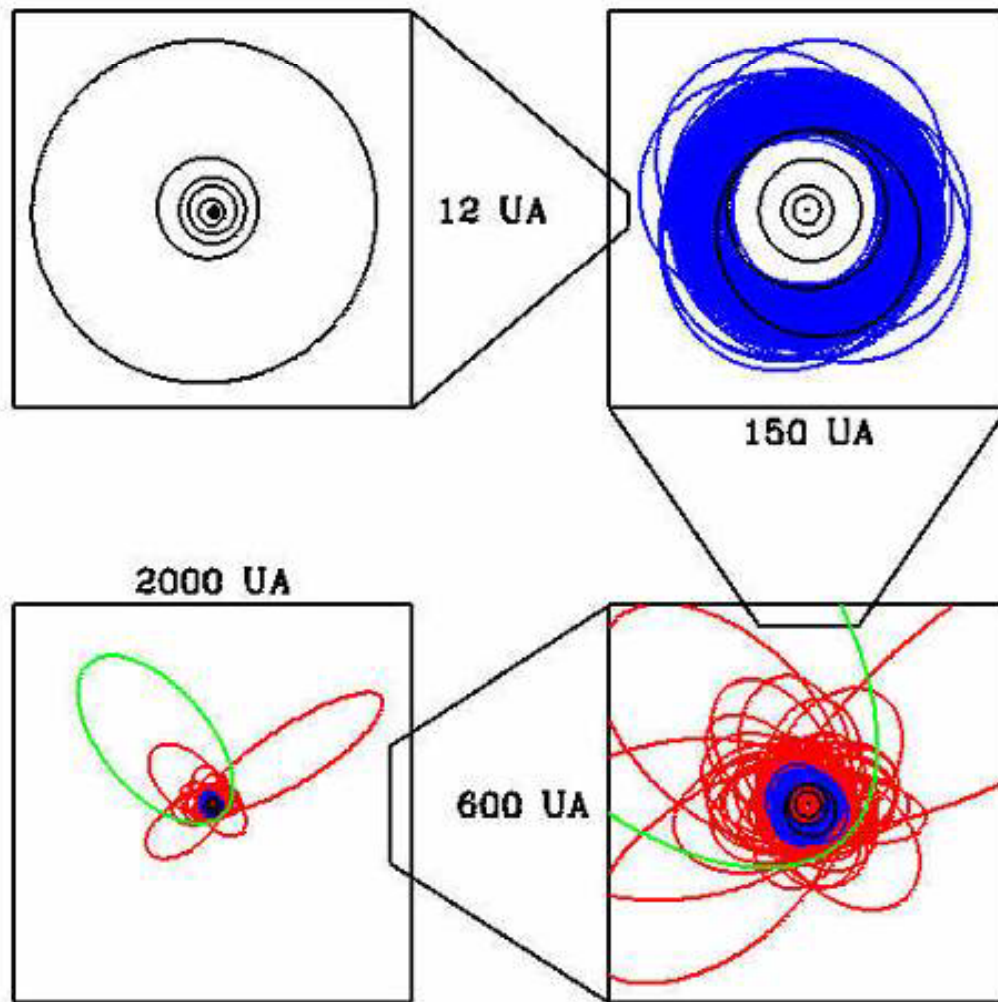


# El Universo frío

- 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.



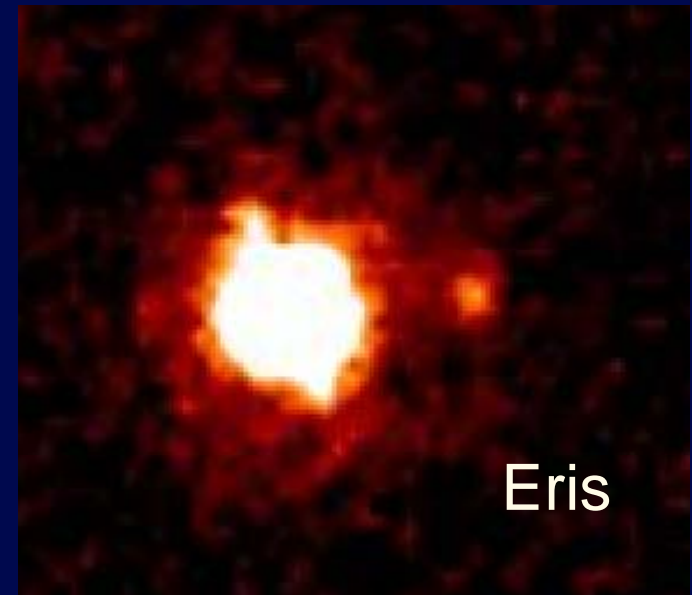
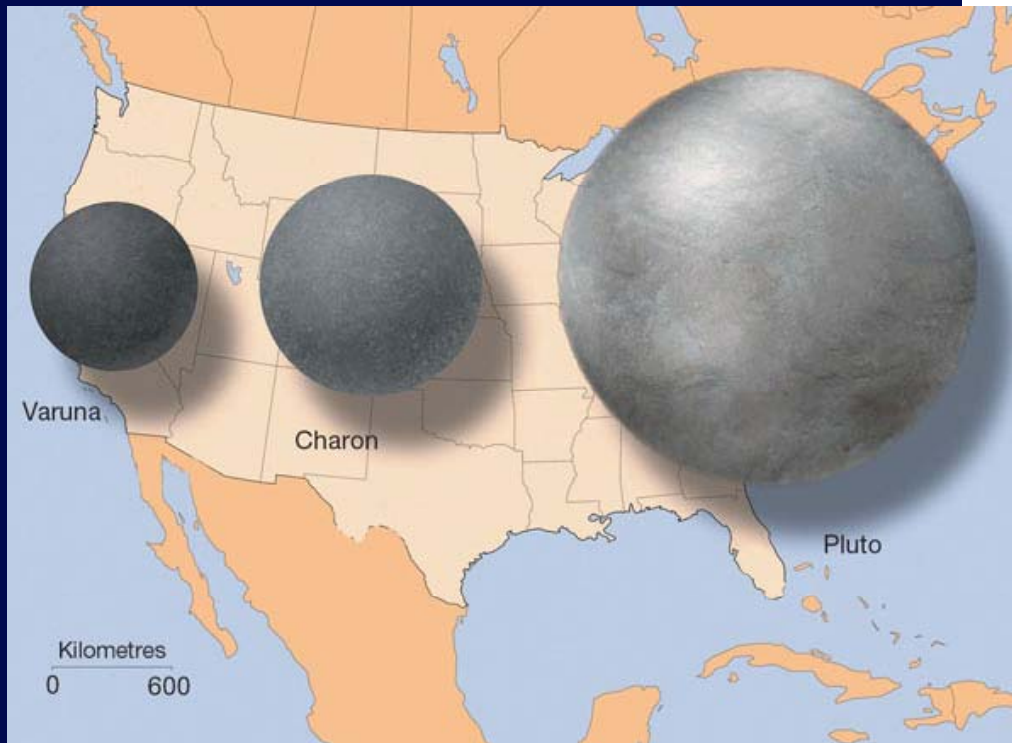
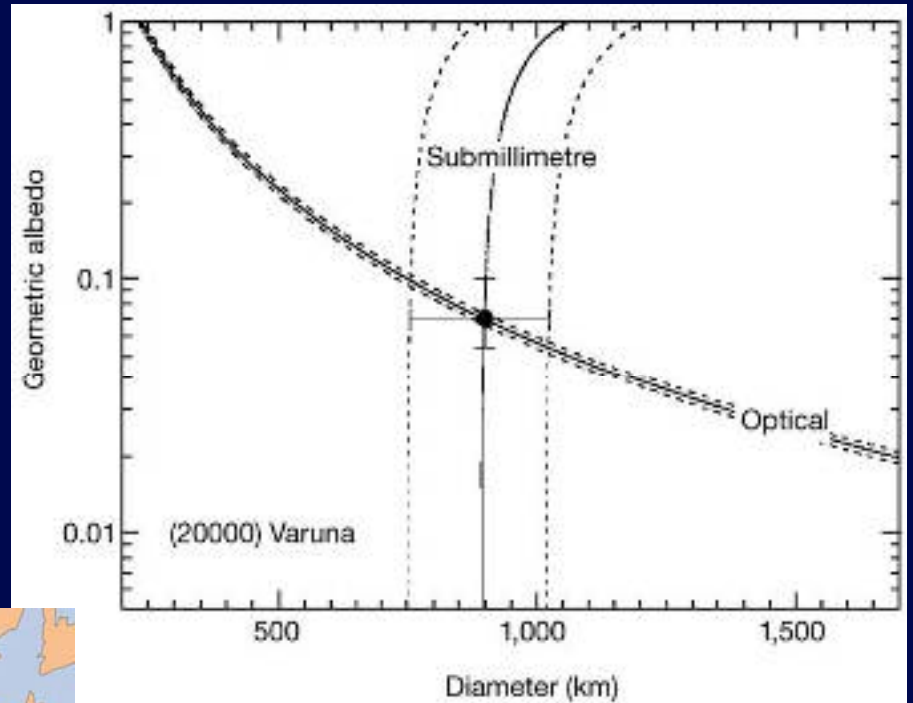
# El sistema solar “hoy en día”



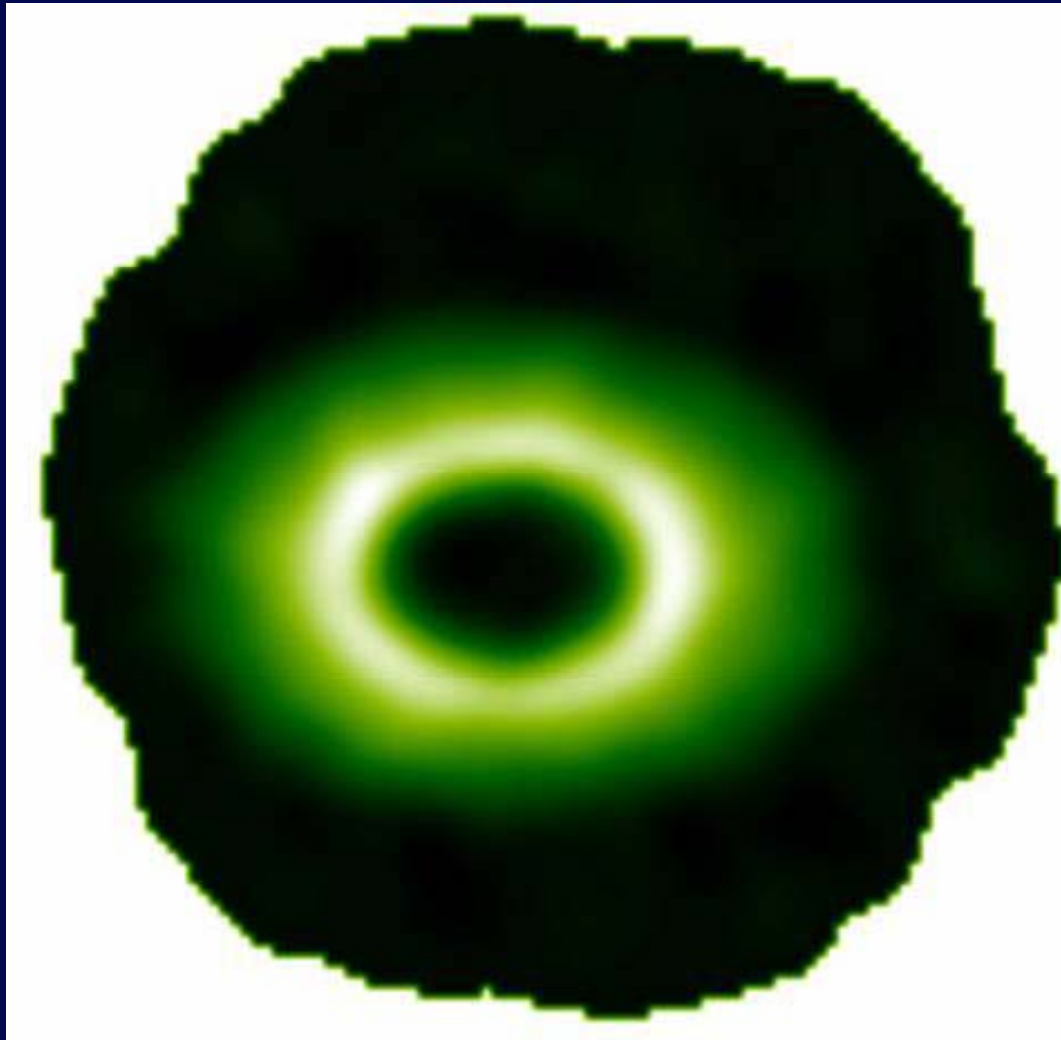
La nube de Oort?



# 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!

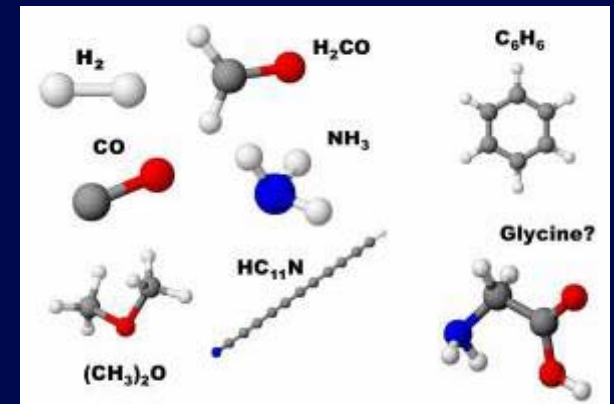


# Formación de estrellas

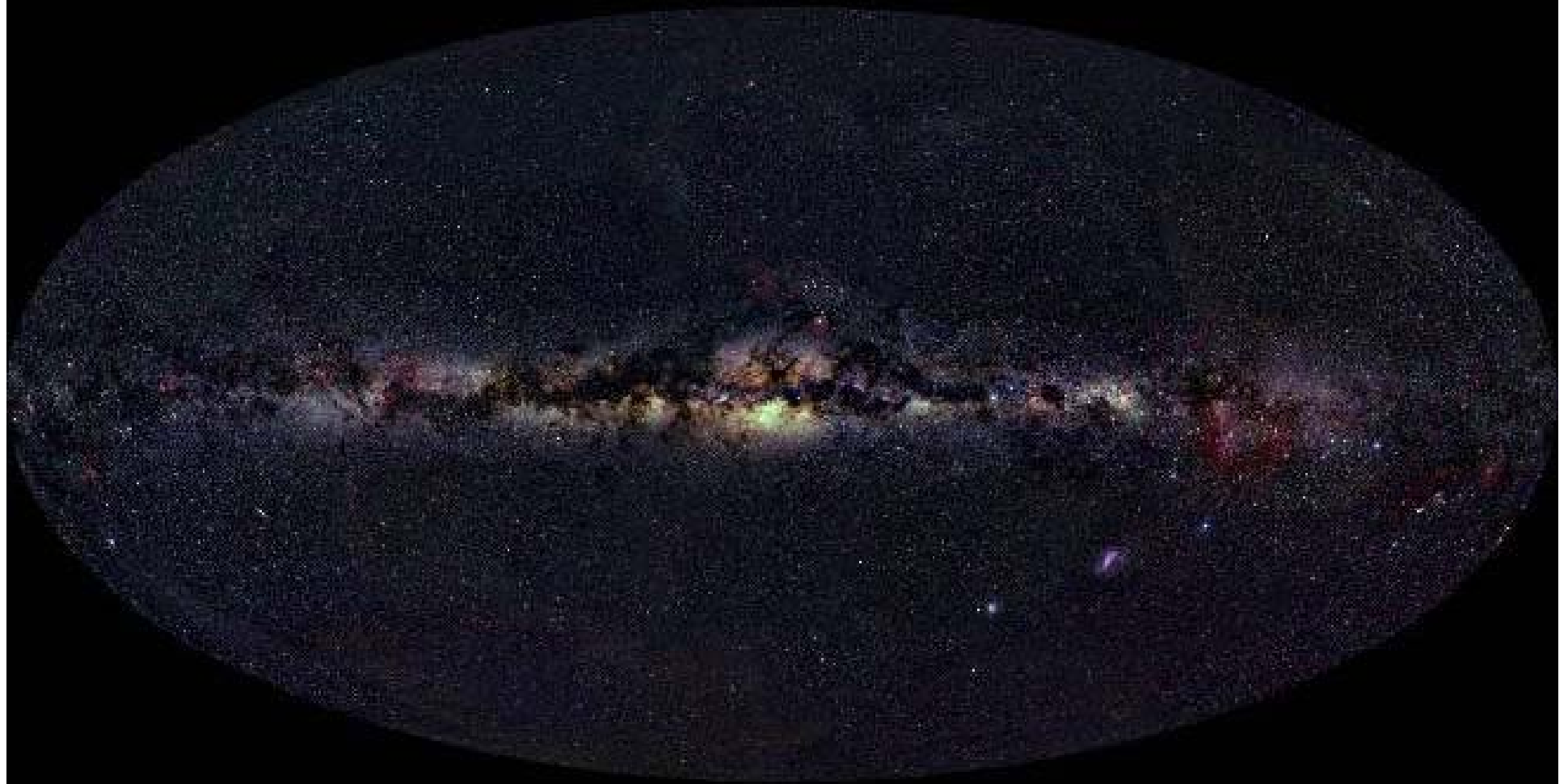


Las estrellas nacen en oscuras  
nubes moleculares gigantes.

(~ -200 C)



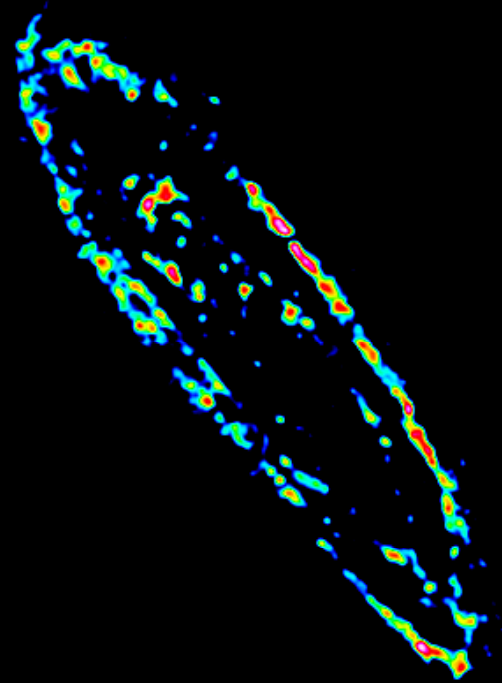
# *The Deep Sky*



© 2000, Axel Mellinger



# Galaxias cercanas

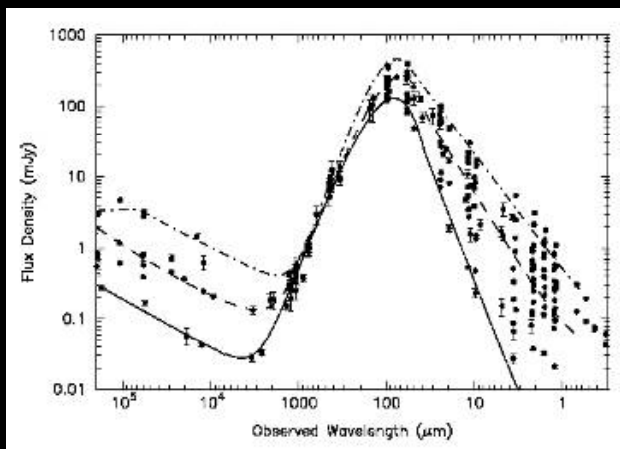


Mapa de Andr meda obtenido con el 30m  
de IRAM

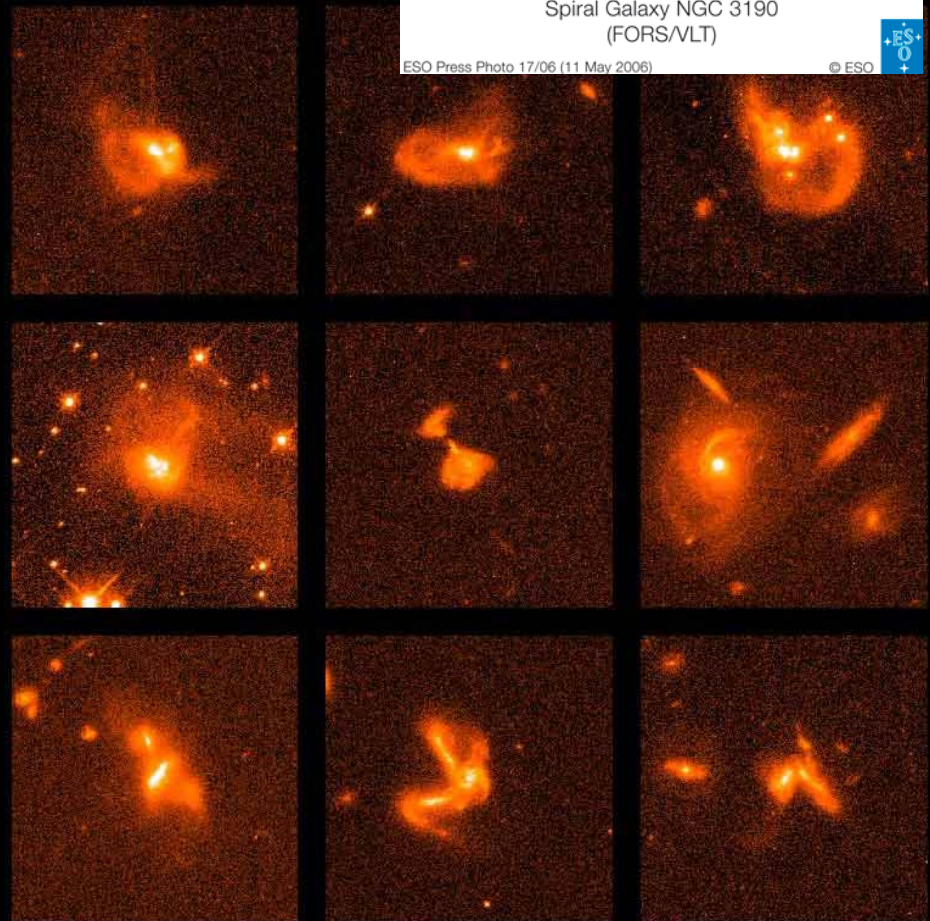
Neininger et al. 1998

# Galaxias polvosas y el corrimiento *al milimétrico*

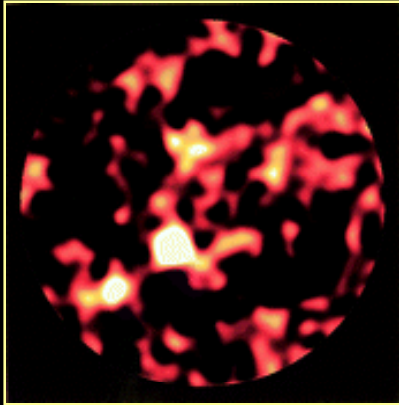
- La luz visible se corre al rojo
- La luz infrarroja se corre al milimétrico



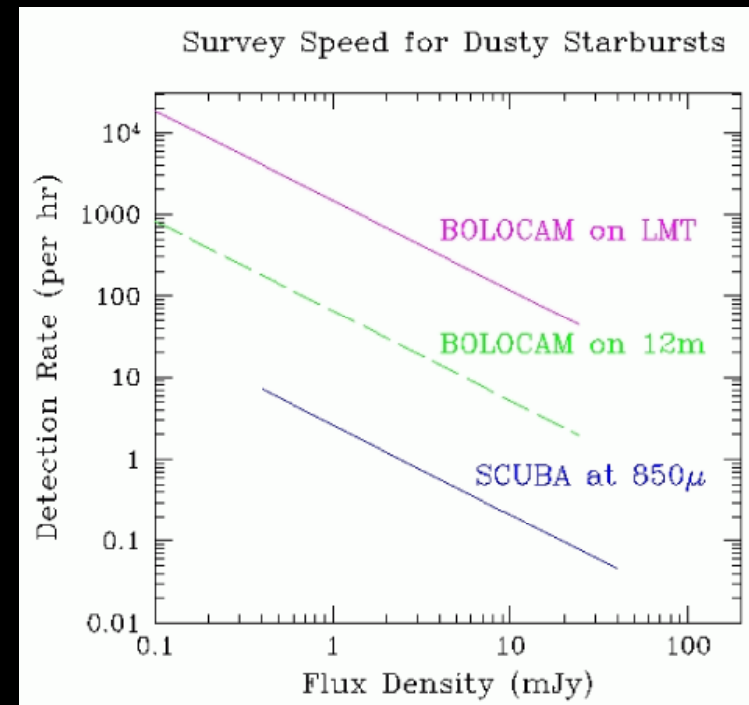
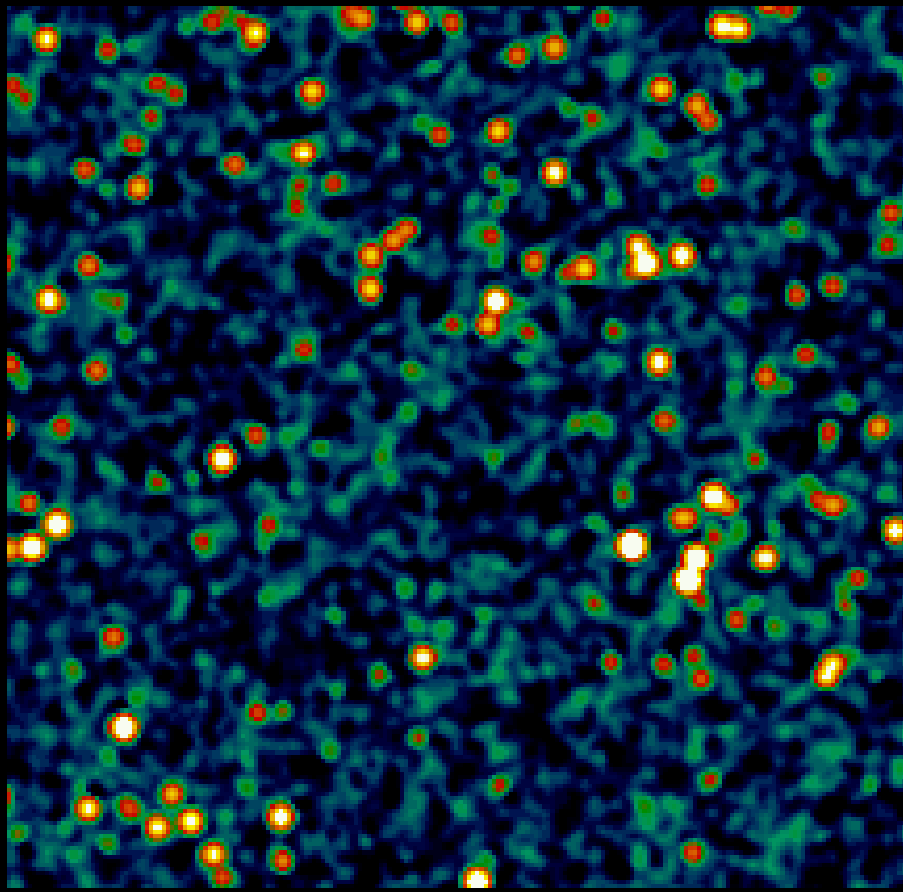
Spiral Galaxy NGC 3190  
(FORS/VLT)  
ESO Press Photo 17/06 (11 May 2006) © ESO







# Búsquedas de galaxias distantes



Simulación...

# Primera generación de instrumentos

## Cámaras del continuo

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

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

## Receptores heterodinos

SEQUOIA    ensamble de 32-píxeles 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  $\sim 3 \text{ mJy/Hz}^{1/2}$

velocidad de cartografía  $> 20 \text{ minarc}^2/\text{hr/mJy}^2$

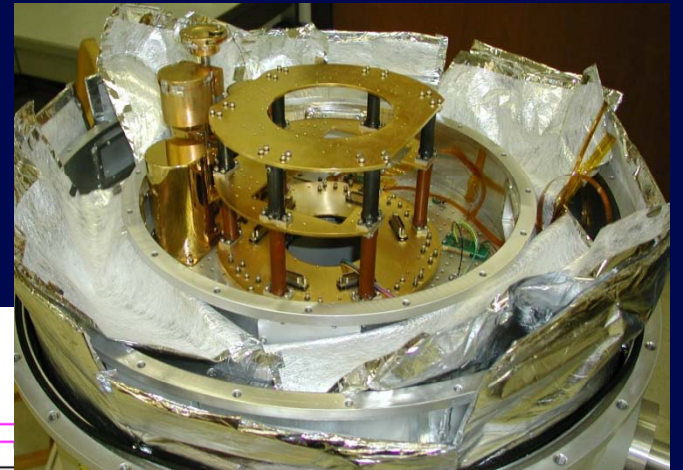
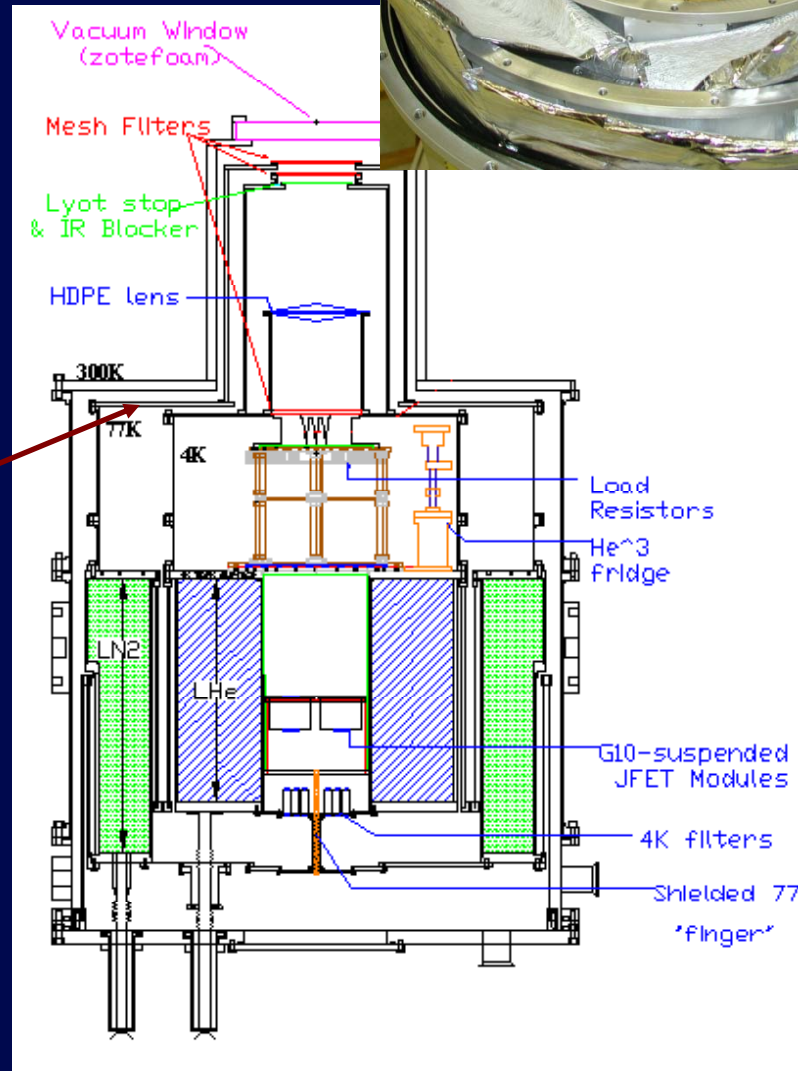
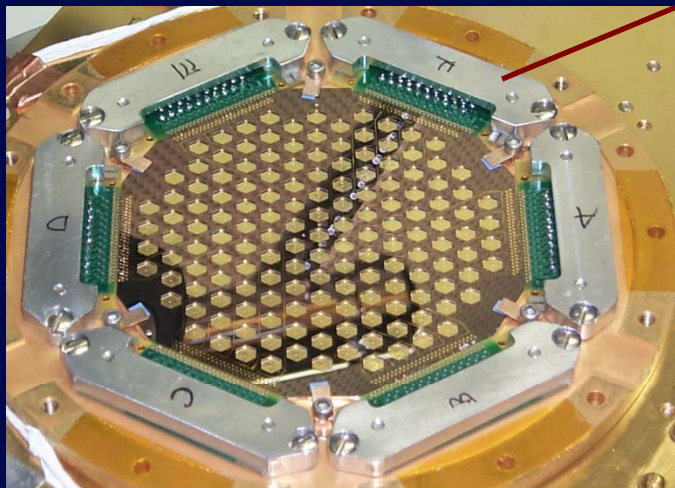
Imagen profunda de campo amplio

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<sup>1/2</sup>

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

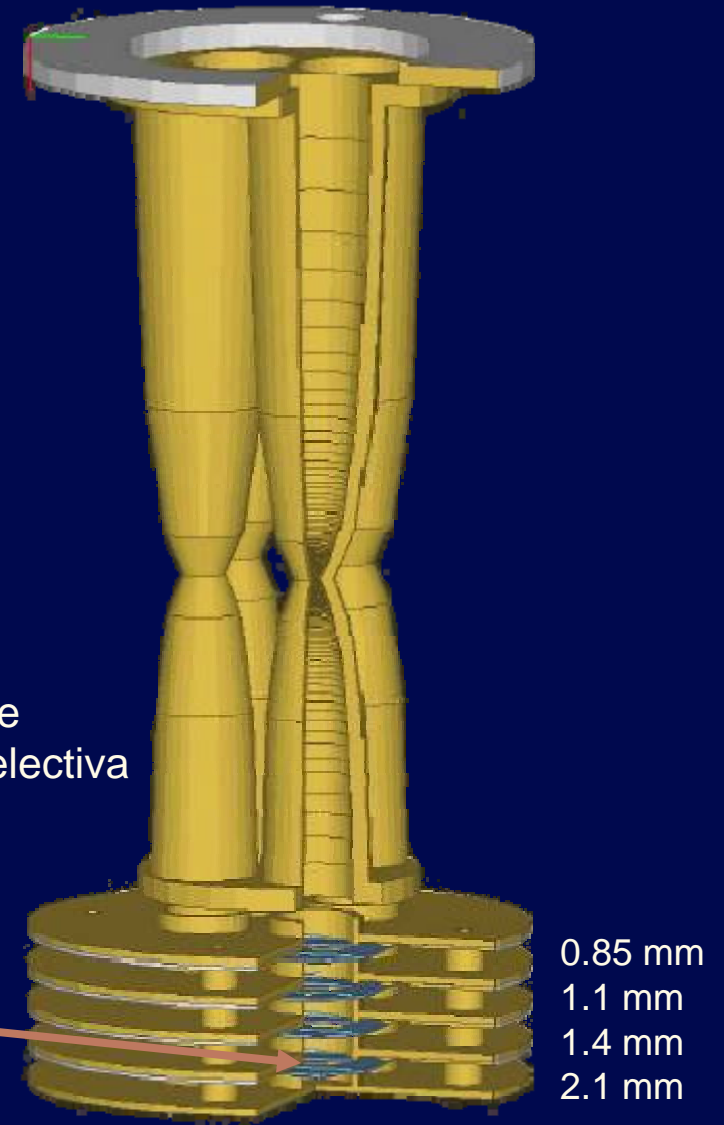


**Close-up of single FSB detector**

Au ring

Absorbedor de  
Frecuencia selectiva

Mo/Au TES



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

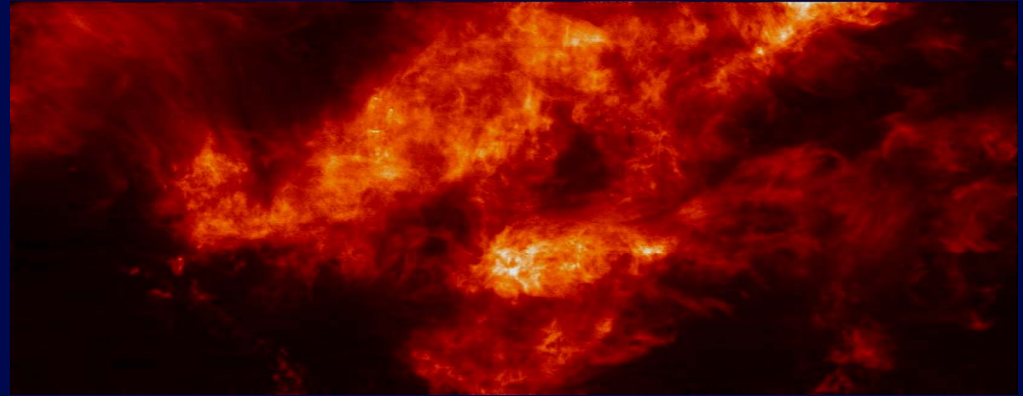
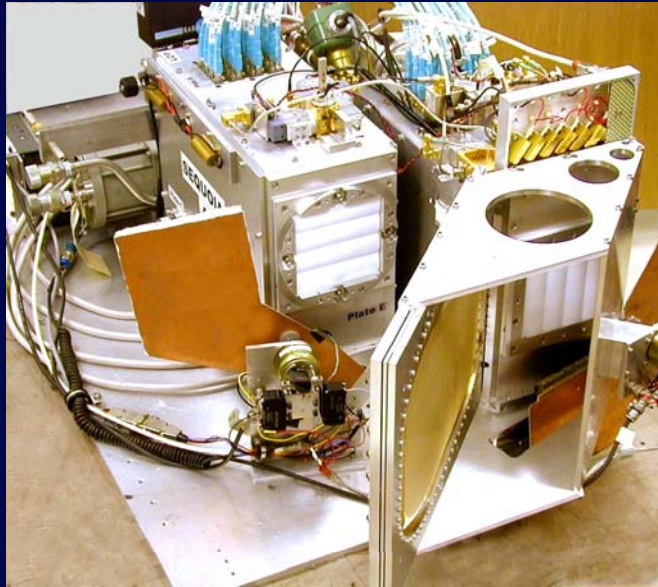
MMIC amplificadores

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  
 $^{12}\text{CO}$  J=1-0 con SEQUOIA en FCRAO 14-m

FCRAO Five College Radio Astronomy  
Observatory, Universidad de Massachusetts

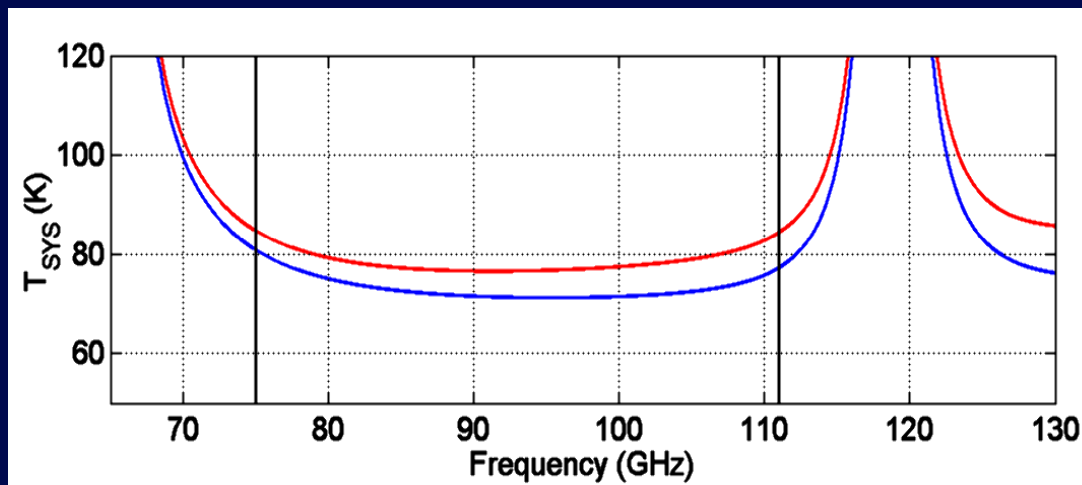


## Buscador de corrimientos al rojo (banda ultra ancha)

75-111 GHz cubre toda la ventana de 3mm

resolución 31 MHz ( $100 \text{ km s}^{-1}$ )

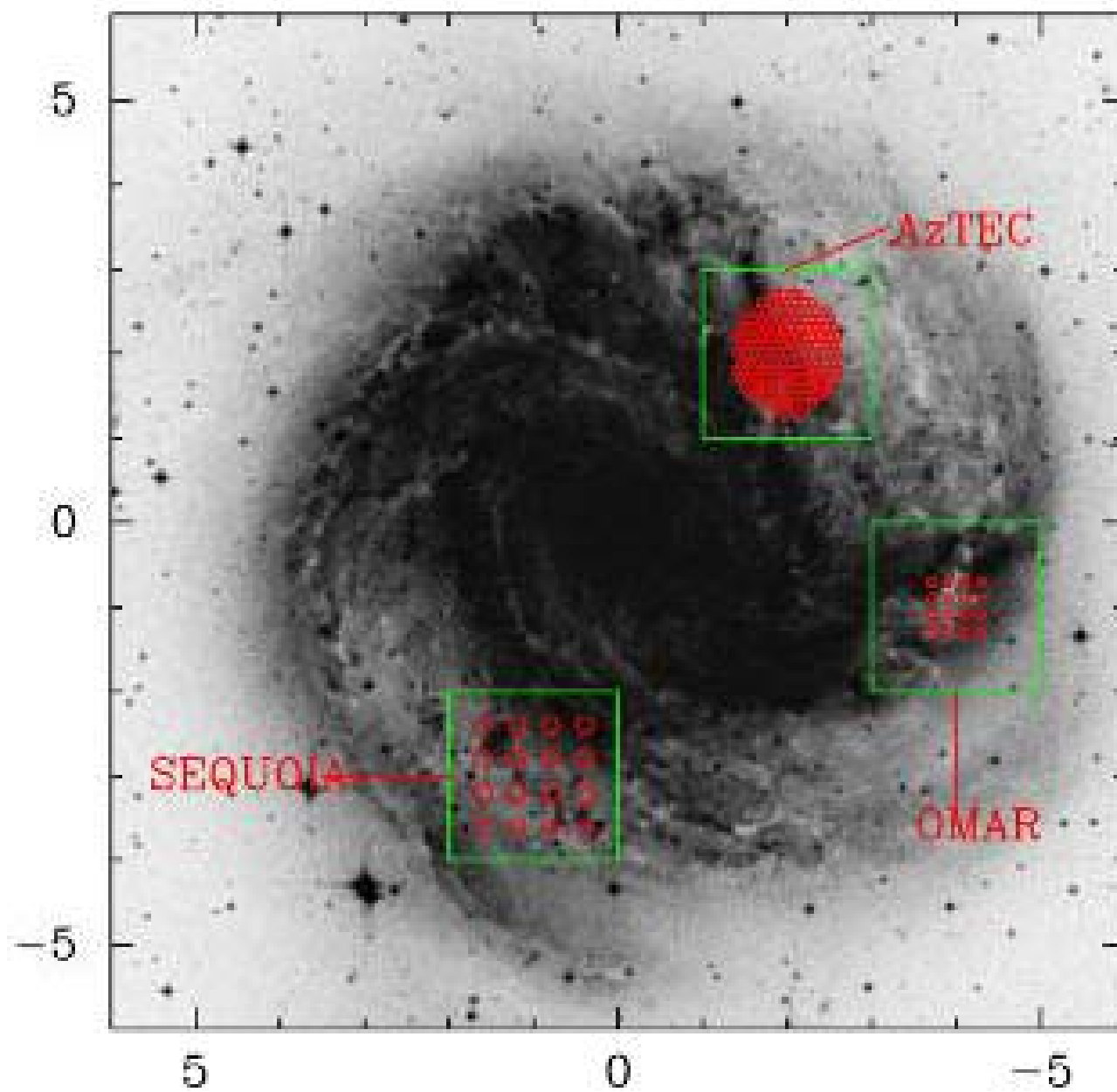
Autocorrelador analógico



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

para 2 y 5 mm vapor de agua  
precipitable

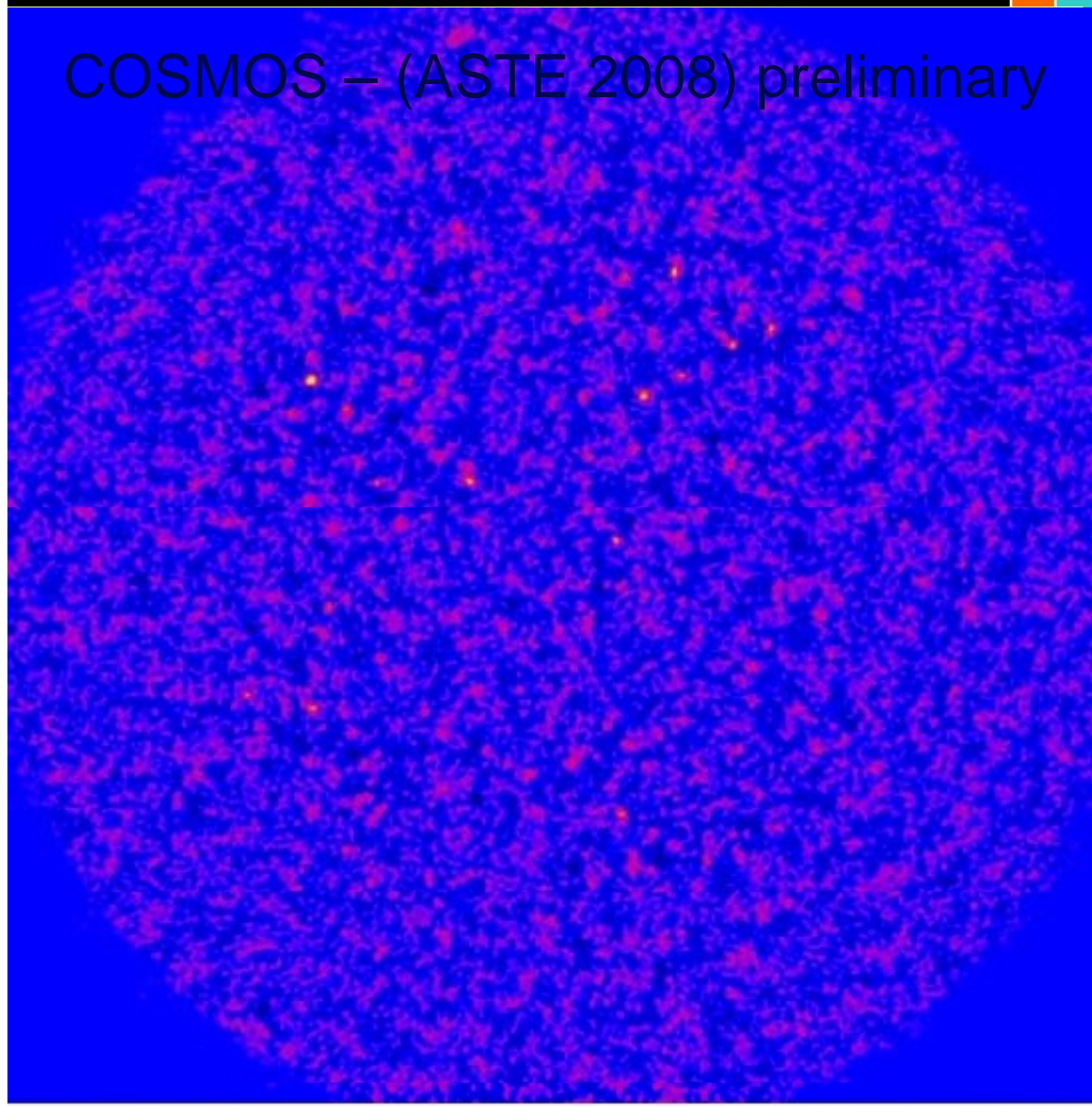
- 75-111 GHz alta probabilidad de tener al menos una de las líneas de CO de galaxias



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  
Laurin et al. 05

SCUBA/SHADES  
SXDF  
Coppin et al. 06

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

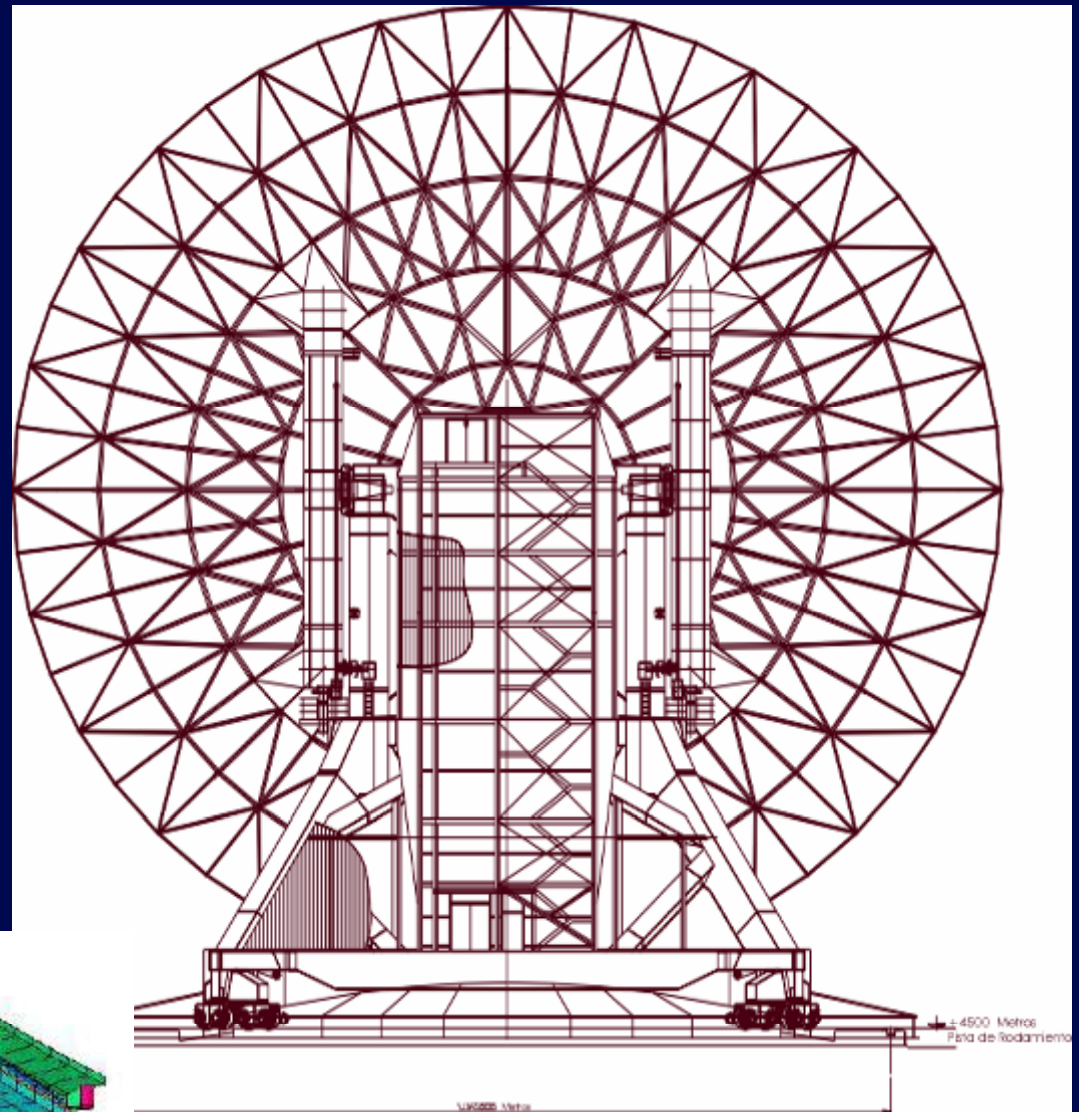
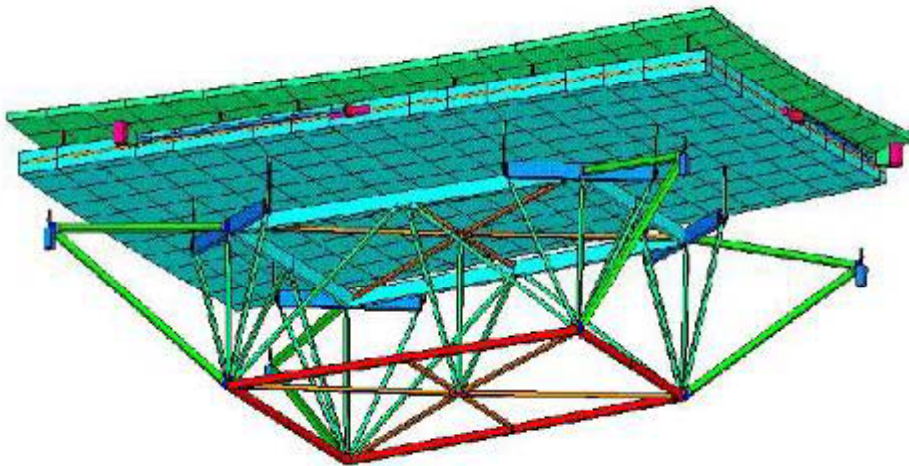
180 segmentos ~ 3m x 5m  
de níquel electroformado

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 paneles de níquel.



# Primario 180 paneles

(8) sub-paneles de níquel electroformado

Aislante térmico

40 ajustadores

Base de aluminio

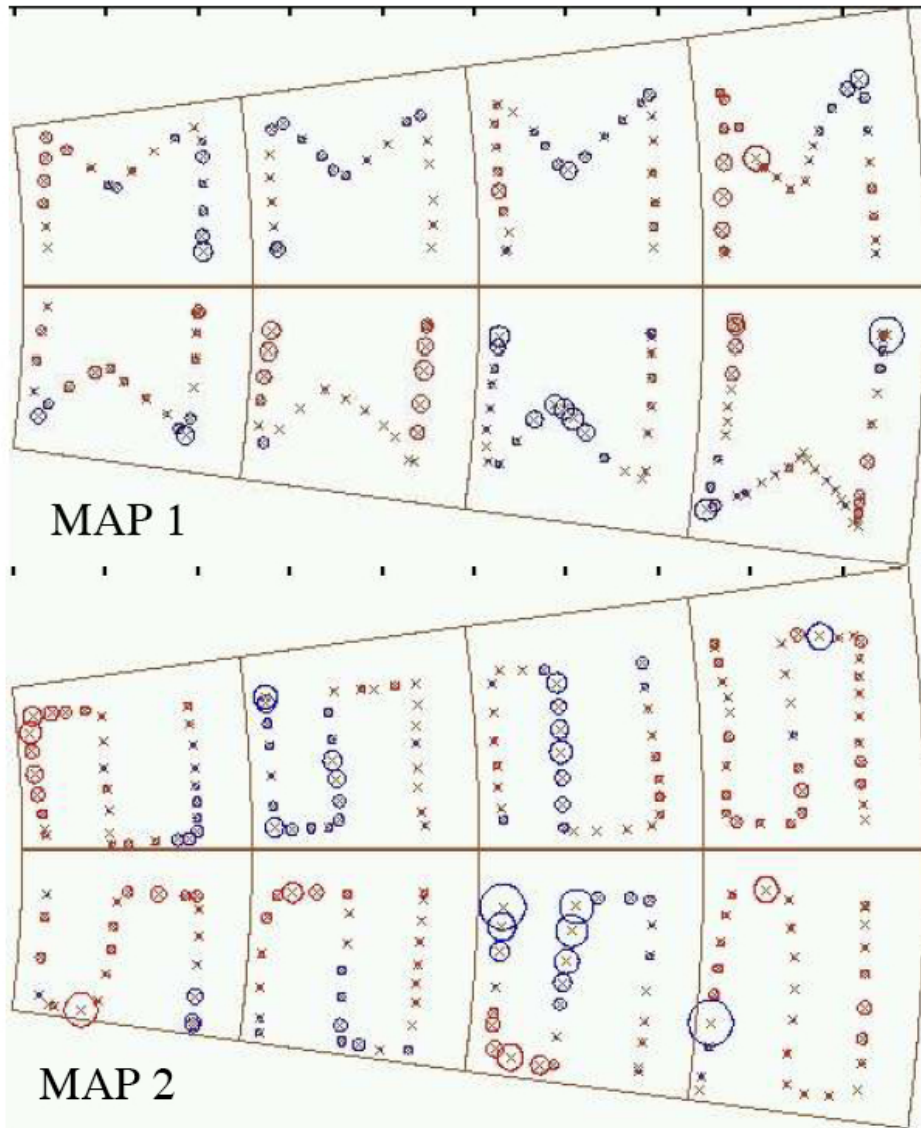


Submarco de acero inoxidable  
Actuadores

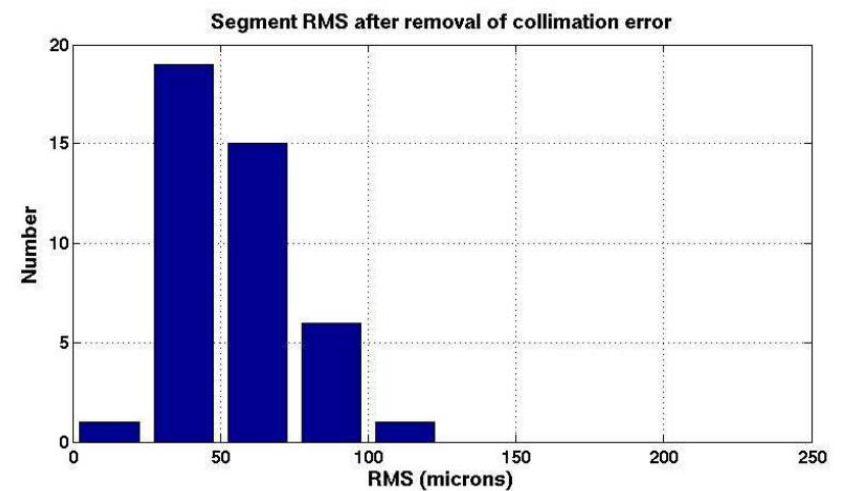


# 2008

## Map Repeatability D1R2S24 *Residuals after 4 parameter Fit*



MAP	1	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
Error WARP	1.880E-009	2.167E-009
RMS	25.1	29.6



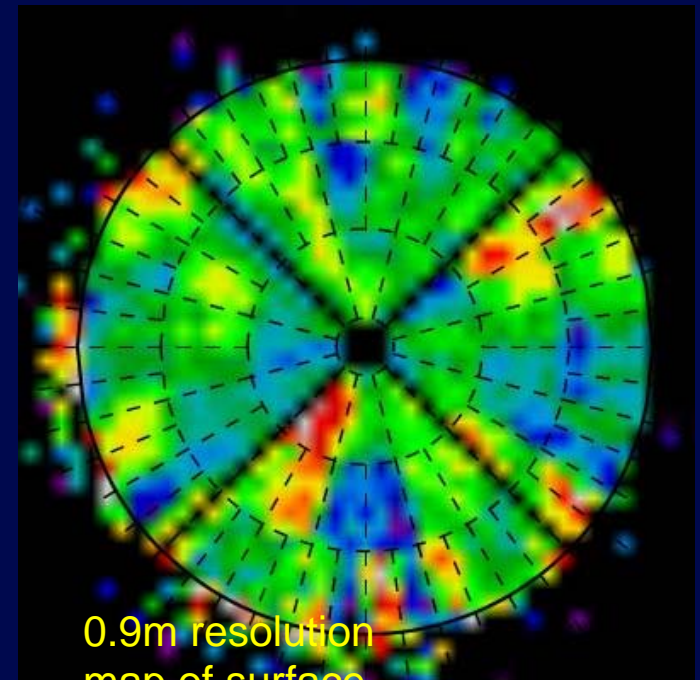
# FARO laser-tracker measurements



# 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

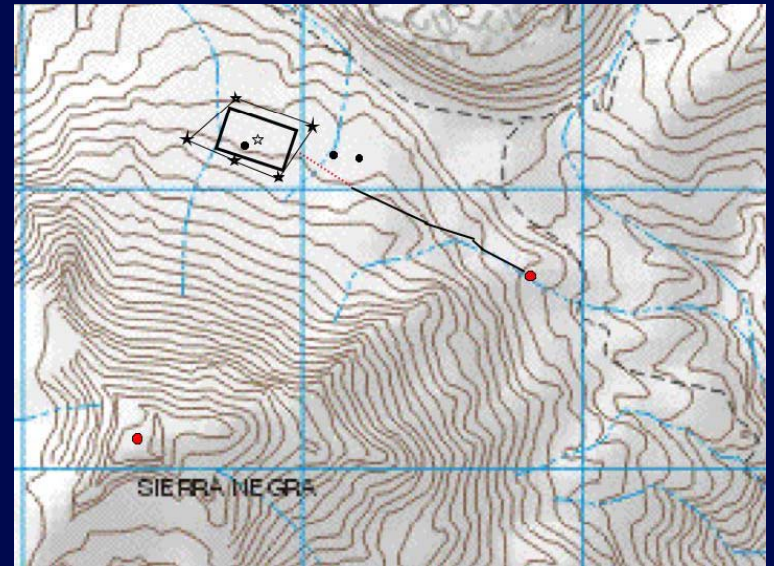
datos 1Mbps

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  $\gamma$  HAWC (INAOE, UNAM, ...  
UMD, LANL, ...)
- Estación de vigilancia sismológica (FI-BUAP)
- Estación climática (Climate Institute.)

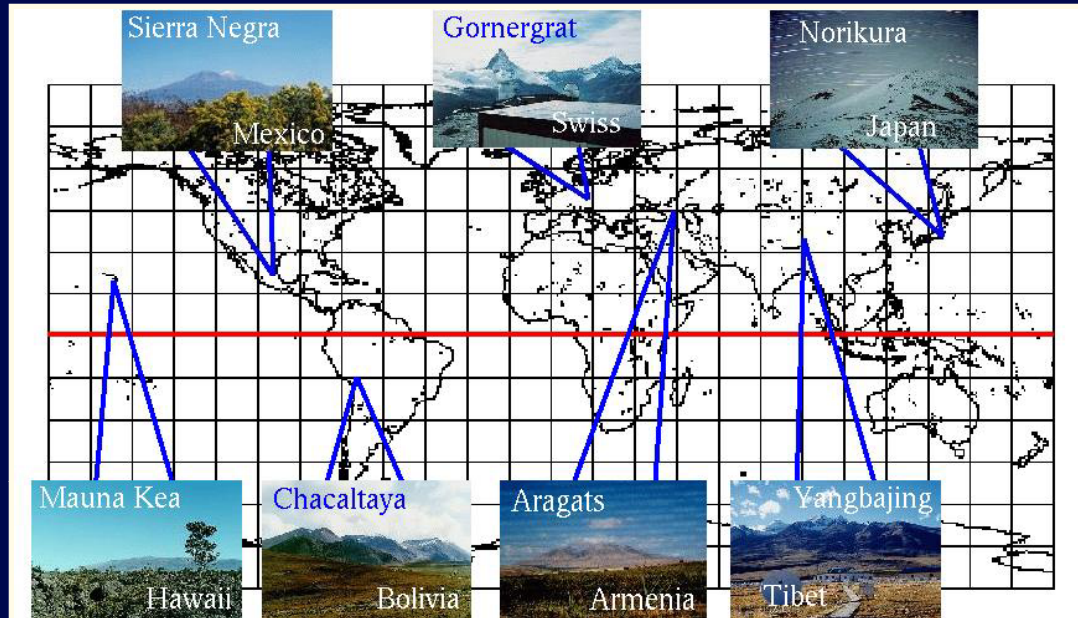


# Telescopio de neutrones solares

- 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 <sup>2</sup> )	Longitud	Latitud	Area (m <sup>2</sup> )	Cts sin Anti (m <sup>2</sup> /min)	Cts con Anti (m <sup>2</sup> /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



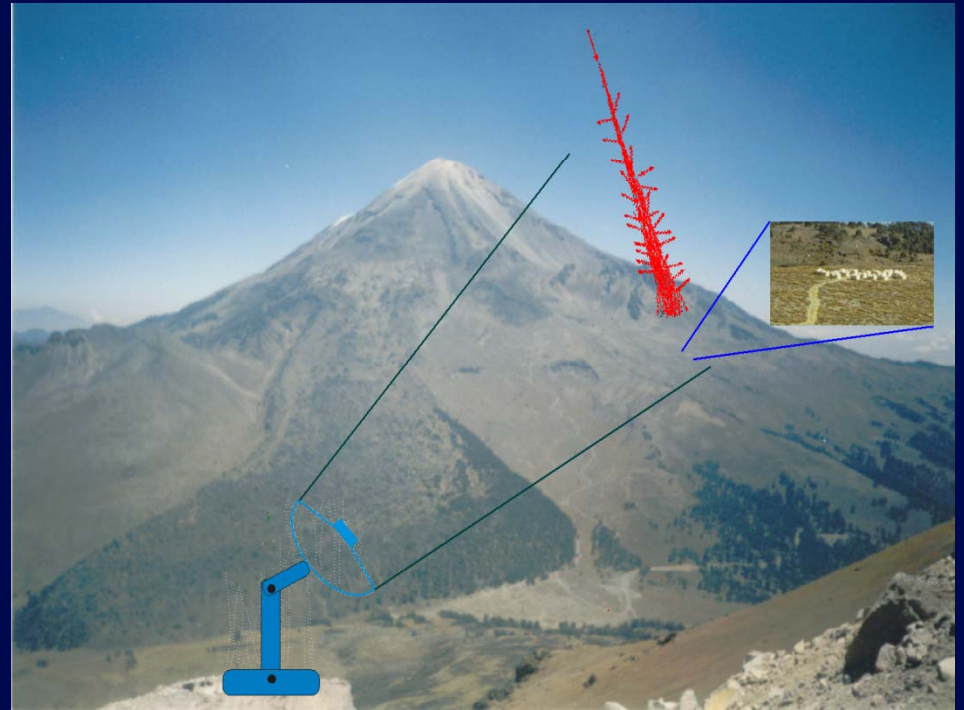






# Detectores de rayos cósmicos

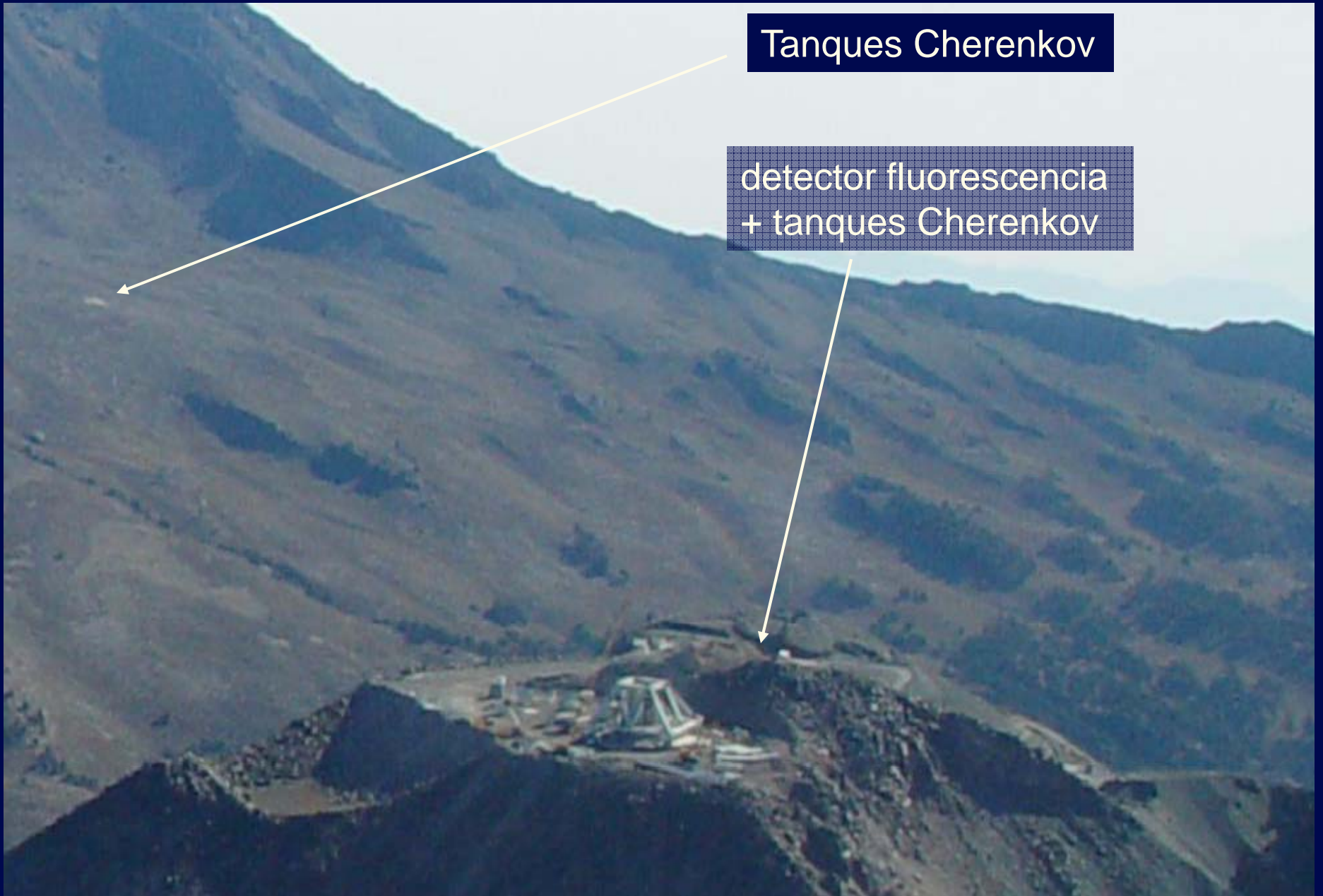
- Experimento de la BUAP + U. Michoacana en colaboración con el Instituto Balseiro de Bariloche
- Medir la composición de masa de rayos cósmicos en el rango  $10^{17}$ - $10^{18}$  eV
- Potencial para detectar Gamma-Ray Bursts
  - tanques Cherenkov en la falda de Citlaltepétl (4300m)
  - LAGO: arreglo 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  $\Rightarrow$  aprox 100m<sup>2</sup>
- A ubicarse en la zona del RT5 y LAGO

# El observatorio de rayos $\gamma$ HAWC

## High Altitude Water Cherenkov

- Segunda generación de observatorios  $\gamma$  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