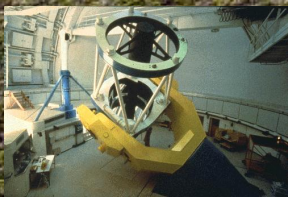
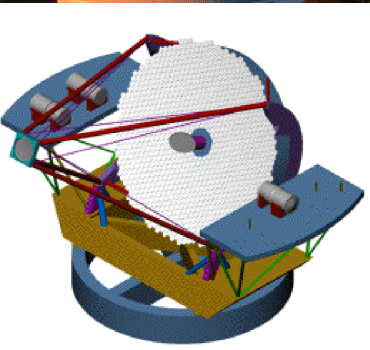
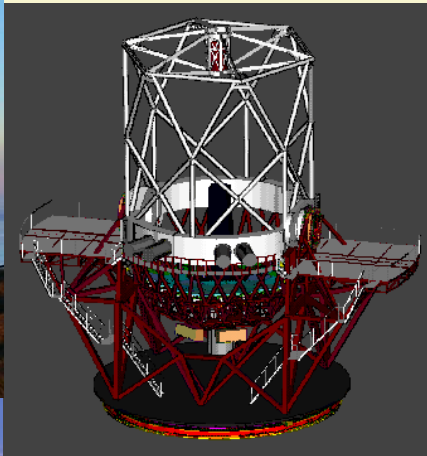




Tema 2b: telescopios ópticos

Consultar: "*Observational astronomy*", BGO06, "*Astronomical optics*", S99.
"*Astrophysical techniques*", K08.



TELESCOPIOS ÓPTICOS

Primera parte (tema 2a)

- Descripción esquemática de un telescopio.
- Escala de placa. Relación focal. Resolución. Aberraciones. Magnitud límite visual.
- Telescopios refractores.
- Telescopios reflectores. Cassegrain. Cámara Schmidt.
- Monturas y estructuras.
- Focos. Espejos

Segunda parte (tema 2b)

- Protección de Telescopios
- Telescopios de gran objetivo.
- Espejos delgados. Óptica activa.
- Segmentación. Telescopios múltiples.
- Óptica adaptativa.
- Telescopios enormes.

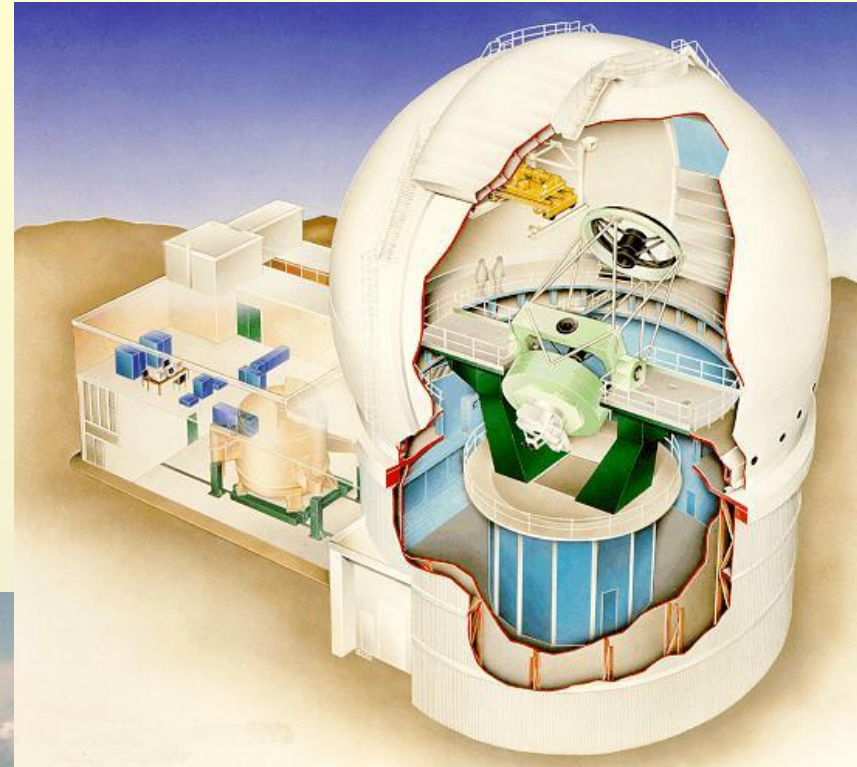


PROTECCIÓN DE TELESCOPIOS (1)

Los telescopios deben protegerse de las inclemencias del tiempo.

Tradicionalmente se han utilizado cúpulas que permiten observar a través de aberturas.

Las protecciones deben mantener al telescopio e instrumentación a temperaturas próximas a las del aire exterior.

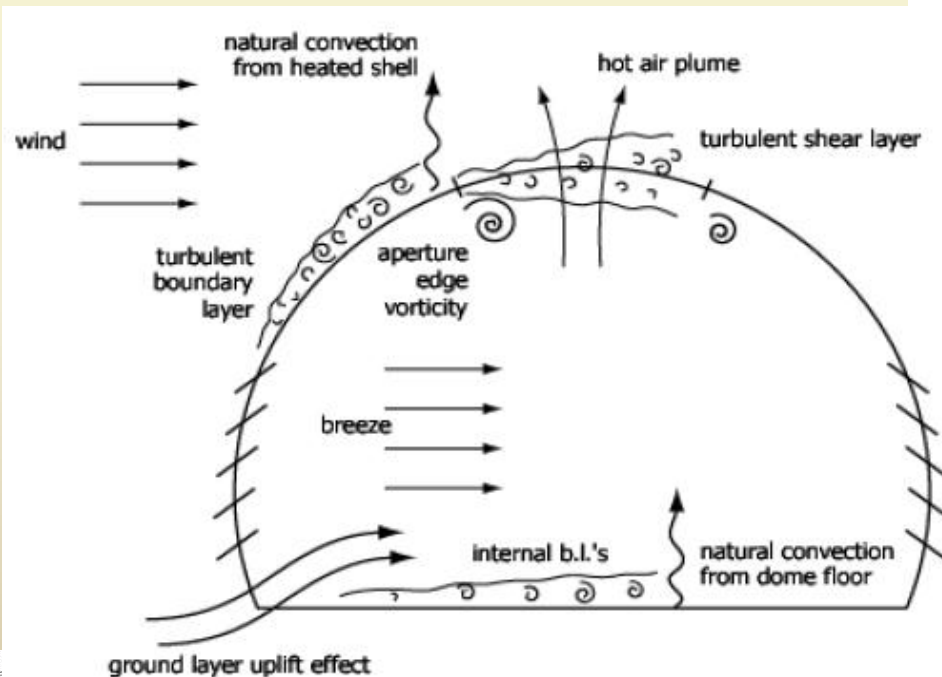
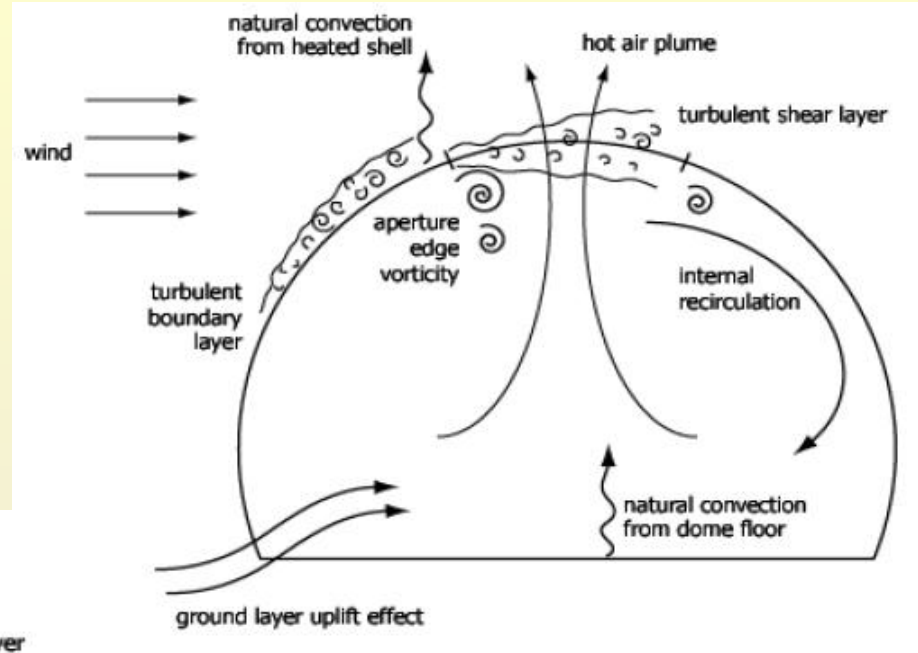


Edificio y cúpula del Telescopio William Herschell de 4.2 m (La Palma)



PROTECCIÓN DE TELESCOPIOS (2)

Problemas de convección térmica en una cúpula clásica no ventilada.



Idem cúpula clásica ventilada.

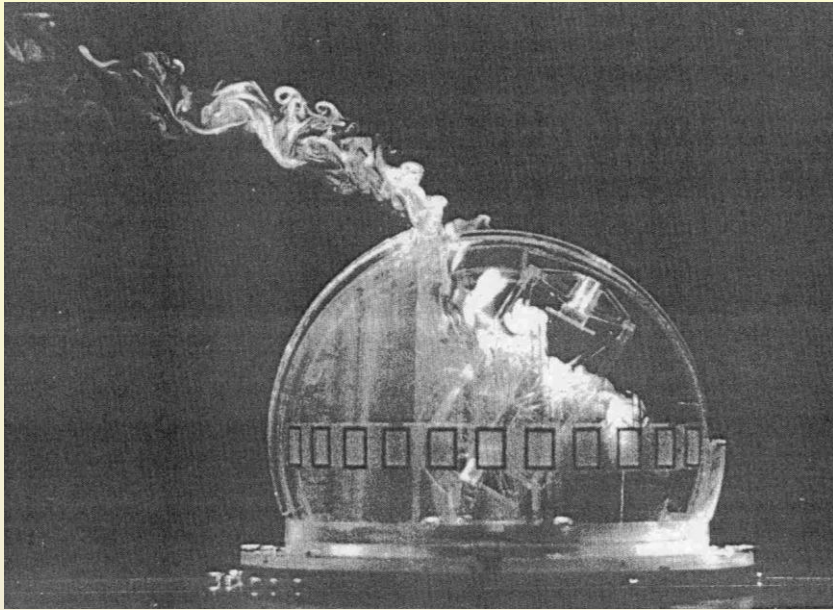
'Enclosure seeing'
ATST Report #0004
by Nathan E. Dalrymple

<http://atst.nso.edu/files/docs/RPT-0004.pdf>



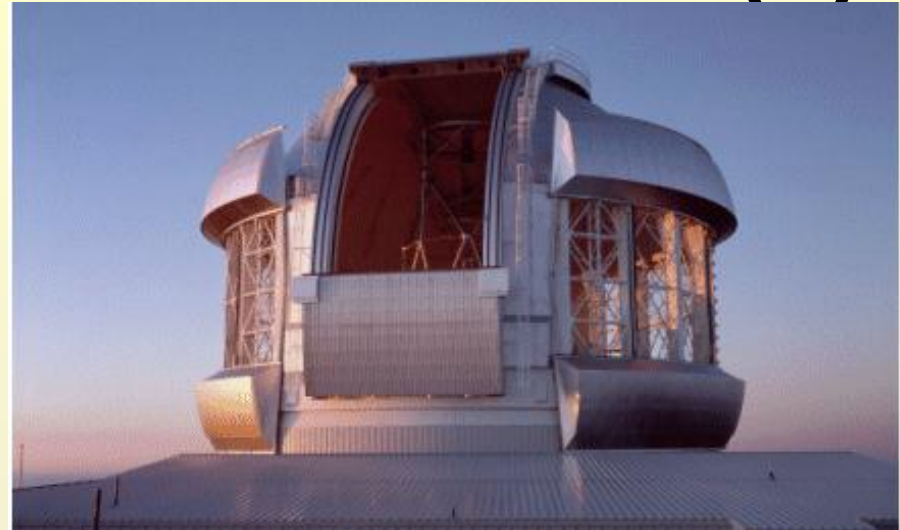
PROTECCIÓN DE TELESCOPIOS (3)

Una solución intermedia es abrir ventanas de ventilación en las cúpulas

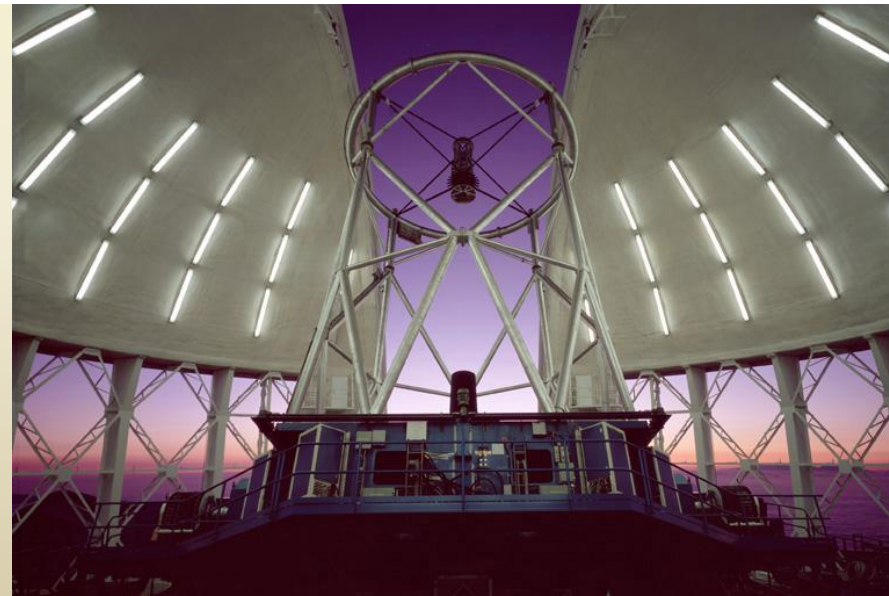


Test en un túnel de agua de un modelo descartado de cúpula para Gemini.

Water Tunnel Tests on Enclosure Concepts
by Woon-yin Wong and Fred Forbes
Gemini Technical Report No. 1 (1991)



Cúpula de Gemini con aberturas laterales de 10m.



<http://www.gemini.edu/>



PROTECCIÓN DE TELESCOPIOS (4)

Las cúpulas (y la instrumentación de su interior) generan turbulencia por lo que la protección ideal es la que deja el telescopio completamente al aire para evitar corrientes convectivas en su interior.



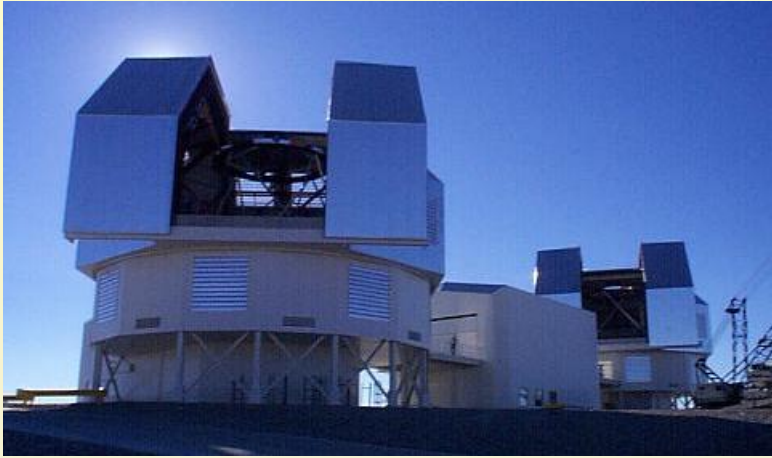
Cúpula de JMU Liverpool Telescope



<http://telescope.livjm.ac.uk/>



PROTECCIÓN DE TELESCOPIOS (5)



Visita: Telescope Domes by Louis Desroches

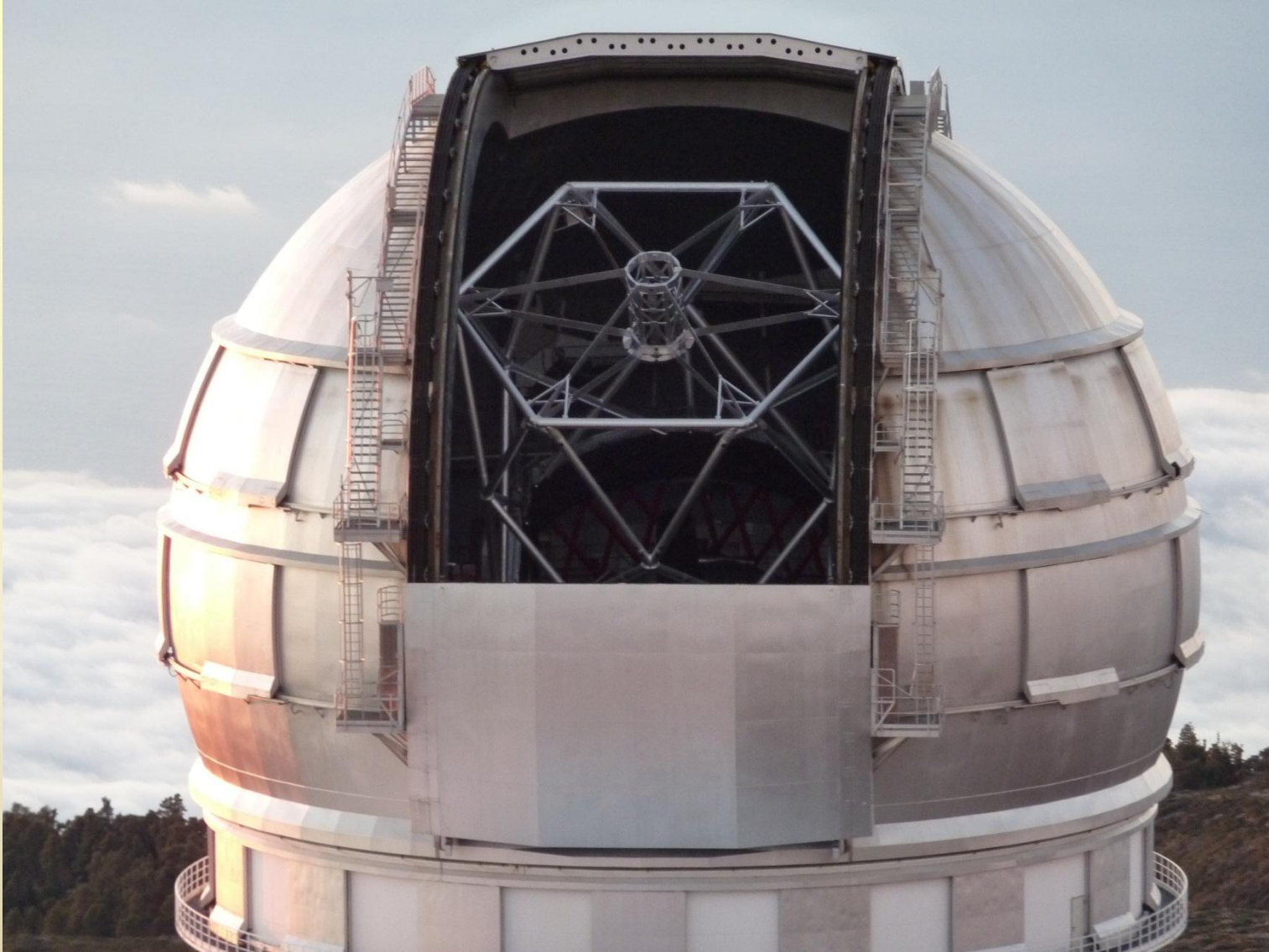
<http://astro.berkeley.edu/~louis/astro250/domes.pdf>

Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



PROTECCIÓN DE TELESCOPIOS (5)



GTC @ ORM

Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



GRANDES TELESCOPIOS

PARÁMETROS:

- Tamaño: el área del objetivo del telescopio está directamente relacionada con su capacidad colectora de fotones.
- Calidad óptica: no sólo se pretende recolectar fotones.
- Monturas: para apuntado y guiado.
- Coste

TELESCOPIOS CLÁSICOS:

- Primario rígido (monolítico).
- Pulido convencional.
- Monturas y tubos rígidos. (Ecuatoriales, más tarde acimutales).

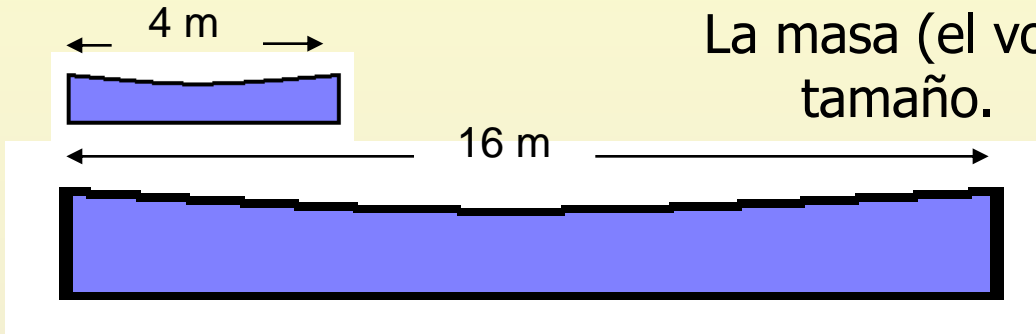
Se pretende que los telescopios profesionales dedicados al estudio de objetos celestes aparentemente débiles sean no sólo de gran tamaño sino también con buena calidad de imagen.



GRANDES TELESCOPIOS

AVANCES EN TAMAÑO:

- No se puede hacer un espejo monolítico tan grande como se quiera.



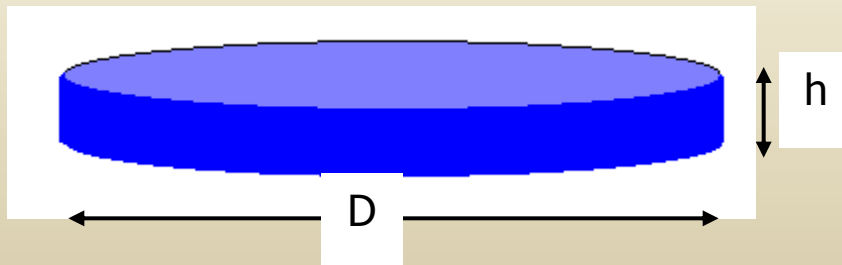
$$D = 4 \times D_0$$

$$A = 4^2 \times A_0$$

$$M = 4^3 \times M_0$$

El espejo resulta $\times 16$ menos rígido y se quiebra de igual manera que una araña gigante no puede sostenerse sobre sus patas.

Supongamos un disco de grosor h y diámetro D $Rigidez \propto \frac{h^3}{D^2}$



$$Flexibilidad \propto \frac{D^4}{h^2}$$

Con detalle en: <http://grus.berkeley.edu/~jrg/CELT/ay250.html>

Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

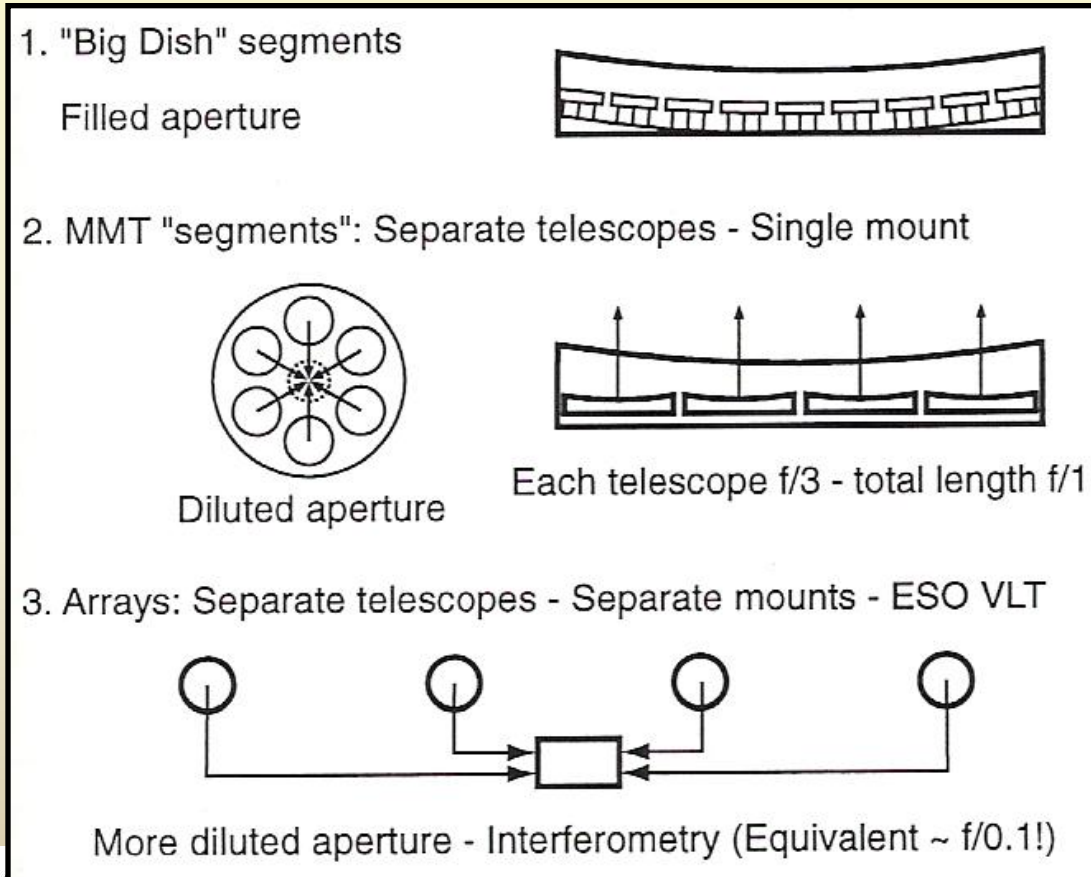
(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



GRANDES TELESCOPIOS

SOLUCIONES para aligerar peso:

- Panal de abeja (honeycomb)
- Espejos delgados (meniscos)



SEGMENTACIÓN

Directa: espejo compuesto de segmentos (Keck, GTC)

Indirecta: varios telescopios
-En una misma montura (LBT)
-Red de telescopios (ESO VLT)

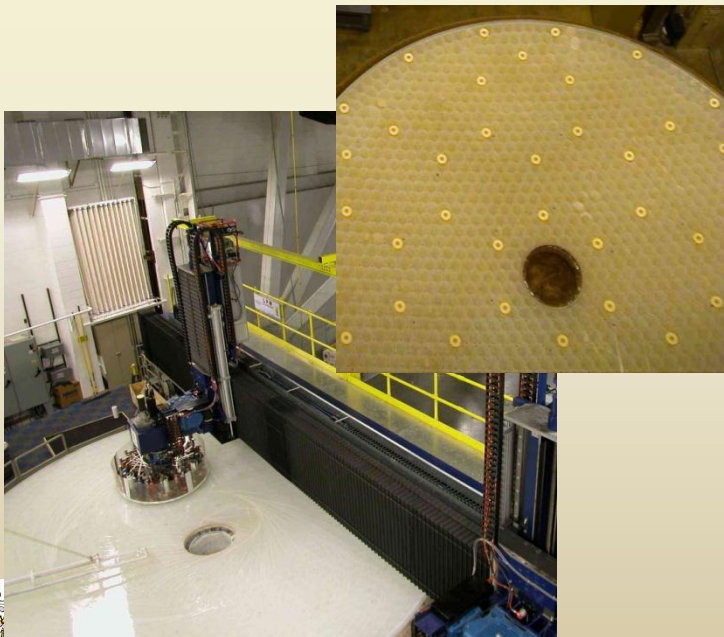
Soluciones de segmentación
Fig 3.4 R.N. Wilson
Reflecting Telescope Optics



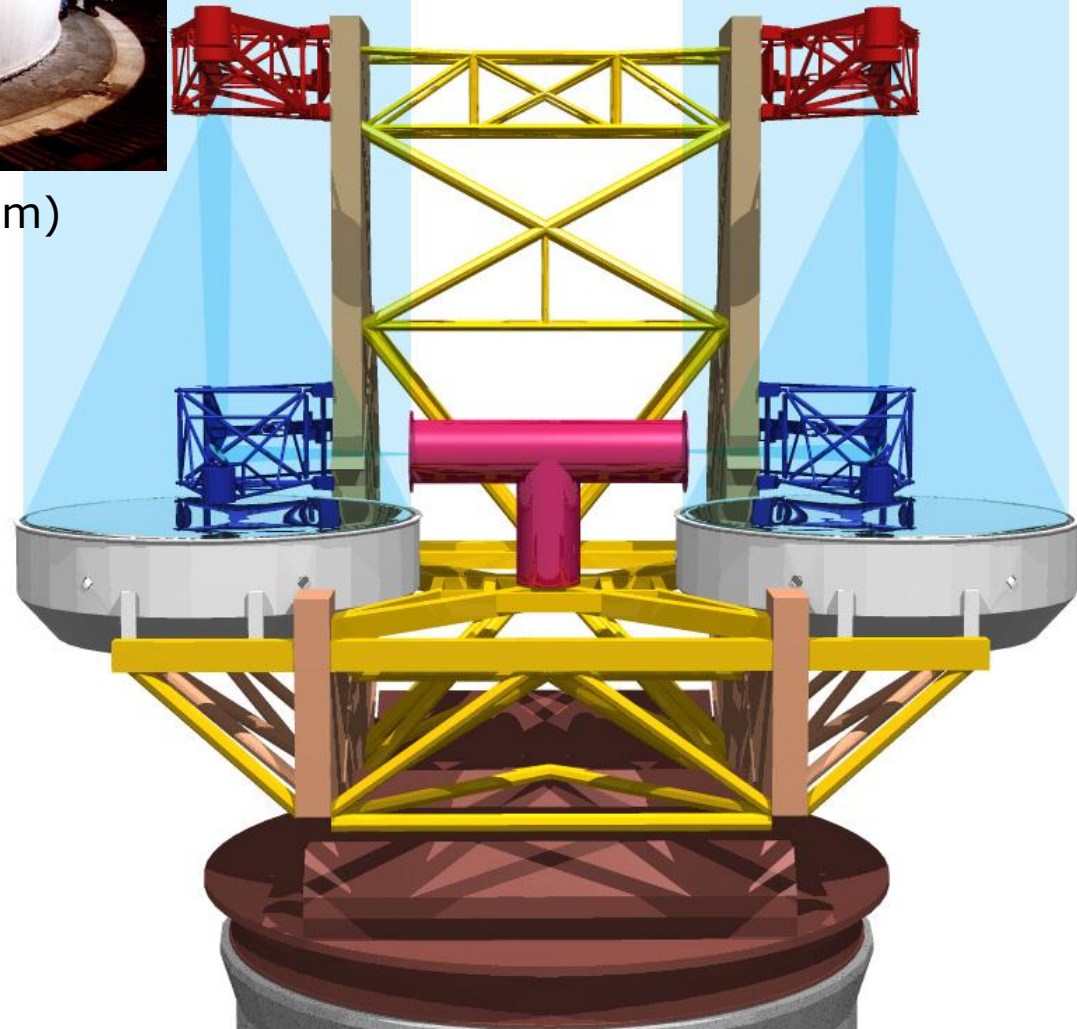
SEGMENTACIÓN INDIRECTA (1)



Espejo en panel de abeja (LBT 8.4 m)
Steward Observatory Mirror Lab
<http://mirrorlab.as.arizona.edu/>

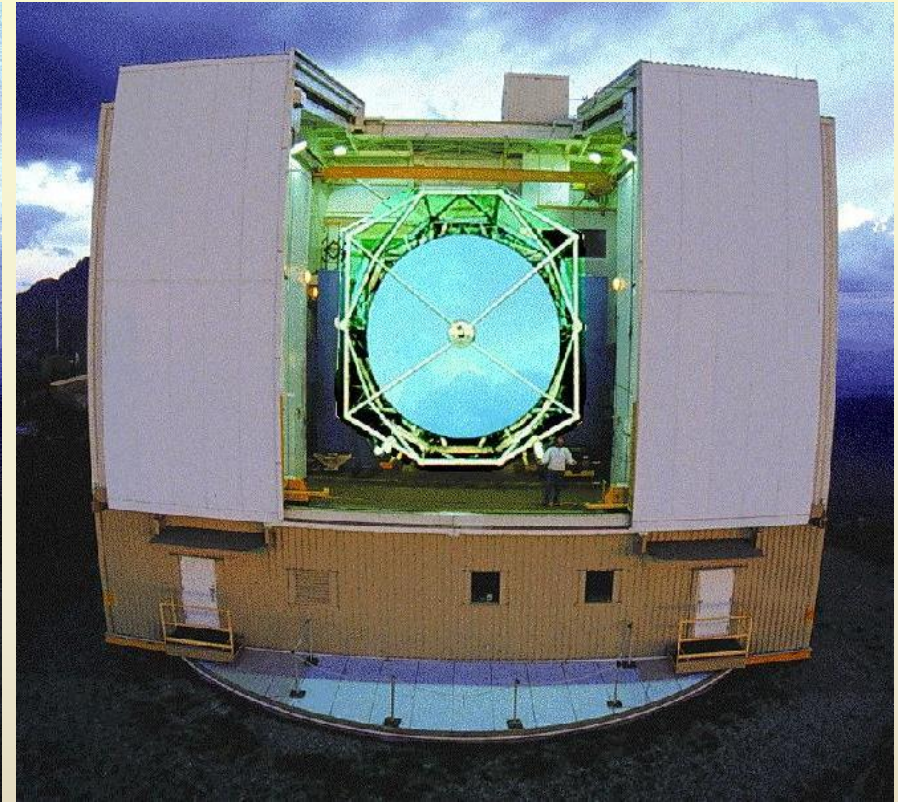
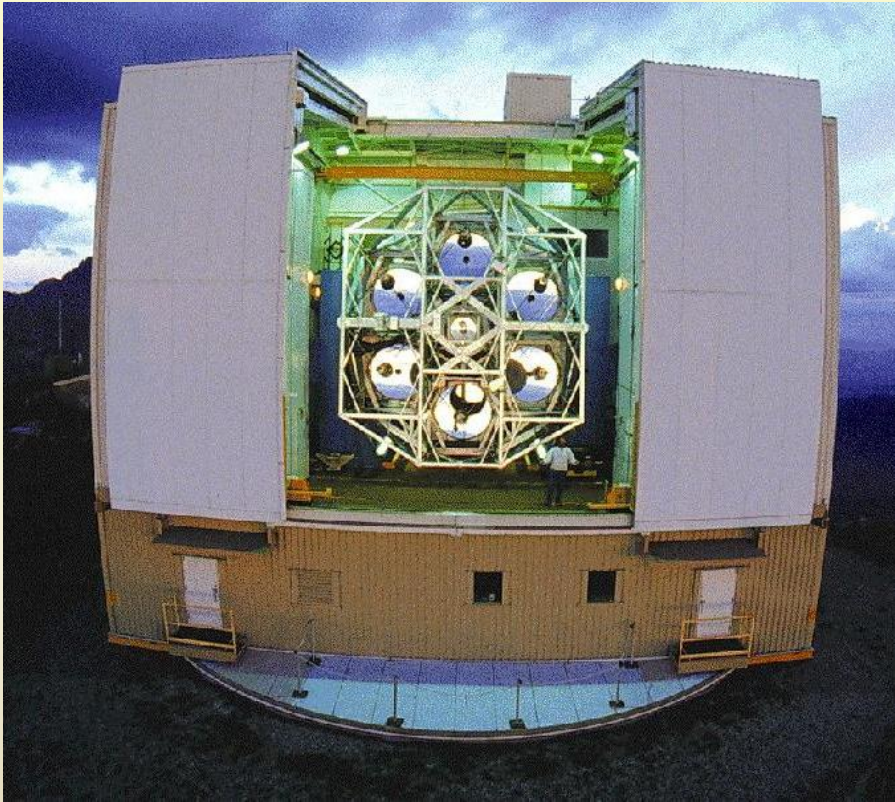


LARGE BINOCULAR TELESCOPE
<http://medusa.as.arizona.edu/lbto/optics.html>



SEGMENTACIÓN INDIRECTA (2)

Varios espejos de tamaño relativamente pequeño proporcionan un área colectora grande



Multimirror Telescope (MMT)
original con 6 espejos



MMT actual con un solo espejo
<http://www.mmt.org/>



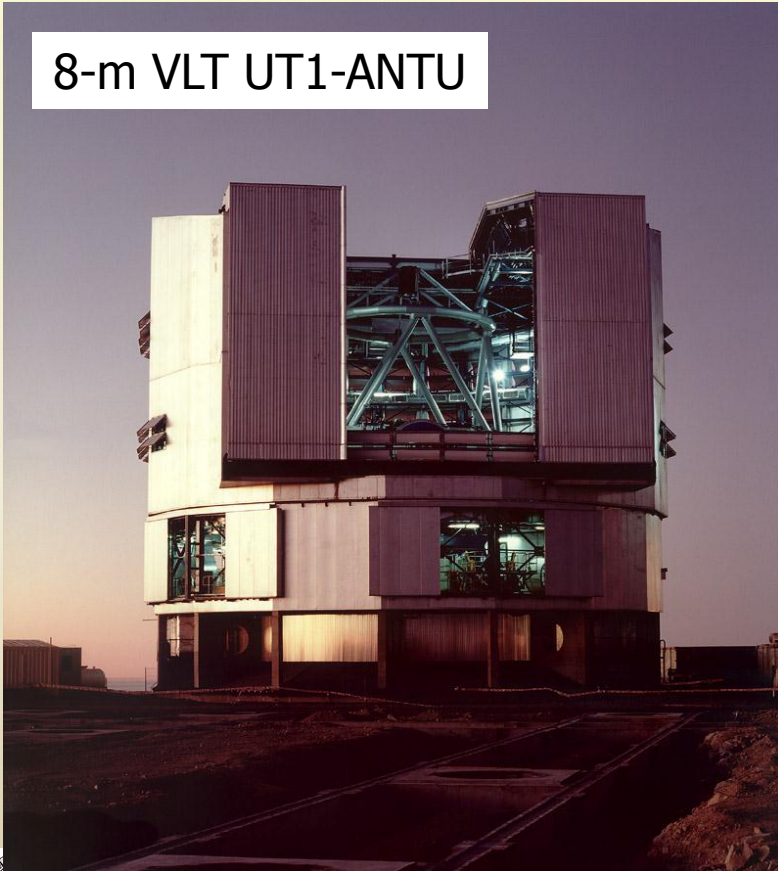
SEGMENTACIÓN INDIRECTA (3)

Varios telescopios se usan simultáneamente para proporcionar un área colectora grande.

VLT de ESO:

4 telescopios de 8m \approx 1 telescopio de 16 m

8-m VLT UT1-ANTU



<http://www.eso.org/paranal/>



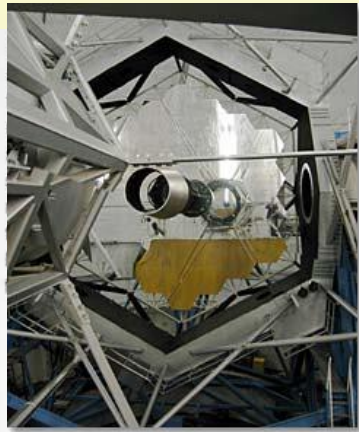
[Más info en VLT whitebook](#)

Instrumentación Astr
Curso 2011/20

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)

SEGMENTACIÓN DIRECTA: KECK

Esquema del telescopio Keck (I y II) donde se aprecia el espejo segmentado



Nasmyth focus

Cassegrain focus

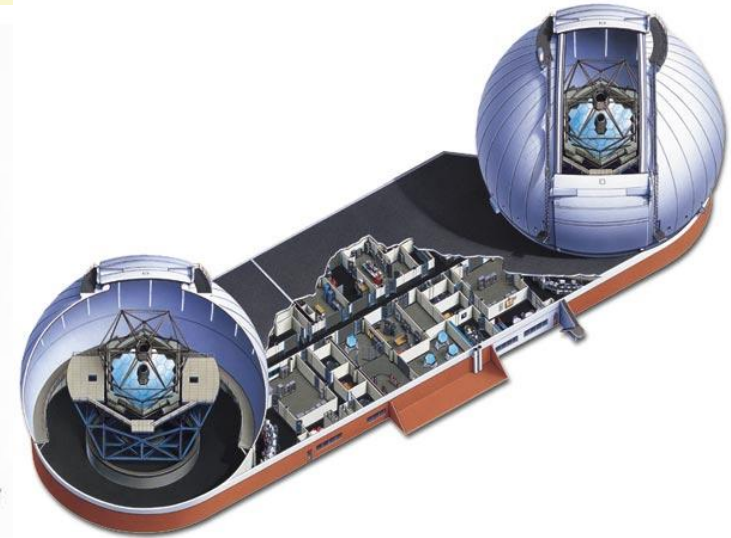
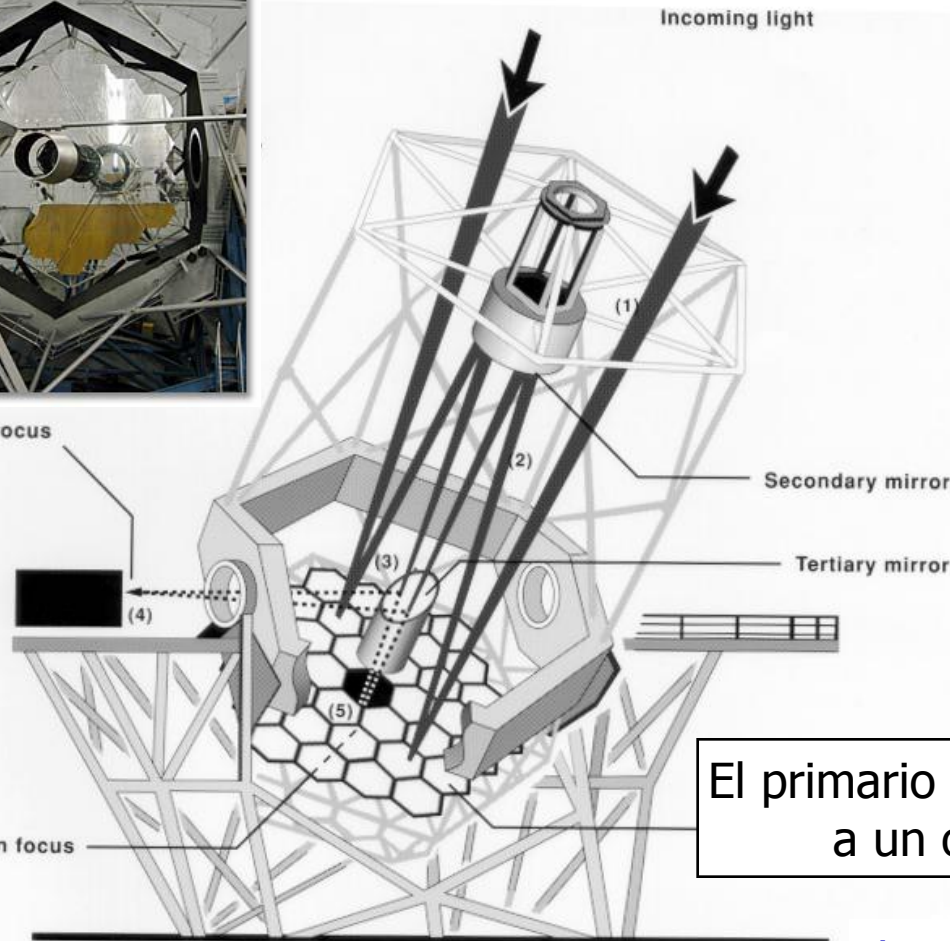


ILLUSTRATION BY TOM CONNELL/WILDLIFE ART LTD. FROM THE READER'S DIGEST "ATLAS OF THE UNIVERSE" © 2000 WELDON OWEN INC

El primario de 36 segmentos de 1.8 m equivale a un objetivo de 10 m de diámetro.

Credit: California Association for Research in Astronomy

<http://www.keckobservatory.org/>

Instrumentación ASI

Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



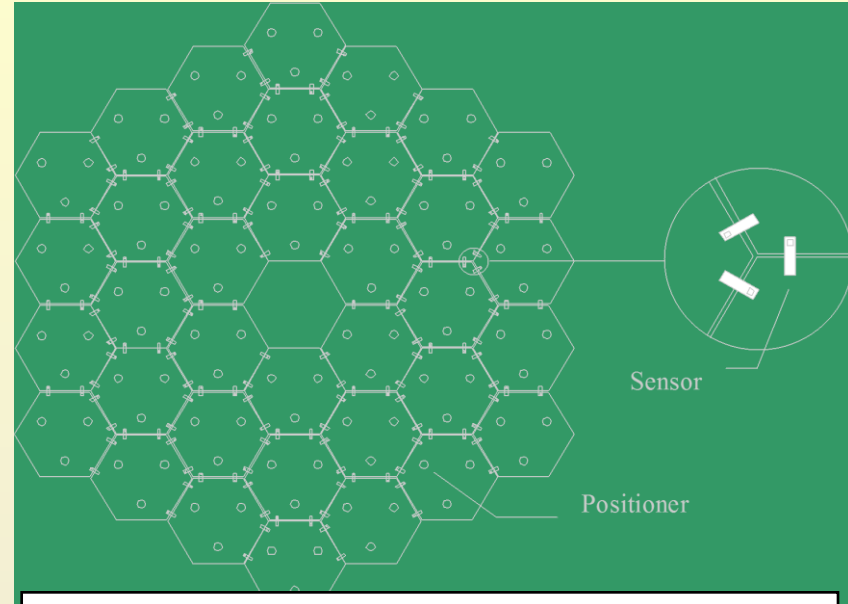
SEGMENTACIÓN DIRECTA: GTC

Esquema del GTC (10 m)

325 Tm

26m

28m



36 segmentos hexagonales de 936 mm de lado y 80 mm de grosor.

Webcam



<http://www.gtc.iac.es/>

Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)

GEMINI



GEMINI
OBSERVATORY

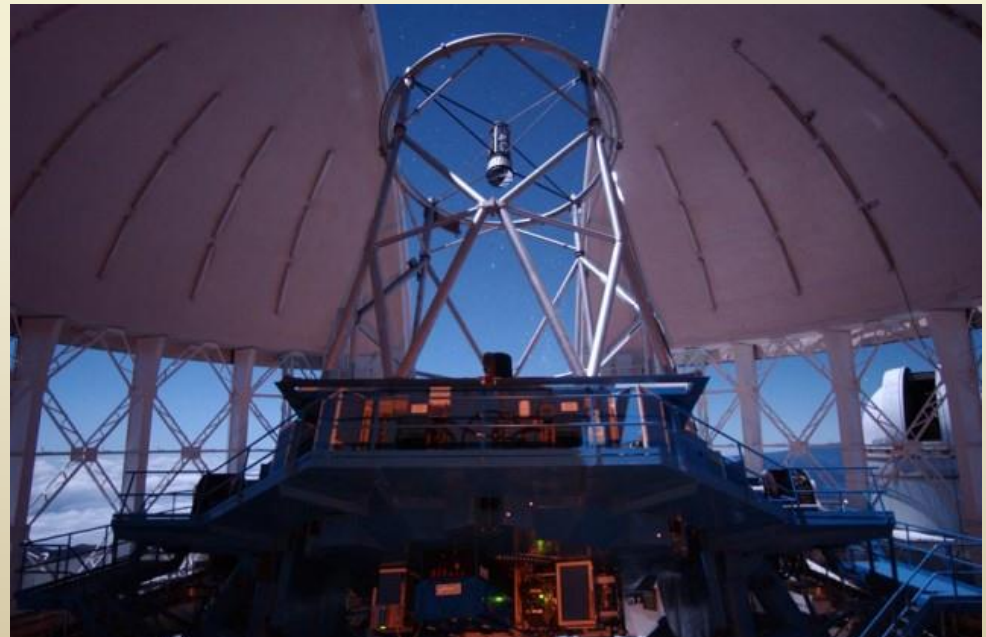


Gemini North
(Mauna Kea, Hawaii)

2 telescopios gemelos de 8m

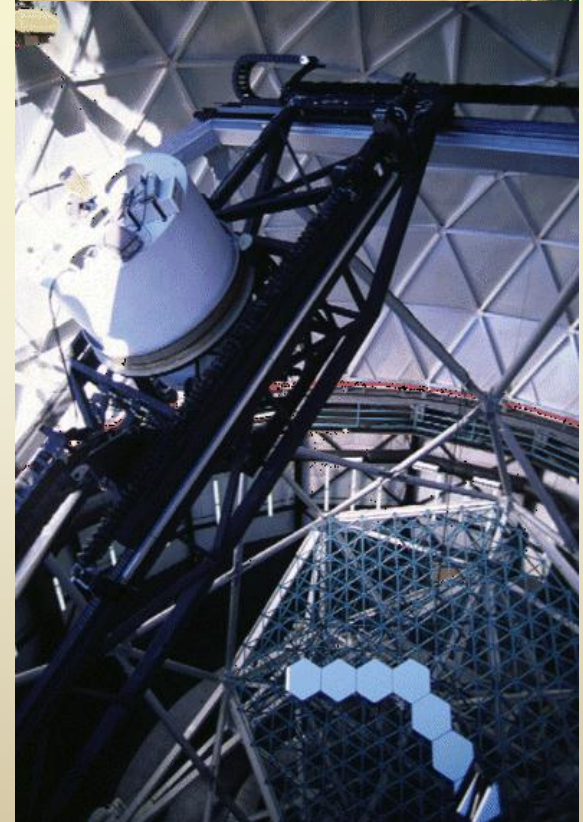
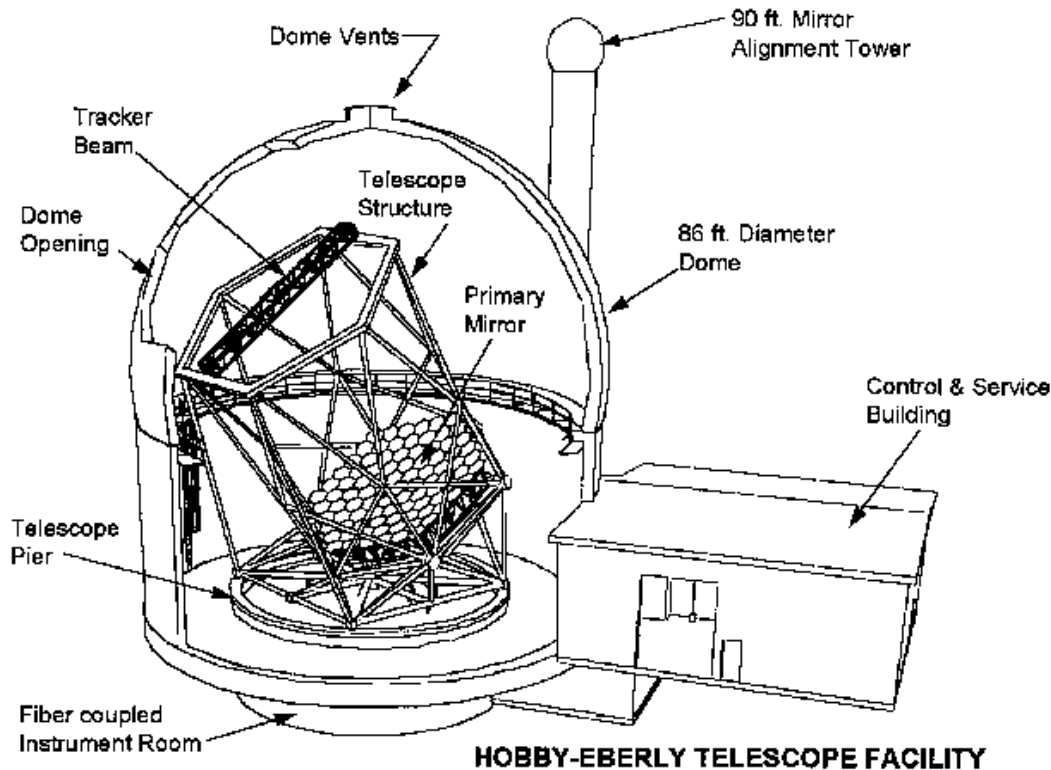


Gemini South
(Cerro Pachón, Chile)



HOBBY-EBERLY

91 espejos esféricos de $f=26$ m
(forma hexagonal 1m) Apertura efectiva 9.2 m
Necesita alinear los espejos.



La montura sólo se mueve en acimut.
Apunta en altura desplazando el foco.

nómica

Curso 2011/2012

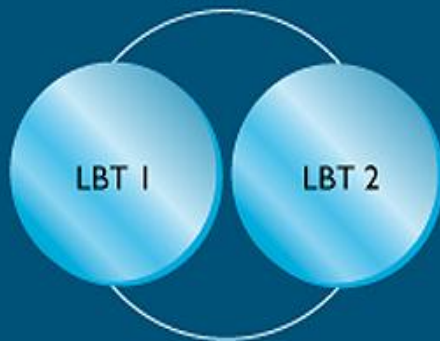
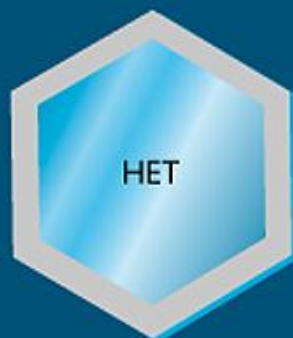
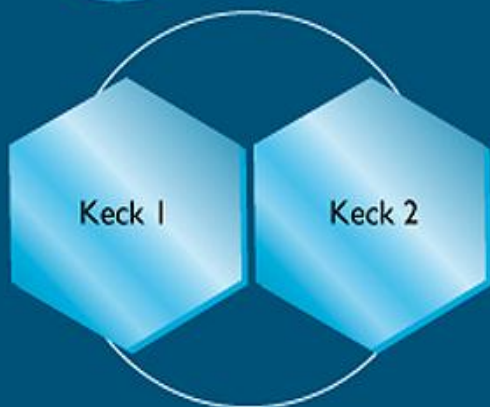
(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



AREA COLECTORA DE GRANDES TELESCOPIOS

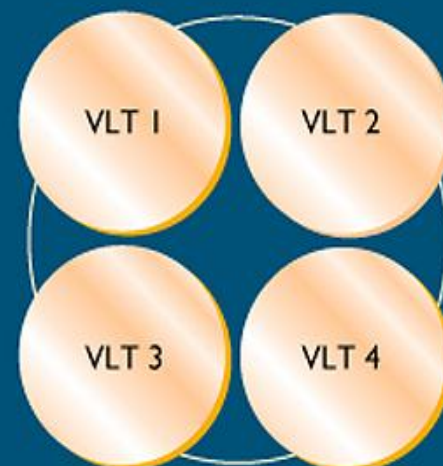
WHT UKIRT CFHT WYIN ARC TNG MPA KPNO

SUBARU SAO Palomar MMT Gemini N



Northern Hemisphere

NTT CTIO AAT ESO

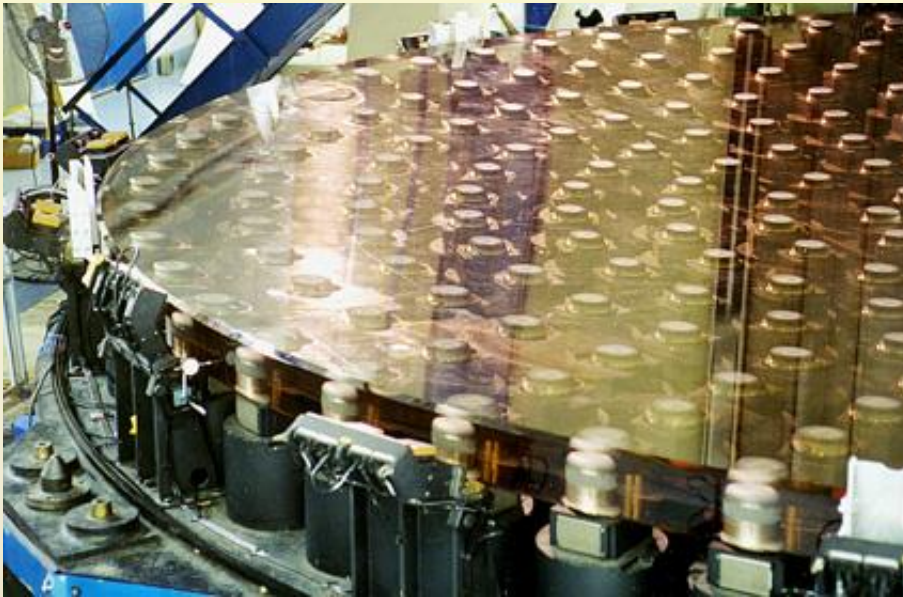


Southern Hemisphere

ÓPTICA ACTIVA (1)

PROBLEMA: Los espejos delgados necesitan sujeción para mantener la forma.

SOLUCIÓN: Colocar actuadores bajo el espejo.



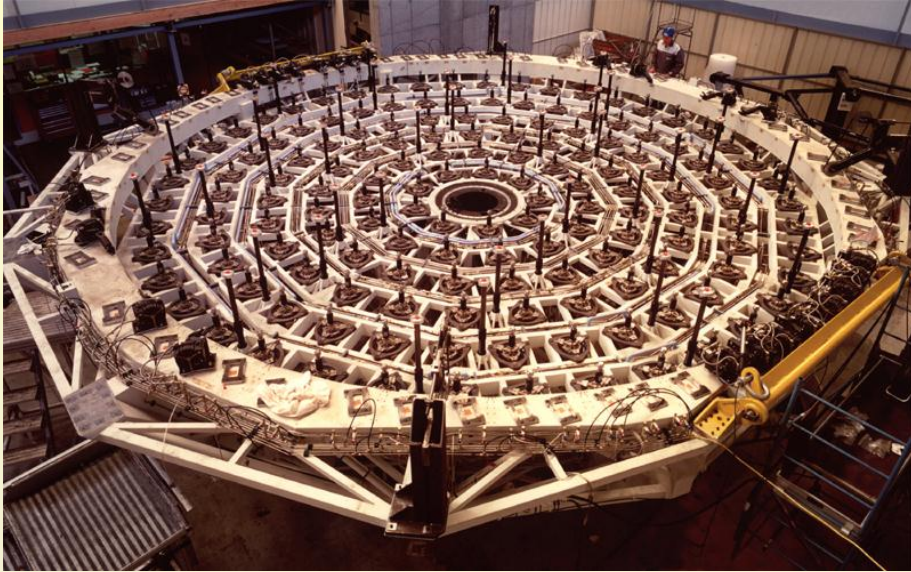
El espejo de 8.2m de Subaru (22.8 Tm, 20 cm espesor) se mantiene en su forma adecuada gracias a 261 actuadores robóticos

<http://www.naoj.org/Introduction/tech.html>

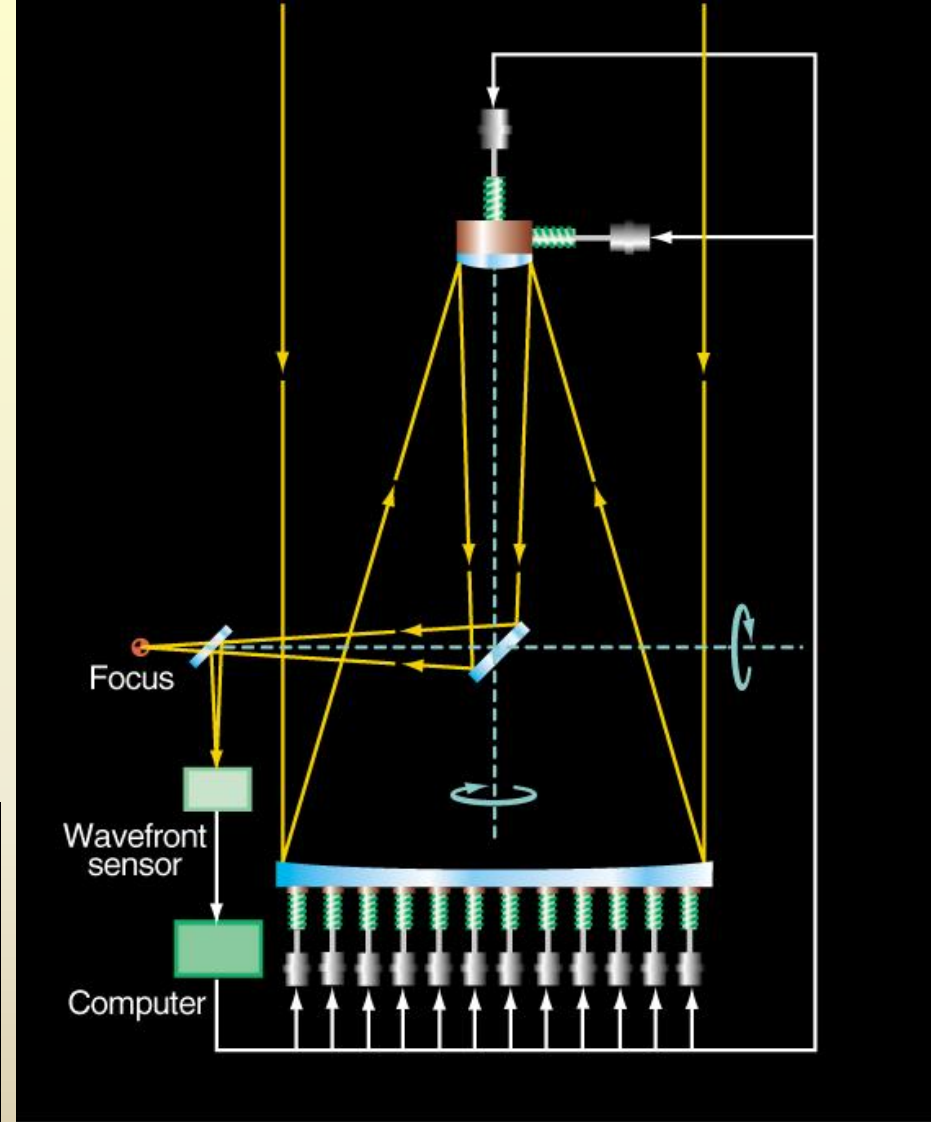
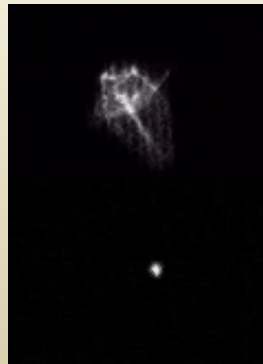
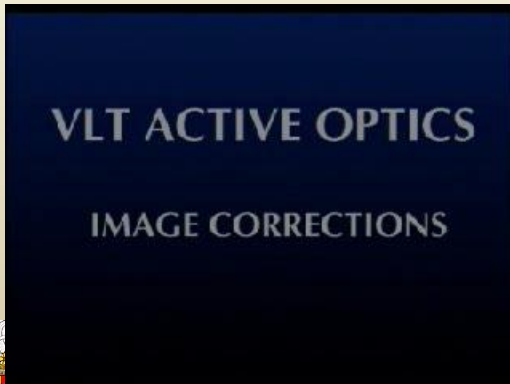
Los actuadores se componen de sensores y motores (piezoeléctricos). Se analiza la imagen cada cierto tiempo (~ 30 min) y se corrige la forma del primario y el alineamiento del secundario para mejorarla.



ÓPTICA ACTIVA (2)



Soportes activos (150) del espejo
primario del VLT 8.2 m,
17 cm de espesor, 22 Tm



<http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-1999/phot-34-99.html>

Curso 2011/2012

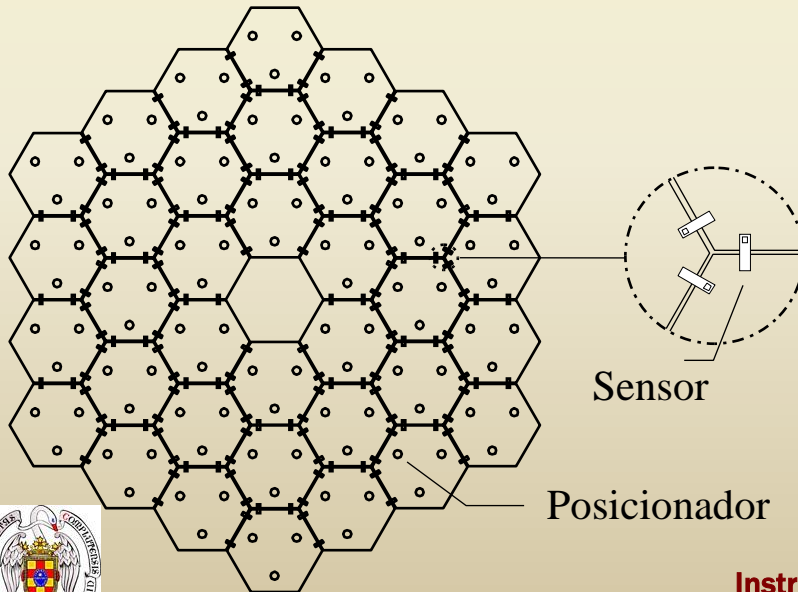
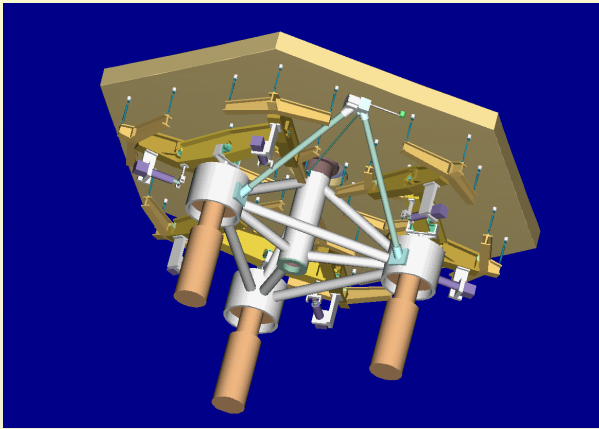
(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



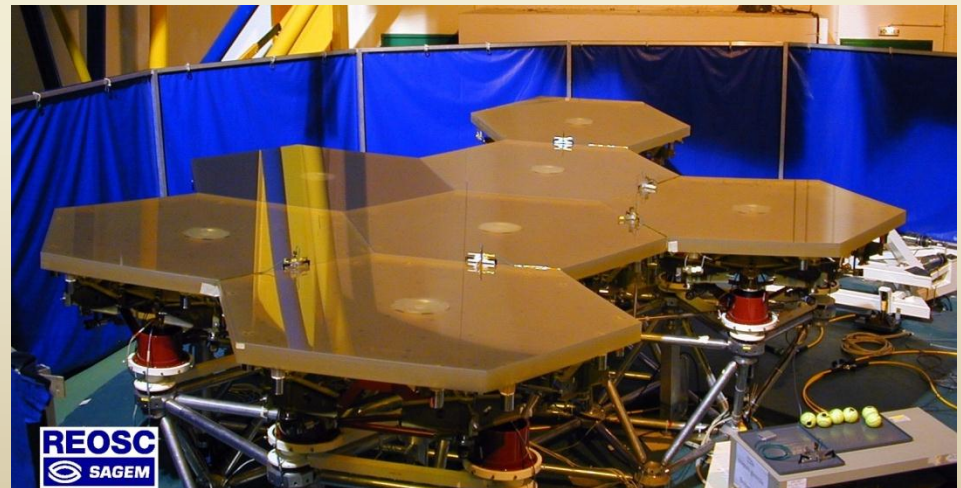
ÓPTICA ACTIVA (3)

La óptica activa se emplea también en espejos segmentados y no sólo con meniscos (espejos delgados)

[Link Vídeo
óptica activa GTC](#)



Óptica activa en GTC



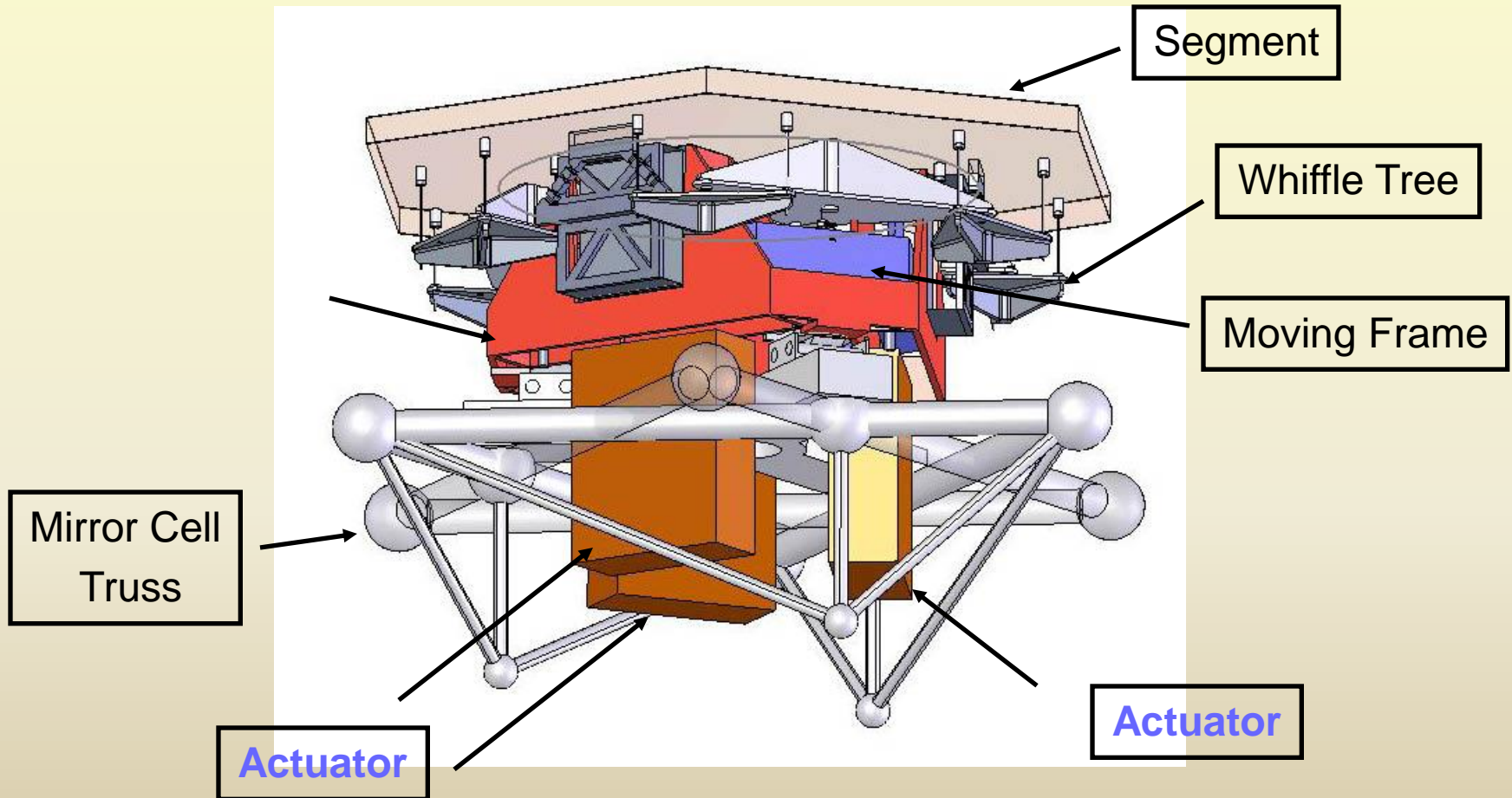
**Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012**

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



ÓPTICA ACTIVA (4)

TMT Concept of segment support



ÓPTICA ADAPTATIVA (1)

PROBLEMA: La turbulencia atmosférica limita la resolución de los telescopios terrestres al valor del seeing.

telescopio fuera de la atmósfera:

La imagen de una estrella ->
resolución teórica: disco de Airy



HST (2.4m)

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D} \text{ (\")}$$

Subaru (8m)



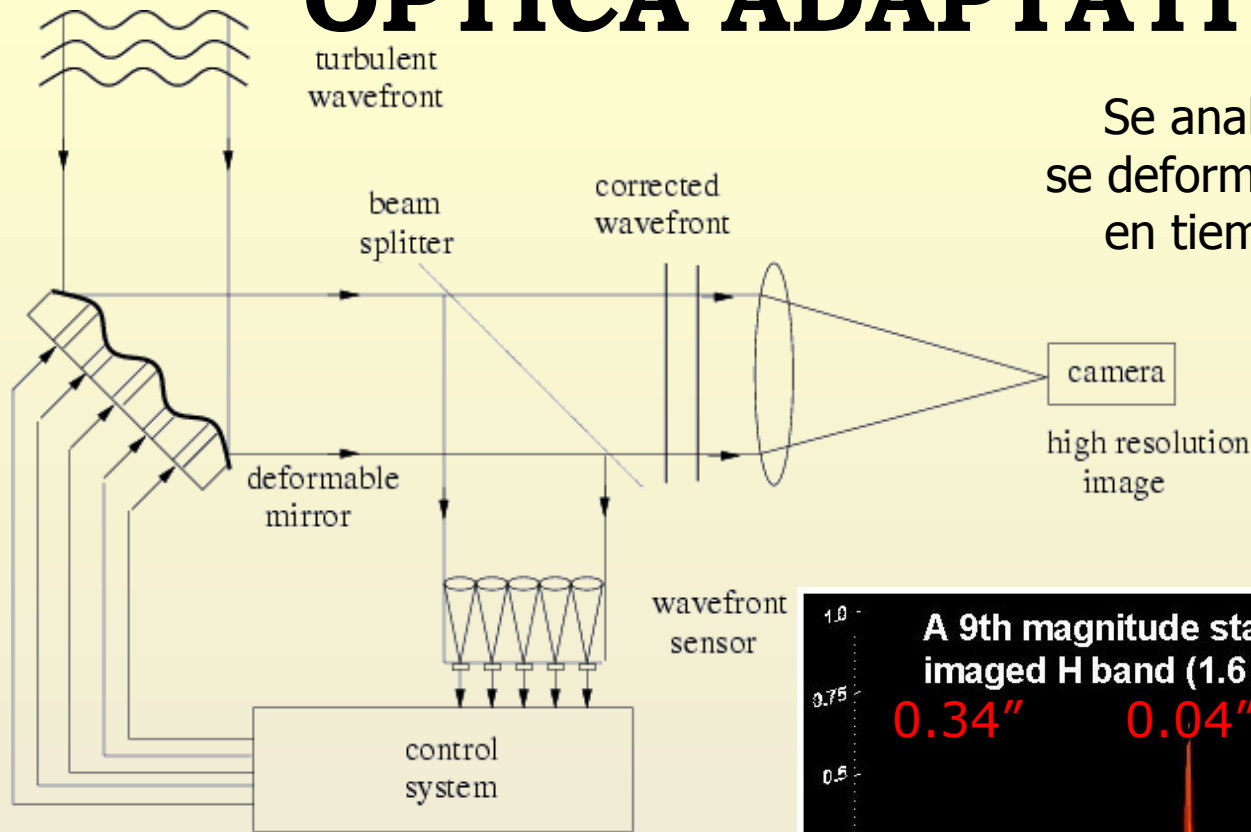
$$\alpha = 1.22 \frac{\lambda}{D} \text{ (\")}$$

telescopio terrestre:
resolución real: disco de seeing

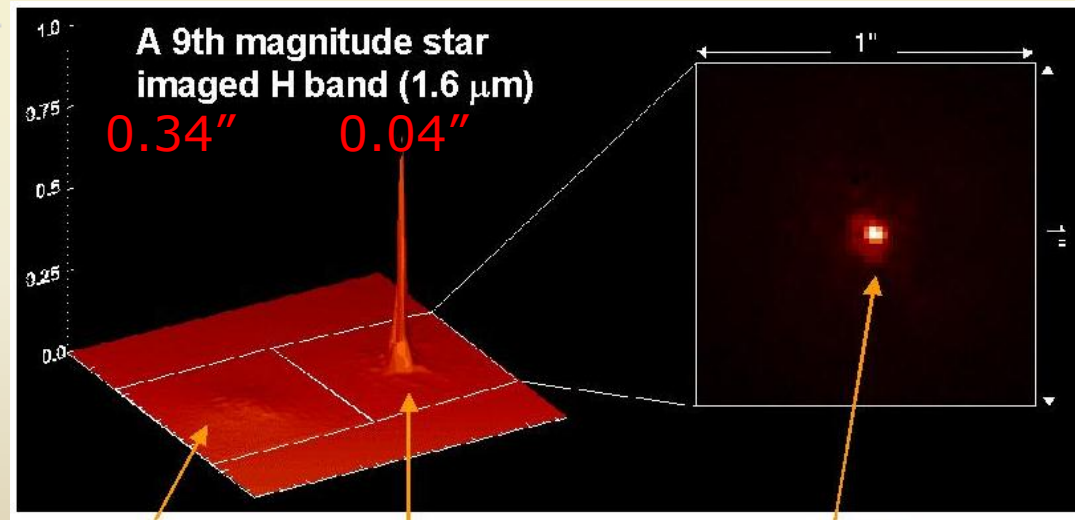
La óptica adaptativa pretende medir y compensar los efectos de la turbulencia en tiempo real. La resolución se aproxima a la teórica.



ÓPTICA ADAPTATIVA (2)



Se analiza el frente de onda y se deforma un espejo para corregir en tiempo real (~ 100 veces/s)



Recomendado:

Introduction to Adaptive Optics
James R. Graham's

<http://grus.berkeley.edu/~jrg/chabot/slidemaster.html>

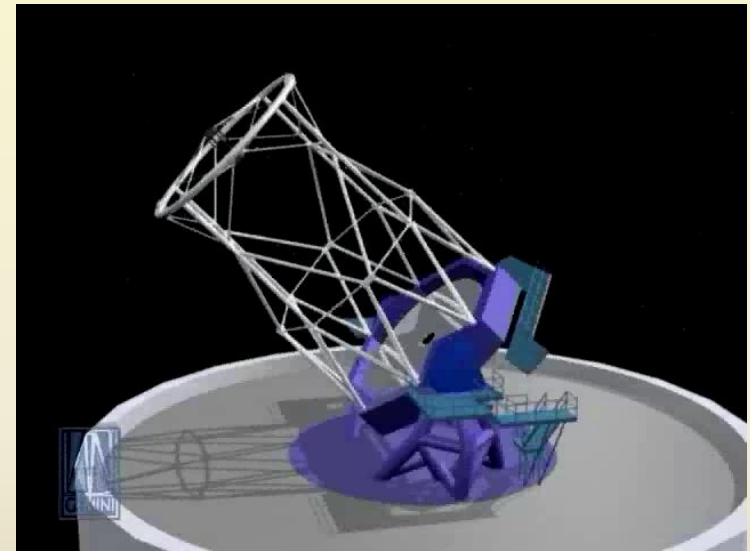
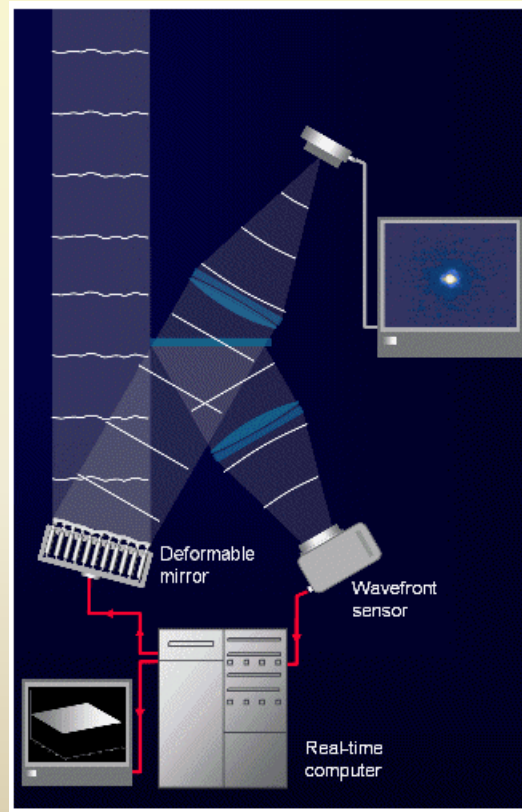
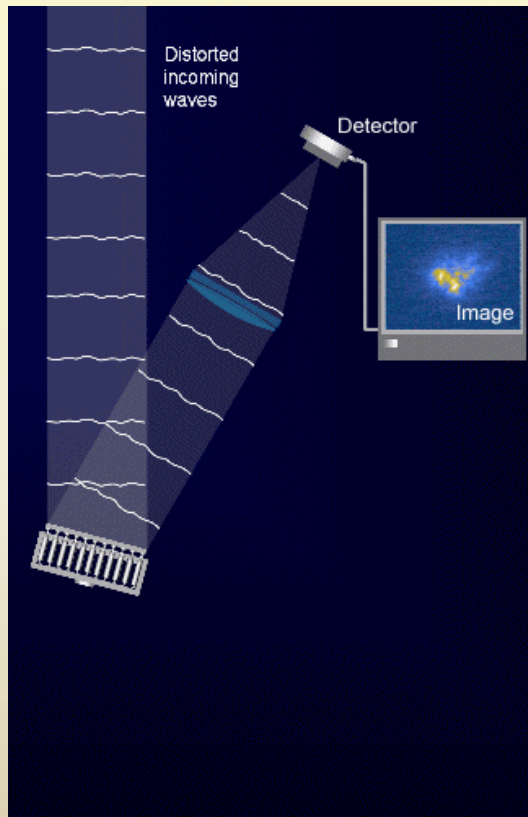
Imagen de una estrella en el IR próximo sin y con AO



ÓPTICA ADAPTATIVA (3)

Sistema de óptica adaptativa (AO) básico

- Sensor del frente de onda (WFS)
- Espejo deformable (DM)
- Sistema de lazo cerrado (closed loop control)



Gemini AO animation

ESO AO animation

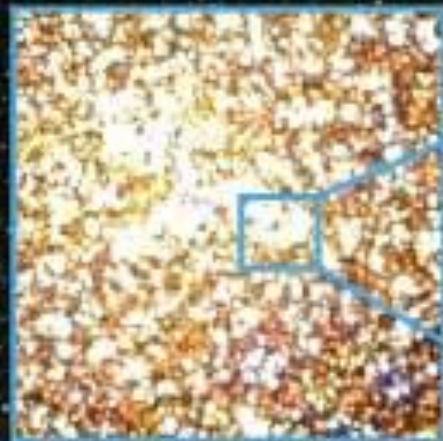
<http://www.tmt.org/news/ao-animation.mov>

**Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012**

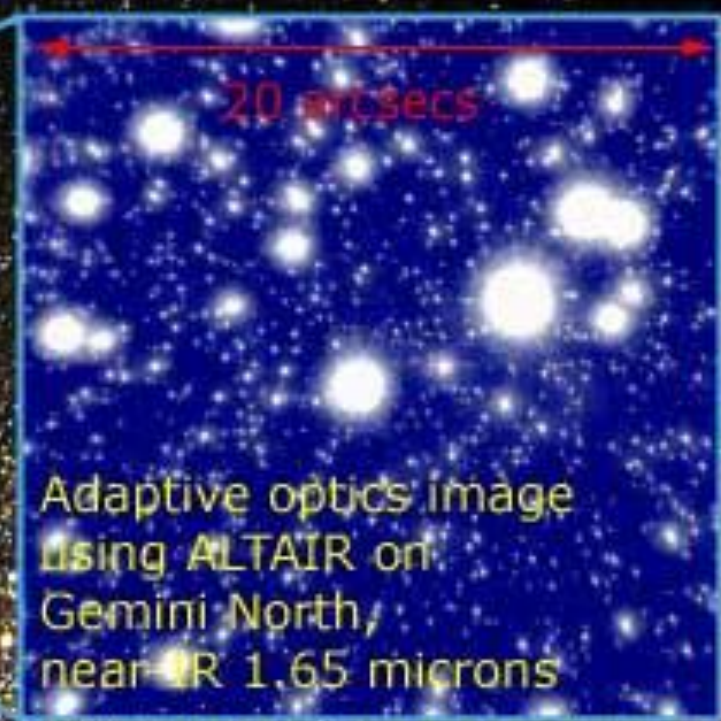
(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



Example of adaptive optics on globular cluster M13



Wide-field image of M13 by
Canada-France-Hawaii Telescope



Adaptive optics image
using ALTAIR on
Gemini North,
near-IR 1.65 microns

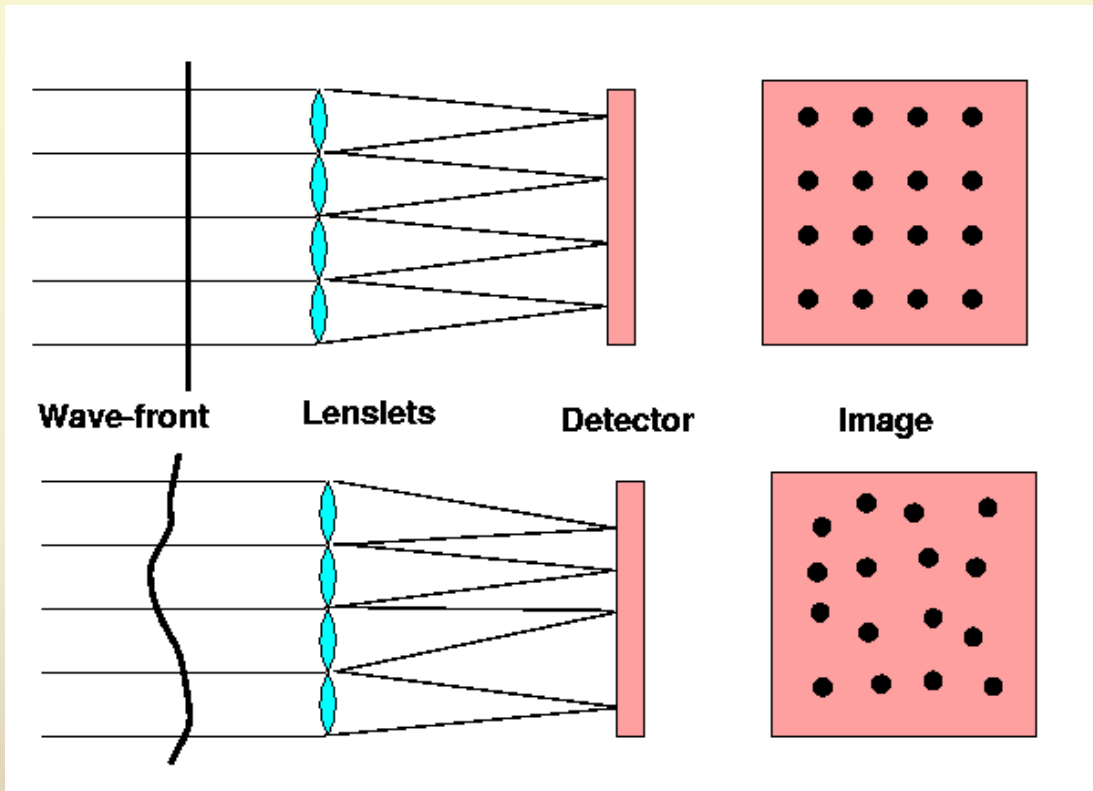


Gemini North, no
adaptive optics

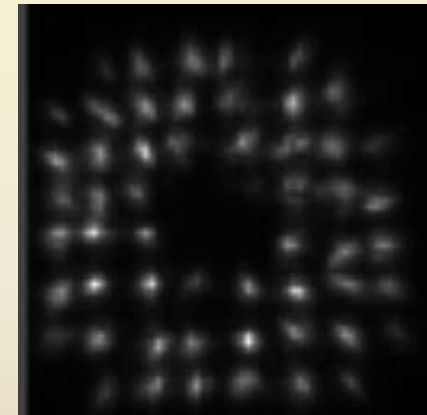
ÓPTICA ADAPTATIVA (4)

Sensor de frente de onda (WFS) **Shack-Hartmann**

Mide las pendientes locales del frente de onda en subaperturas (lenslets) del tamaño del parámetro de Fried (r_0) para corregir el frente de ondas distorsionado.



Imágenes obtenidas por un sensor Shack-Hartmann (8x8 lenslet) . (WHT, La Palma [JOSE Camera](#)).



http://www.ast.cam.ac.uk/~optics/Lucky_Web_Site/

Adaptive optics tutorial at CTIO by Andrei A. Tokovinin

<http://www.ctio.noao.edu/~atokovin/tutorial/intro.html>

Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

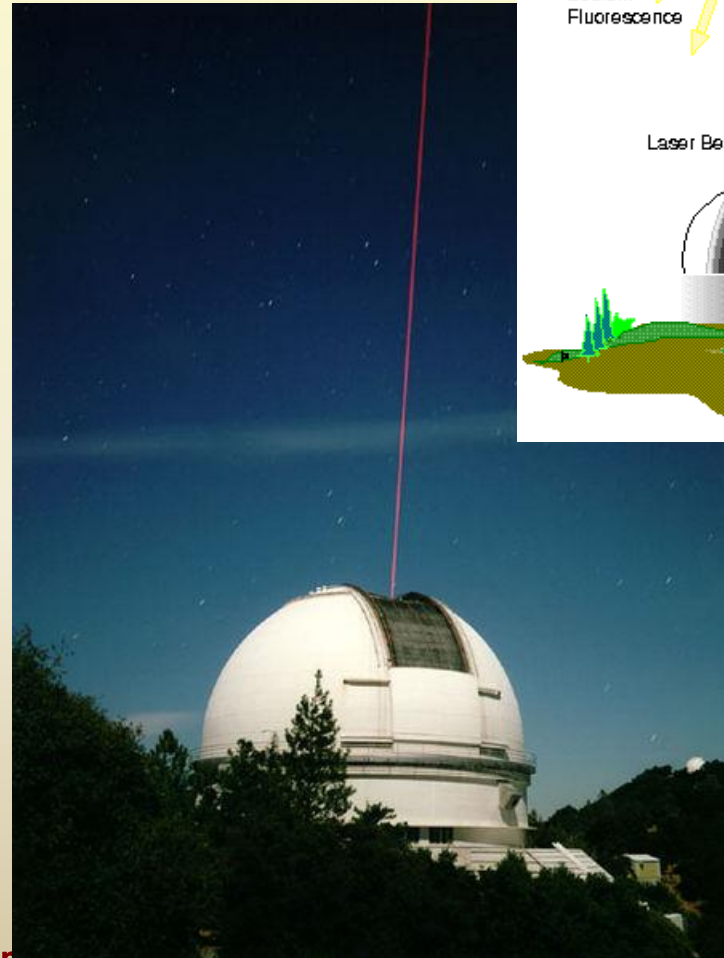
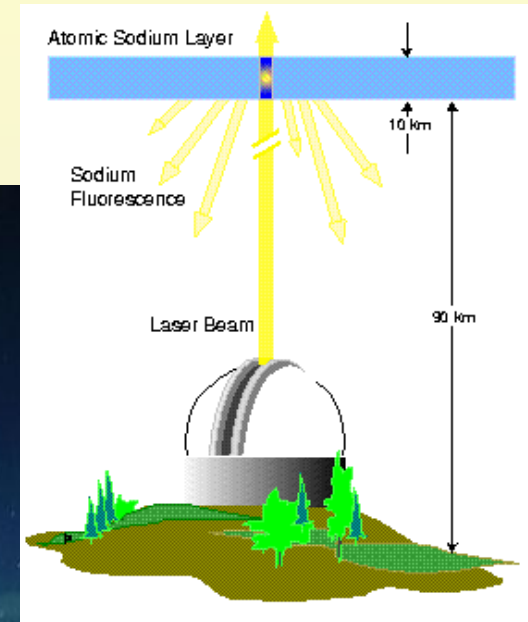
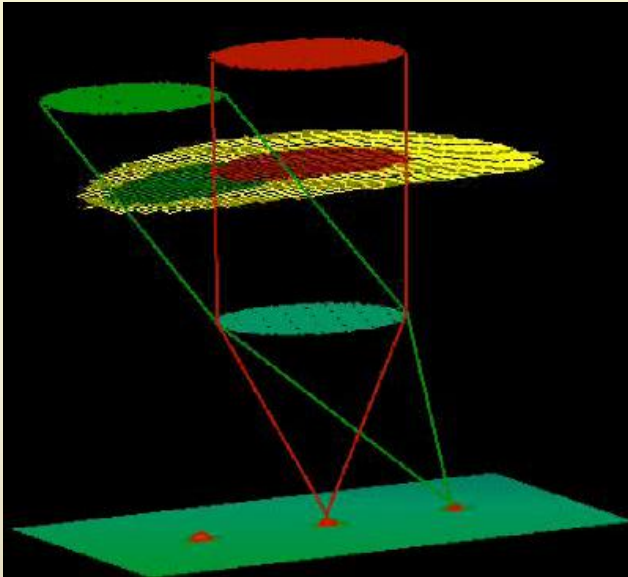
(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)

ÓPTICA ADAPTATIVA (5)

Para tener suficiente señal se analiza la luz de una estrella brillante cercana.

La estrella guía debe estar cerca y además ser brillante.
→ estrellas artificiales generadas por láser.

Diferencias espaciales
de la distorsión



http://athene.as.arizona.edu/~lclose/talks/SPIE02/tip_tilt_aniso.mpg



Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)

ÓPTICA ADAPTATIVA (6)

- r_o = Coherence (or Fried) length

- Length over which the gross wavefront distortion is limited to a uniform tilt

$$r_o \propto \lambda^{6/5} \quad \text{seeing } \theta = \frac{1.2\lambda}{r_o} \propto \lambda^{-0.2}$$

- τ_o = Coherence time

- Timescale over which atmospheric variations are frozen

$$\tau_o \propto \frac{r_o}{\bar{v}} \quad \bar{v} = \text{characteristic wind speed } (\sim 10 \text{ m/sec})$$

- θ_o = Isoplanatic angle

- Maximum separation between source and guide star

$$\theta_o \propto \frac{r_o}{\bar{h}} \quad \bar{h} = \text{characteristic height } (\sim 6 \text{ km})$$

A525: Optical, Infrared and Sub-mm Astronomical Techniques by Gordon Stacey

<http://astrosun2.astro.cornell.edu/academics/courses/a525/>

Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



ÓPTICA ADAPTATIVA (7)

Palomar seeing parameters

Band	Wave (μm)	Nominal Diff. Limit. (")	Seeing (")	r_o (cm)	theta_o (")	tau_o (msec)	N_elem
V	0.50	0.0252	1.00	13	3	4	1185
R	0.75	0.0377	0.92	20	4	6	448
I	0.90	0.0453	0.89	25	5	8	289
J	1.25	0.0629	0.83	38	8	12	131
H	1.65	0.0830	0.79	53	11	17	67
K	2.20	0.1107	0.74	74	15	23	34
L	3.50	0.1762	0.68	130	27	41	11
M	4.80	0.2416	0.64	190	39	60	5

*Assumes 1.0" seeing at 0.5 μm

A525: Optical, Infrared and Sub-mm Astronomical Techniques by Gordon Stacey

<http://astrosun2.astro.cornell.edu/academics/courses/a525/>



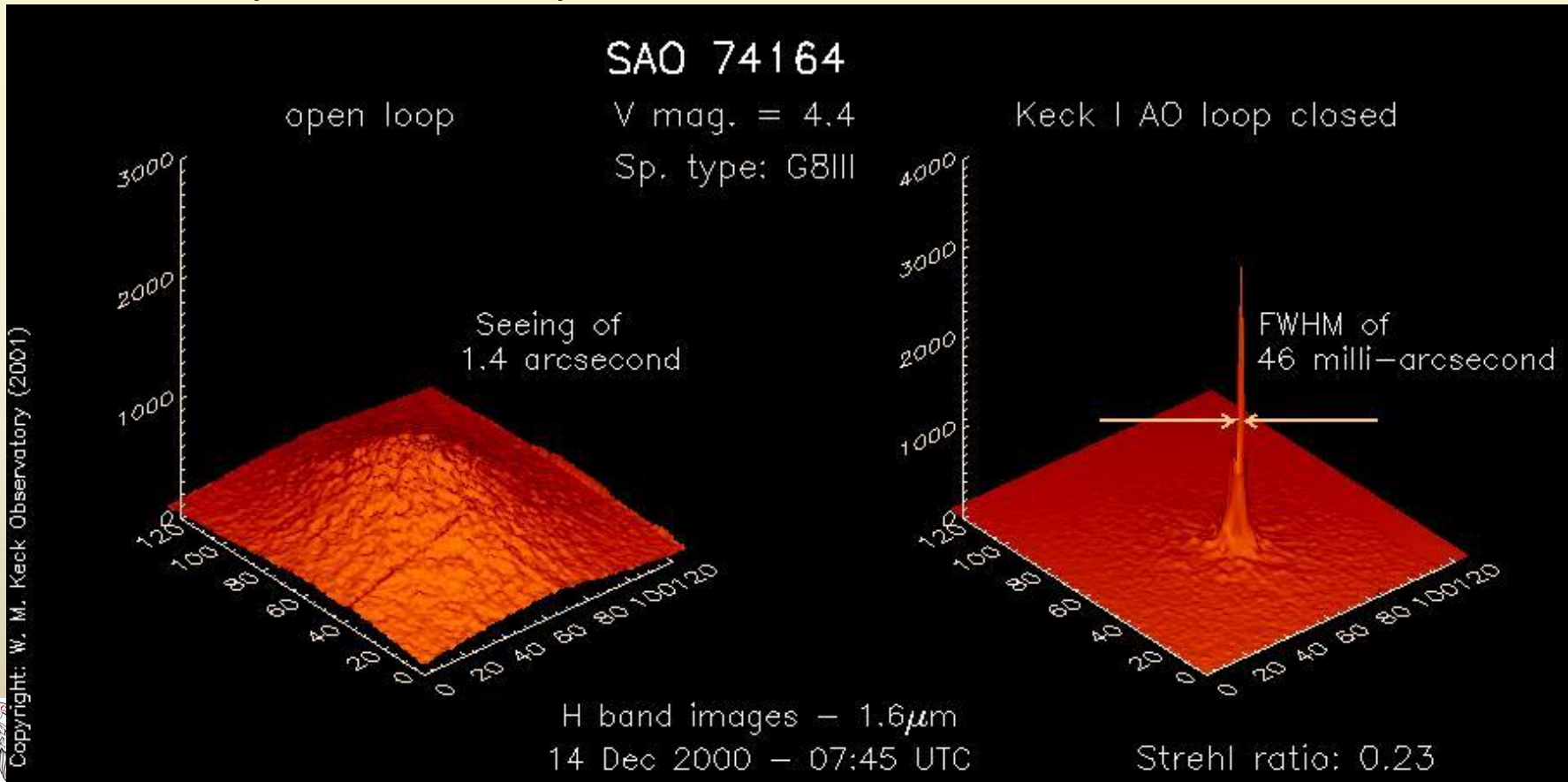
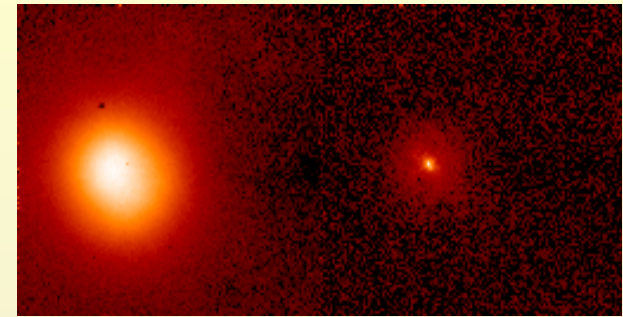
Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)

ÓPTICA ADAPTATIVA (8a)

Razón de Strehl (Strehl ratio):

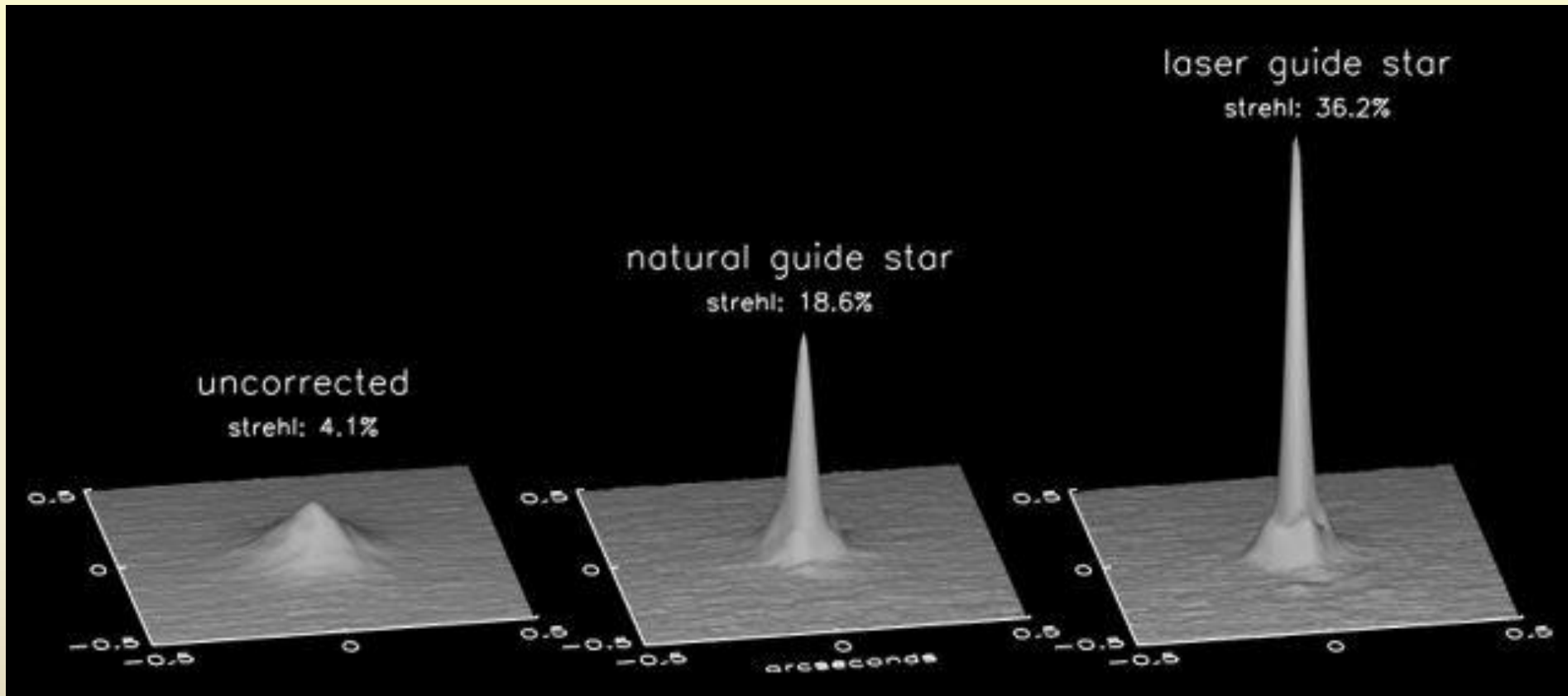
Intensidad máxima de la PSF del sistema real dividida entre la correspondiente a un sistema óptico ideal (es decir sin el efecto de la atmósfera). Por convenio, 0.8 Strehl (80%) corresponde a un sistema óptico limitado por difracción.



Copyright: W. M. Keck Observatory (2001)



ÓPTICA ADAPTATIVA (8b)



http://keckobservatory.org/news/laser_guide_star_available_for_adaptive_optics/

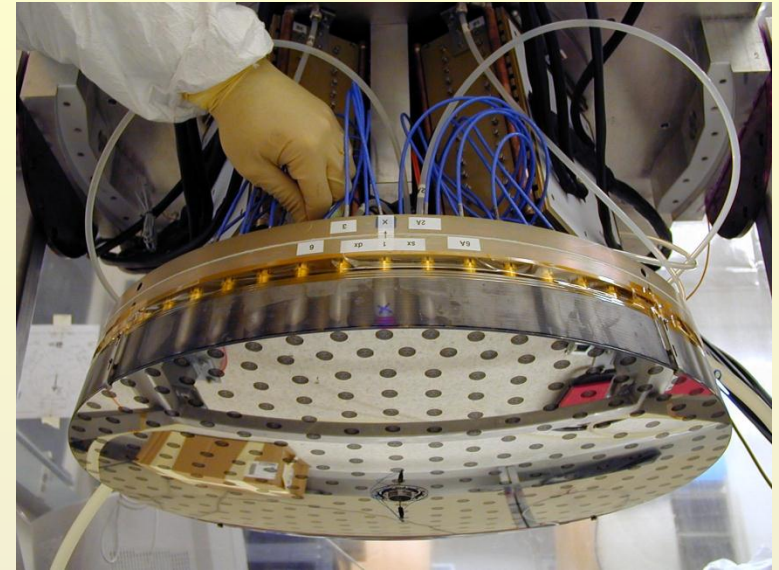
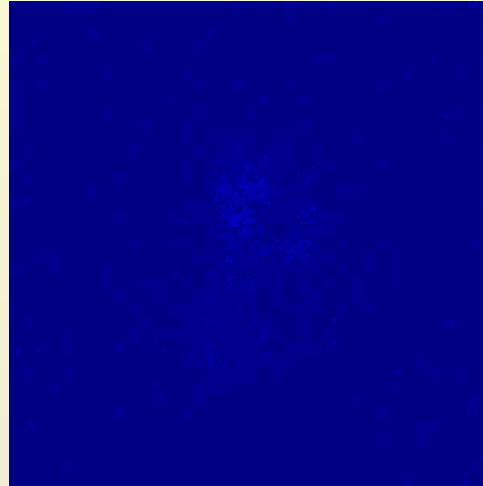
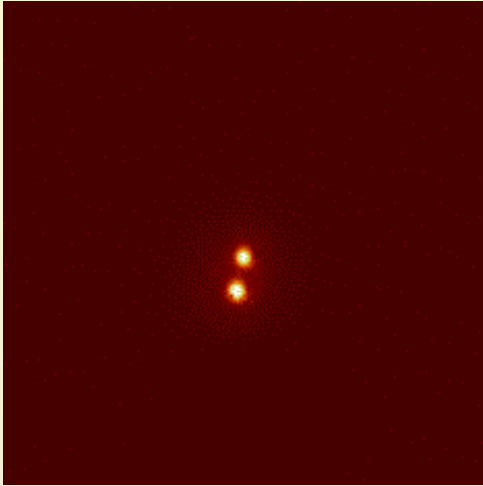


ÓPTICA ADAPTATIVA (9)

MMT ADAPTIVE SECONDARY AO SYSTEM

0.24" Binary ADS8939 at H band, Strehl 10%

FWHM 0.077", 23 seconds, 52 modes, 550 Hz



Siguiente paso en óptica adaptativa:
correcciones en el secundario.

guide star mag = 9th mag at V

Espejo secundario
deformable en MMT.

ASTRO 519: ADAPTIVE OPTICS by Laird Close (Steward Observatory)

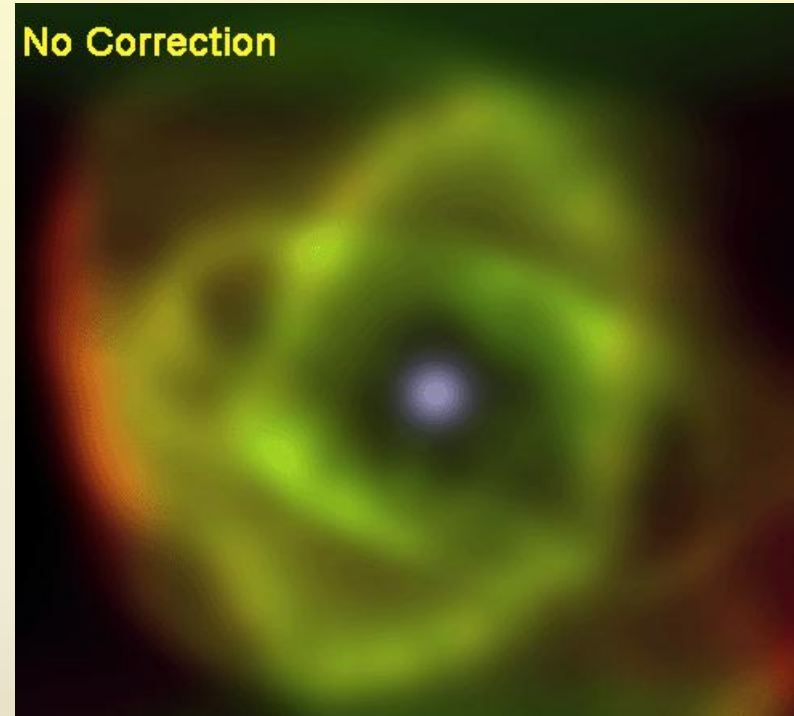
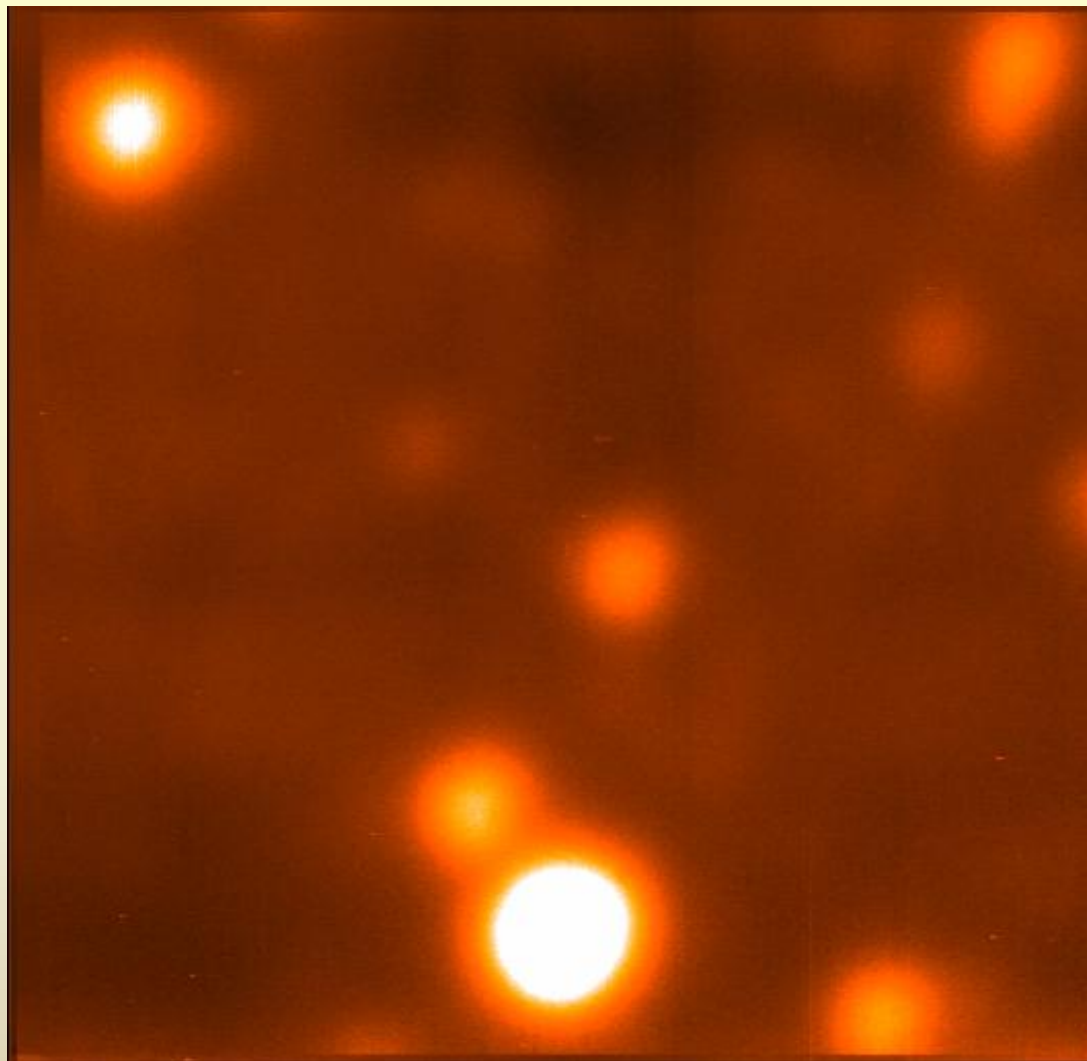
<http://athene.as.arizona.edu/~lclose/talks/SPIE02/a519.html>



Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)

LUCKY IMAGING



<http://www.ast.cam.ac.uk/research/lucky>

**Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012**

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)



TELESCOPIOS ESPACIALES

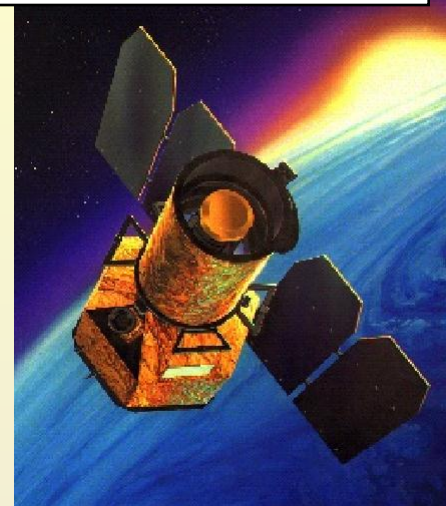
PRO:

- Fuera de la atmósfera:
no hay extinción, no hay turbulencia,
X, Gamma, UV, IR accesibles.

CONTRA:

- Misiones mucho más caras.
- Condiciones extremas: se necesitan materiales especiales (tecnología espacial).
- Mantenimiento y operación complicada.
- Vida útil limitada por los fungibles.

<http://www.galex.caltech.edu/>



<http://spitzer.caltech.edu/>



<http://www.stsci.edu/hst/>

Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)

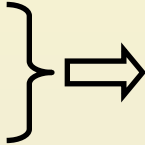


TELESCOPIOS ENORMES (1)

Los mayores telescopios de la actualidad tienen espejos de 10m que permiten, corrigiendo los efectos de la atmósfera, alcanzar resoluciones mejores que las del HST.

Los astrónomos piensan ya en telescopios 10x más grandes que se han empezado a diseñar.

Estudios en marcha de ELTs:

- ESO 100m OverWhelming Large Telescope (OWL)
 - European 50m Telescope (Euro50)
- 

⇒ THE EUROPEAN EXTREMELY LARGE TELESCOPE ("E-ELT", 42m)

- Giant Magellan Telescope, GMT 21.4m
- Thirty-Meter Telescope, TMT 30m
formerly the The California Extremely Large Telescope (CELT)
Canadian Very Large Optical Telescope (VLOT)
American Giant Segmented Mirror Telescope (GSMT)
Japanese ELT project (JELT)



TELESCOPIOS ENORMES (2)



<http://www.eso.org/projects/owl/>



HST - Pixel 0.02 arc secs
 Exposure ~1600 seconds
 (Enlarged 10x)

8-m diffraction-limited
 Pixel 0.006 arc secs
 Exposure ~160 seconds
 (Enlarged 5x)

VLT - Seeing 0.20 arc secs
 Pixel 0.045 arc secs (Test Camera)
 Exposure ~620 seconds (Enlarged 10x)

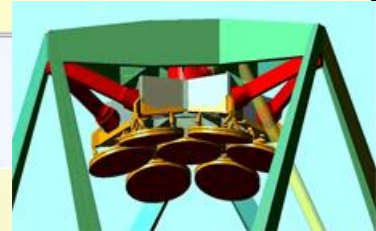
OWL diffraction-limited
 Pixel 0.0005 arc secs
 Exposure ~1 second



TELESCOPIOS ENORMES (3)



GIANT MAGELLAN TELESCOPE

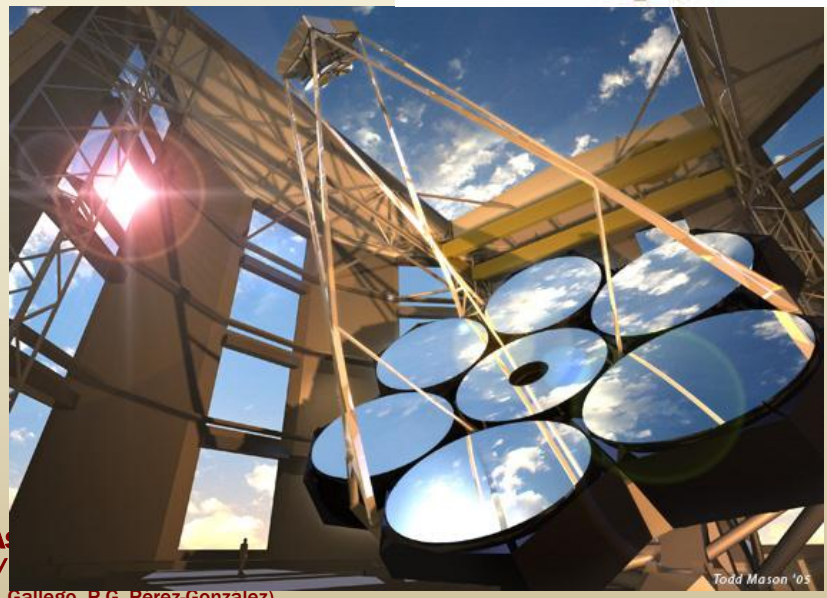
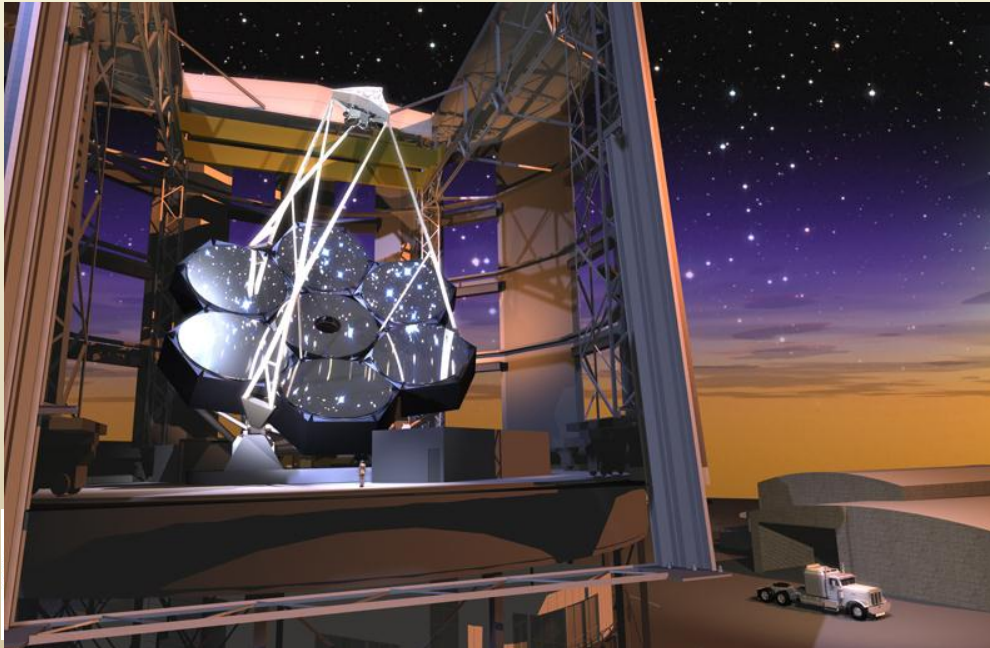


7 segmentos (6 fuera de eje) de 8.4m
1 espejo terminado
Resolución como D=24.5 m
Abertura como D=21.4 m (f/0.7)

Las Campanas
2018?



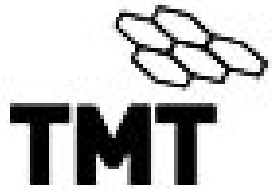
Espejos honeycomb de borosilicato similares
a los de Magellan, MMT y LBT. <http://www.gmto.org/>



A
J. Gallego, P.G. Perez-Gonzalez)

Todd Mason '05

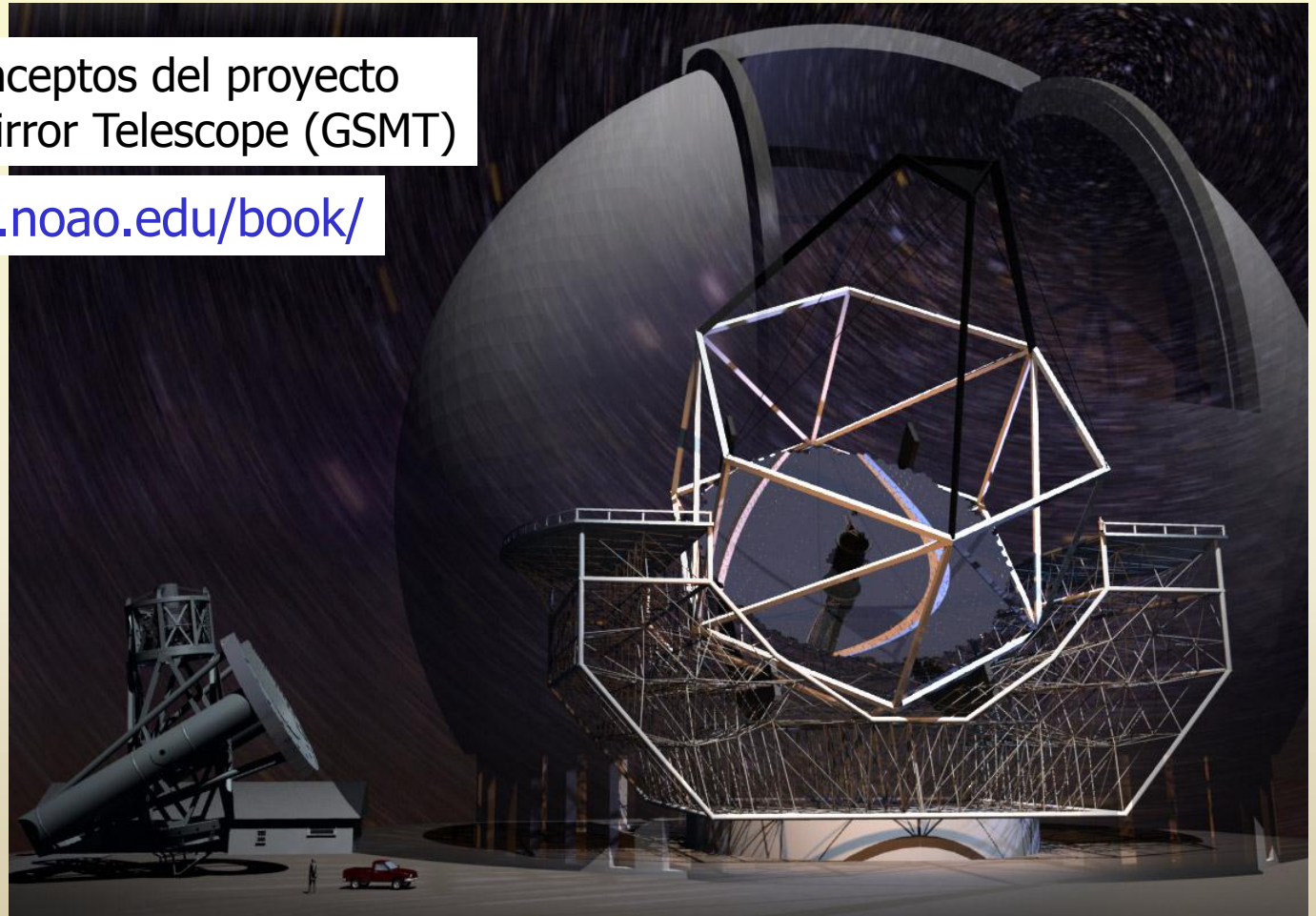
TELESCOPIOS ENORMES (4)



Mauna Kea, 2018?
~1,500 M\$

Siguiendo los conceptos del proyecto
Giant Segmented Mirror Telescope (GSMT)

<http://www.gsmt.noao.edu/book/>



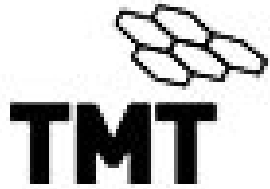
<http://www.tmt.org/>



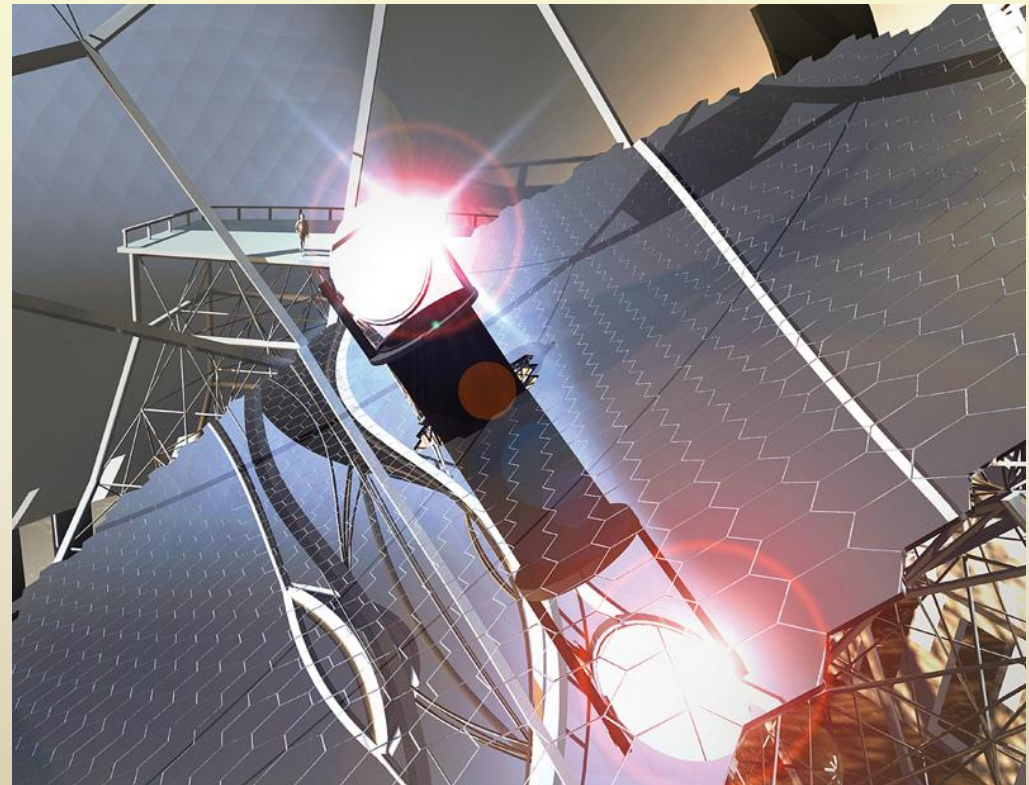
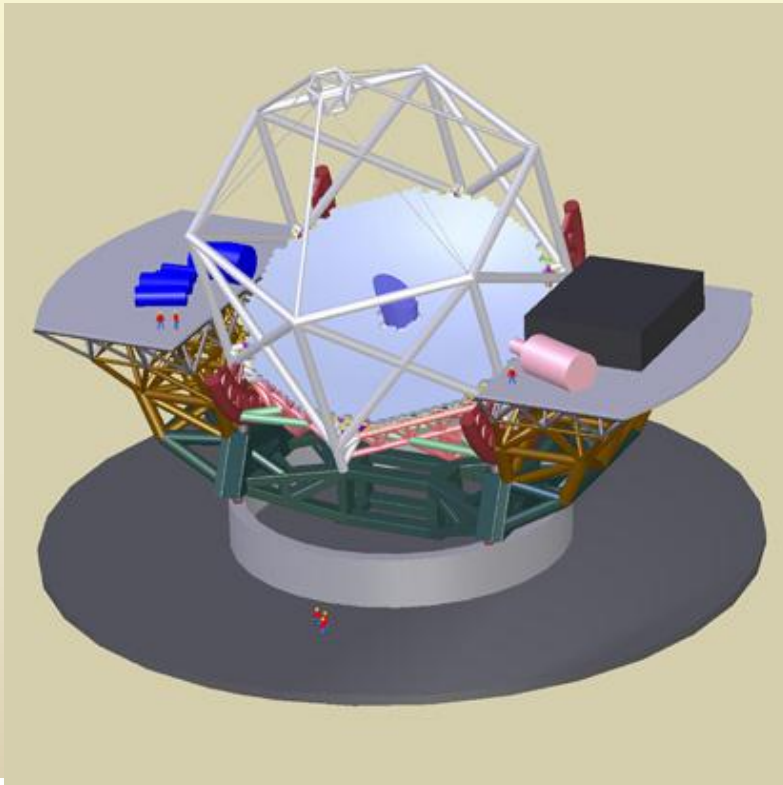
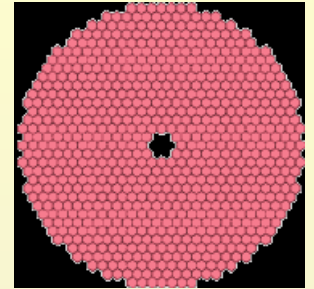
Instrumentación Astronómica
Curso 2011/2012

(material compilado por J. Zamorano, J. Gallego, P.G. Pérez-González)

TELESCOPIOS ENORMES (5)



738 espejos de 1.2m de diámetro (segmentos hexagonales) de 0.045m de espesor. Abertura equivalente a $D=30$ m



TELESCOPIOS ENORMES (6)

ESO E-ELT

<http://www.eso.org/projects/e-elt/>



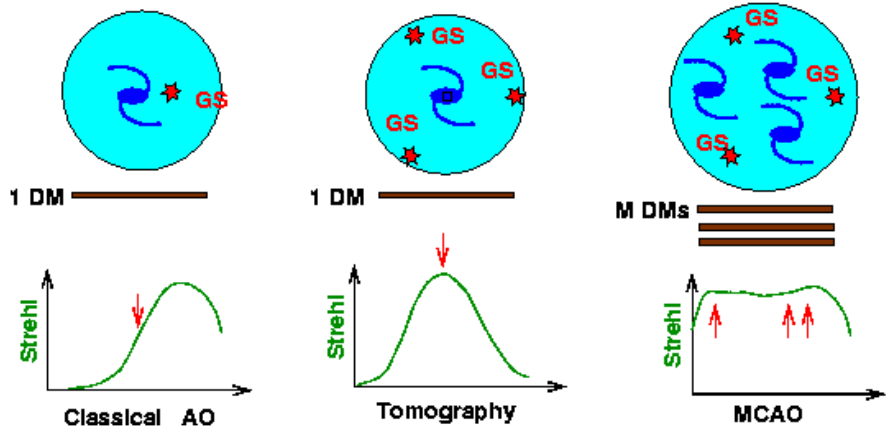
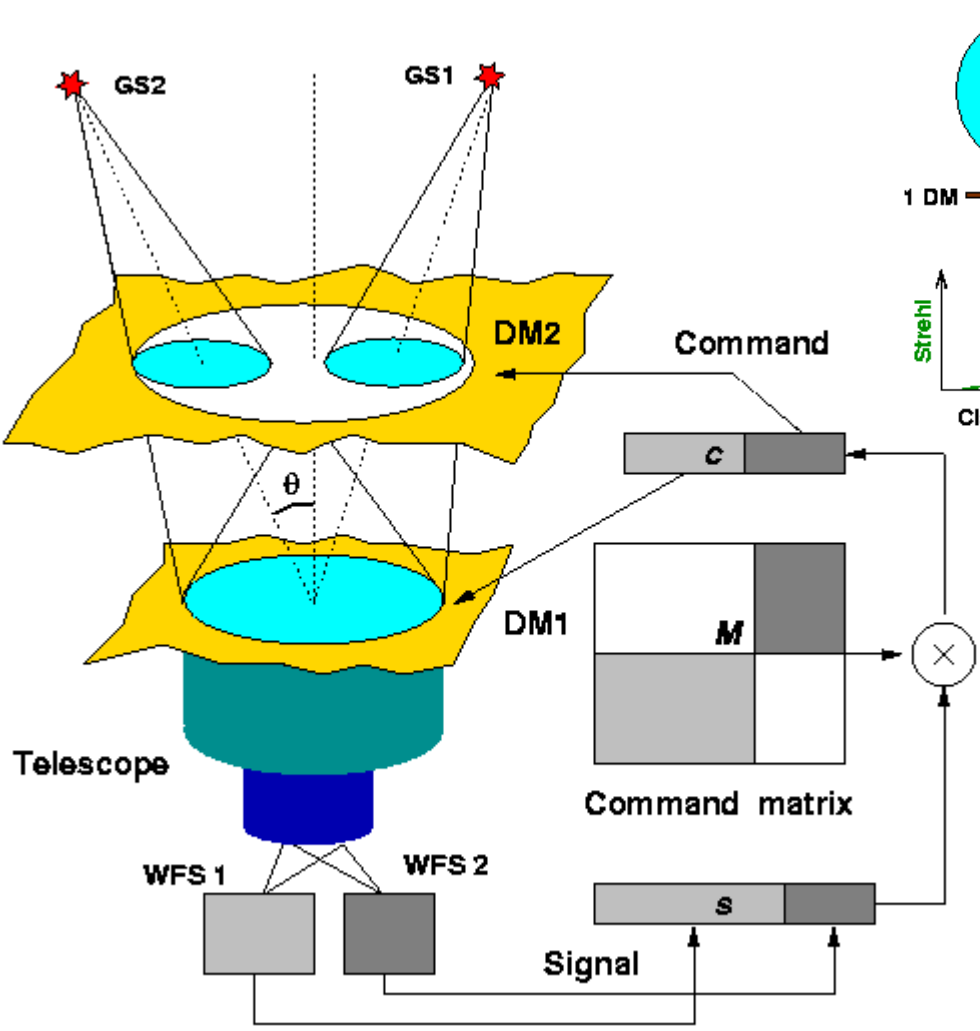
Cerro Armazones, 2018?
~1,000 M€

5500 Tm masa rotante
42-m diámetro
(906 segmentos x 1.45m)
5 espejos (primario + 4)
6 m secondary mirror
4.2 tertiary mirror
2.5 m (5000 actuators)
2.7 m



ÓPTICA ADAPTATIVA PARA LTs: MOAO y MCAO

MOAO: Multi-Object Adaptive Optics.
 MCAO: Multi-Conjugate Adaptive Optics.



<http://www.davincisworld.com/Light/AOtutorial/mcao.htm>



Resumen de contenidos

- **Protección de telescopios, influencia en las observaciones.**
- **Grandes telescopios: ventajas y problemas que implican.**
- **Óptica activa.**
- **Óptica adaptativa.**
- **Telescopios enormes: ventajas y problemas que implican.**

