

# Radio Astronomía y Regulación

Ricardo Bustos

Universidad Católica de la Santísima Concepción

9° Congreso Internacional del Espectro  
16-17 de septiembre de 2019  
Bogotá, Colombia

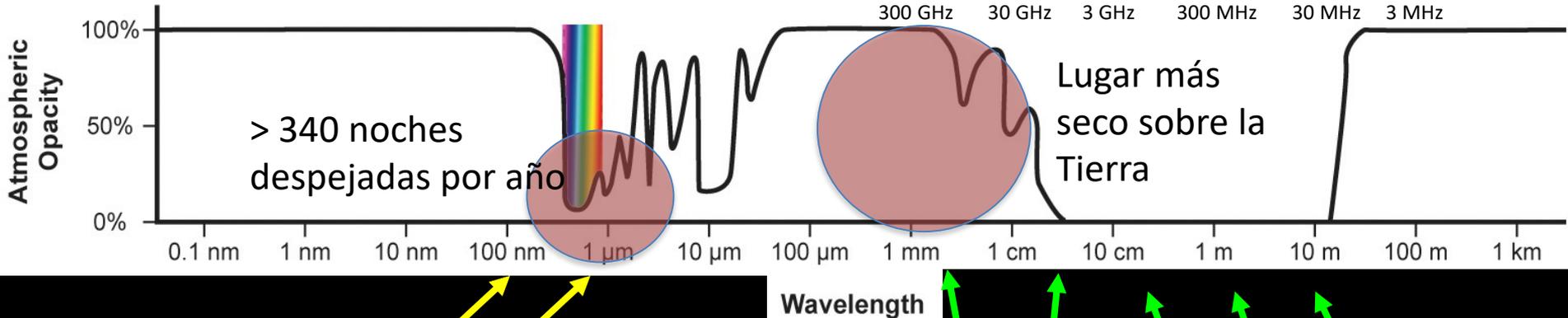
# Requisitos para instalar observatorios

- Cielos despejados para astronomía óptica.
- Aire con baja humedad y sitios a gran altura, ideal para Radio Astronomía de alta frecuencia.
- Baja interferencia en ondas de radio para observaciones en VHF.
- Grandes telescopios se instalan en los 60s, con regulación.
- Estabilidad política y económica.



Radio telescopios, sistemas pasivos

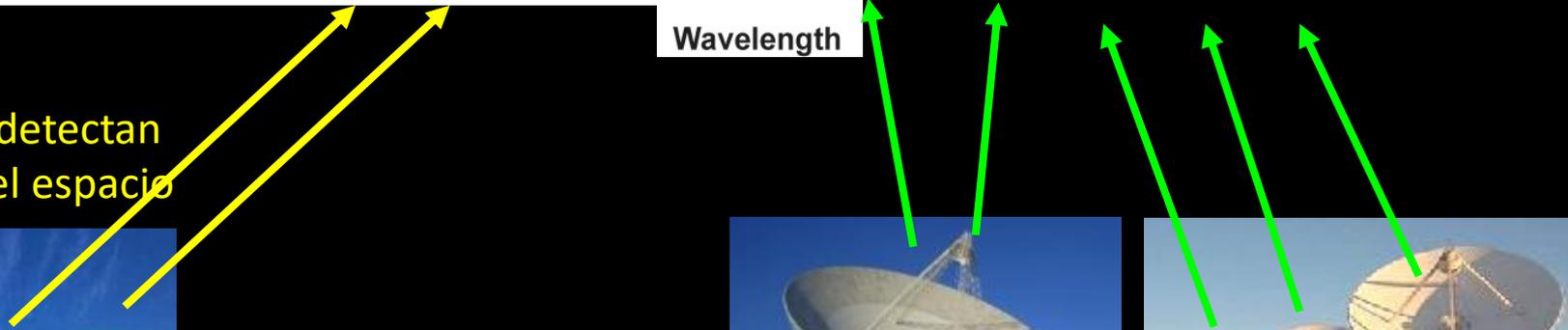
# Espectro Electromagnético



Telescopios detectan luz visible del espacio

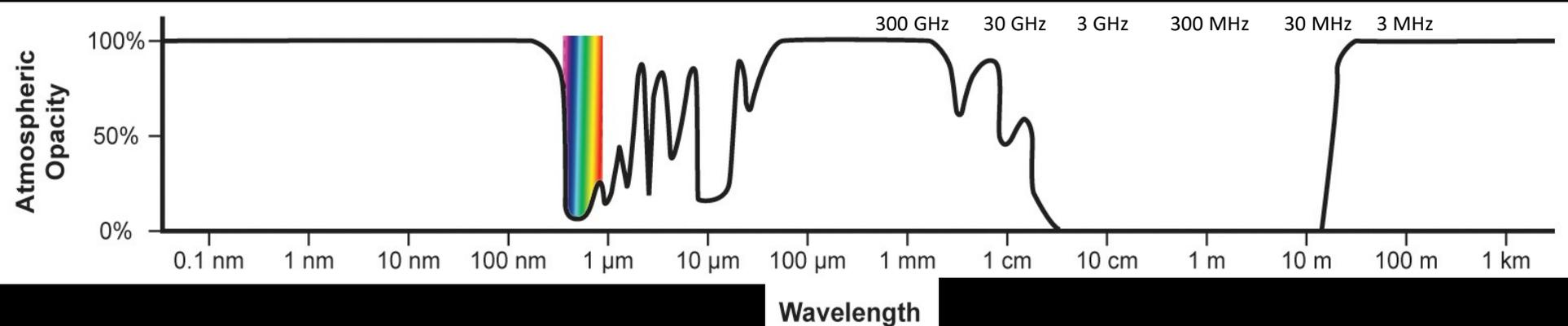
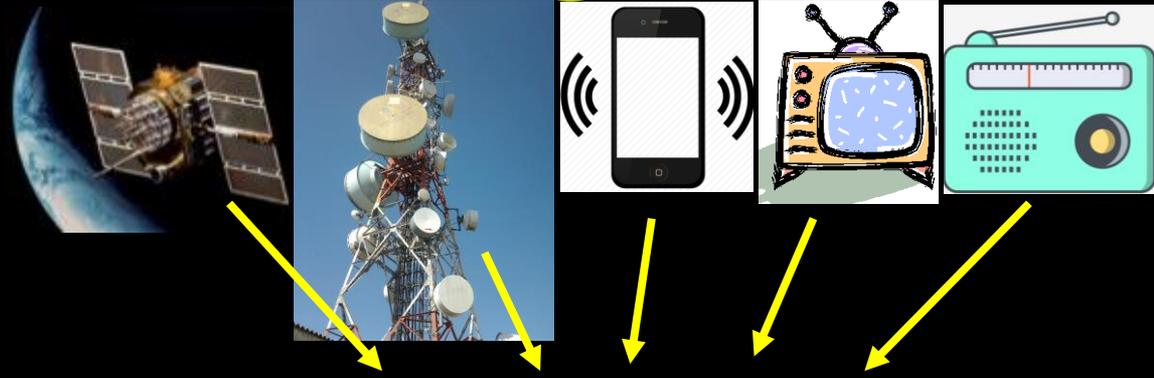


Radio telescopios detectan señales de radio del espacio



# Espectro Electromagnético

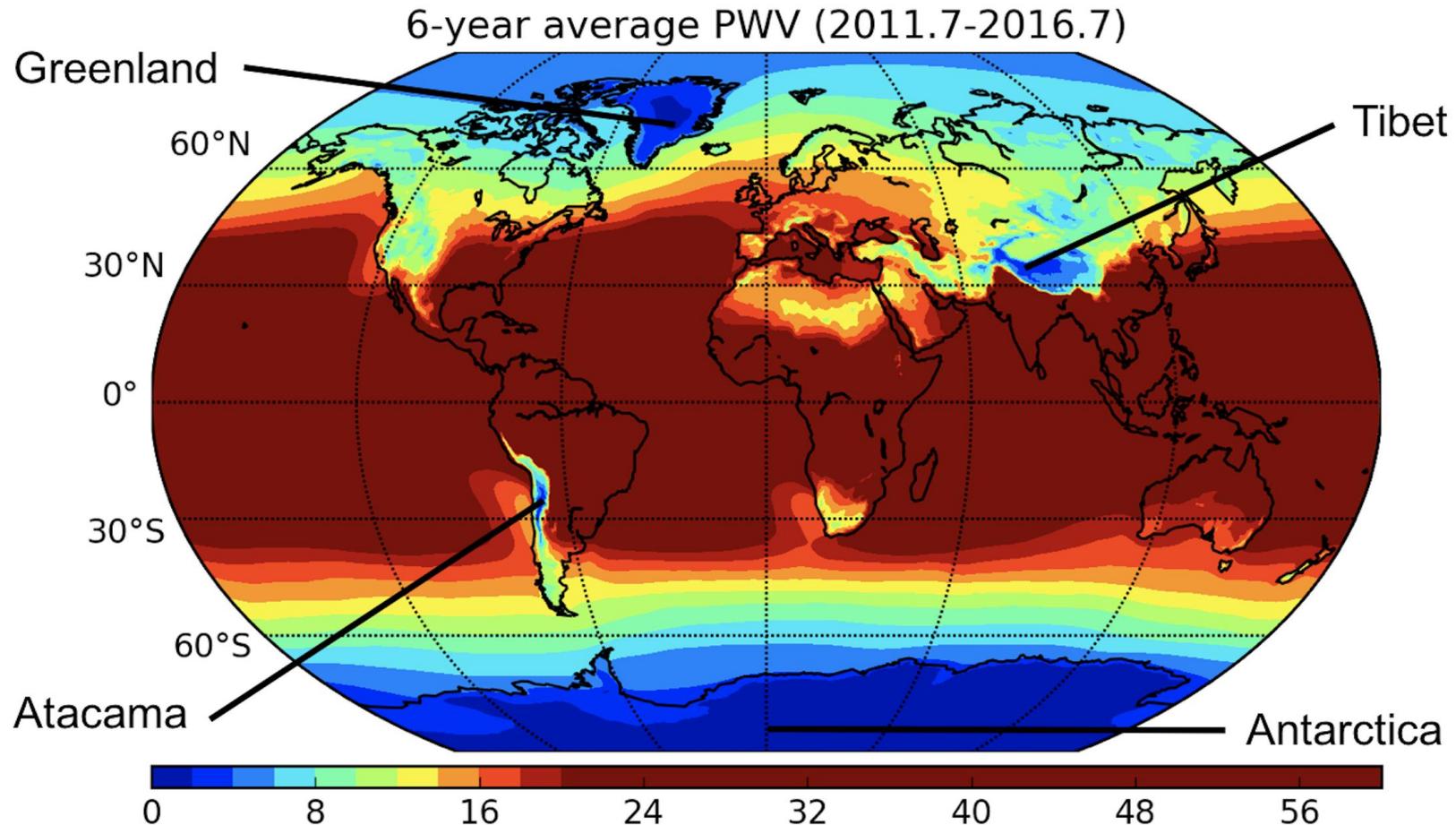
Se puede compatibilizar el uso del espectro y proteger los radio observatorios???



- < 40 MHz: estudios ionosféricos, galácticos. Primera observación en 1933 por **Karl Jansky**.
- 50 – 150 MHz: Universo en etapa de formación de las primeras estrellas, rol materia oscura?
- 400 – 800 MHz: Evolución de primeras galaxias, rol energía oscura en la expansión?, Pulsares
- 1.4 GHz: línea Hidrógeno neutro en nubes de la galaxia, su dinámica y formación estelar.
- 2 – 18 GHz: cuásares, radio galaxias, pulsares, cúmulos, distribución universo, Júpiter, VLBI.
- 30 – 90 GHz: Radiación de fondo cósmico, señal mas antigua, remanente del Big-Bang.
- 115 GHz: Línea emisión CO, trazador de formación estelar y dinámica de la galaxia.
- > 150 GHz: múltiples líneas de emisión de moléculas (vapor de agua), imagen agujero negro.

# Sitios idóneos para alta frecuencia

Promedio global de PWV – Sitios mas secos: Polos, Andes, Himalayas, Hawaii.



Li H., et al, (2019), Natl.Sci.Rev., 1, 145-154.

# Marco regulatorio: Caso chileno

- Por iniciativas en los años 50 para instalar telescopios en el norte, el Congreso Nacional aprueba en 1963 la Ley 15.172, Ministerio de Hacienda, imán para atraer proyectos.
- Ley permite regular Observatorios Astrofísicos en Chile (se ingresa a través de ESO o con convenios con U. de Chile).
- Decreto Supremo N° 18 de 1964: ESO - La Silla.
- Convenios celebrados con la U. de Chile (todo el resto de proyectos que asegure naturaleza científica).
- Permite obtener beneficios tributarios, exenciones aduaneras, derechos consulares.
- Acceso asegurado de 10% de tiempo de observación a científicos chilenos, administrado por CNTAC.

# Ubicación Observatorios

Llano de Chajnantor (2003)

Cerro Armazones (2011)

Cerro Paranal (1990)

Cerro Las Campanas (1969)

Cerro La Silla (1963)

Cerro Tololo (1961)

Cerro Pachón (1994)

(año firma de convenio)



# Lista de Observatorios - OPTICO

- Paranal (ESO), 10 telescopios: 8.2 m, 1.8 m, 4 m and 2.6 m.
- Gemini South, 1 telescopio: 8.1 m.
- La Silla (ESO), 9 telescopios: from 0.6 m to 3.6 m.
- Las Campanas (Carnegie), 4 telescopios: 6.5, 2.5 and 1 m.
- Tololo (AURA), 15 telescopios: from 0.3 m to 4.0 m.
- SOAR (AURA, UNC, MSU), 1 telescopio: 4.1 m.
- GMT (Carnegie), en construcción, 24.5 m.
- LSST (USA), en construcción: 8.4 m.
- E-ELT (ESO), en construcción: 42.0 m.
- TAO (U. Tokio), en construcción, 2 telescopios: 1.0 m and 6.5 m.

TOTAL: En operaciones: 40.  
En construcción: 5.

# Lista de Observatorios - RADIO

- APEX (ESO), 1 telescopio: 12 m. **159 - 1400 GHz**
- ALMA (USA, ESO, Japón), 66 telescopios: 7 y 12 m. (\*) **31 - 1000 GHz**
- CBI y QUIET (Caltech), 14 telescopios: 1 m. (\*\*) **26-36, 43 y 90 GHz**
- ASTE (Japón), 1 telescopio: 10 m. **100 - 800 GHz**
- Nanten2 (Japón), 1 telescopio, 4.0 m. **110 - 880 GHz**
- ACT (Princeton), 1 telescopio, 6.0 m. **41 - 220 GHz**
- Polarbear (UC Berkeley), 3 telescopios, 2.5 m. **90 - 180 GHz**
- CLASS (JHU), 4 telescopios, 1.5 m. **40 - 220 GHz**
- CCAT-p, en construcción, 1 telescopio, 6.0 m. **100 - 1500 GHz**
- SIMONS, en construcción, 4 telescopios, 0.5 m, 4 m. **40 - 220 GHz**
- MIST, en construcción, 1 telescopio, 1 m. **50 - 200 MHz**

TOTAL: En operaciones, 77.

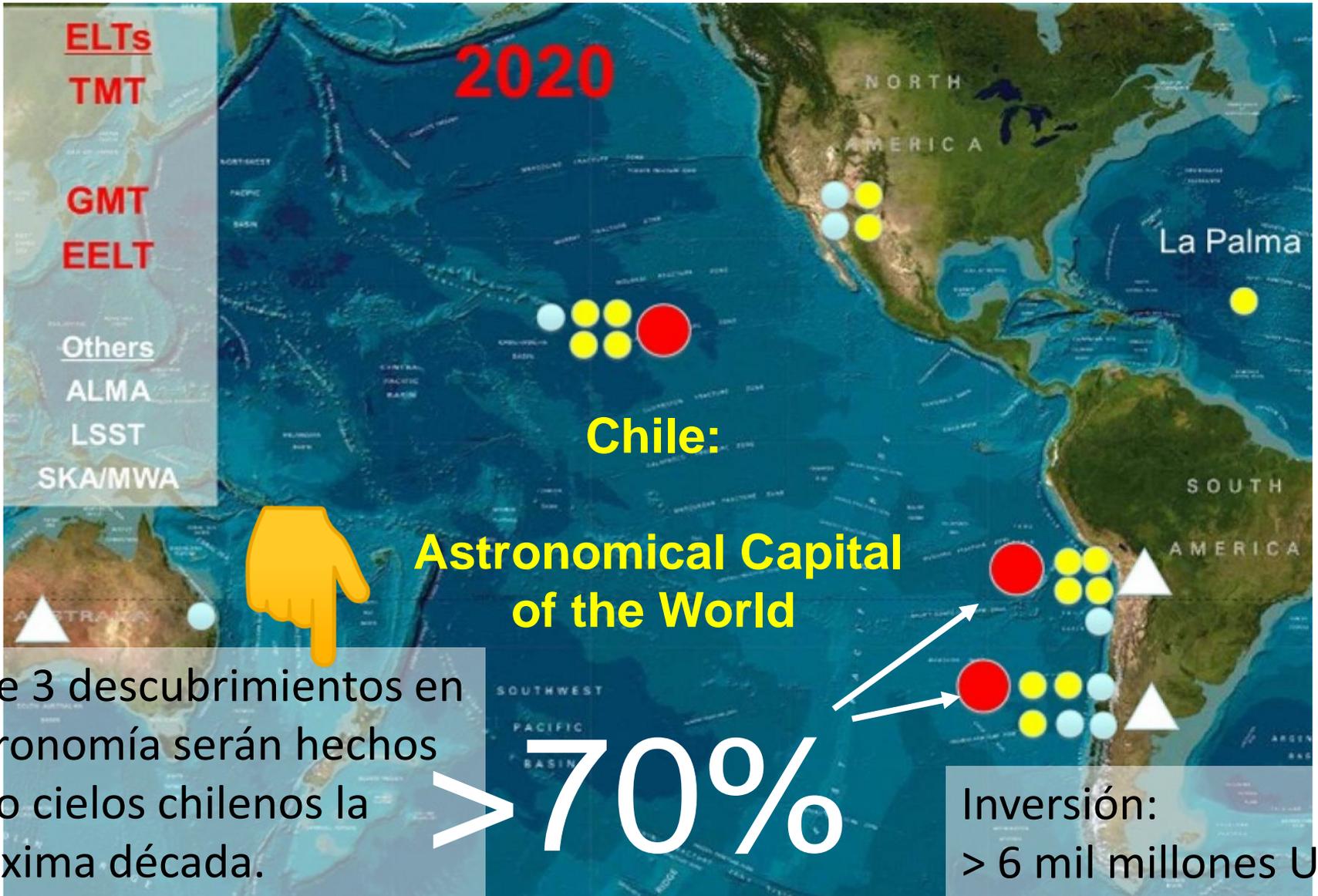
(\*) En modo

interferometría

En construcción, 5.

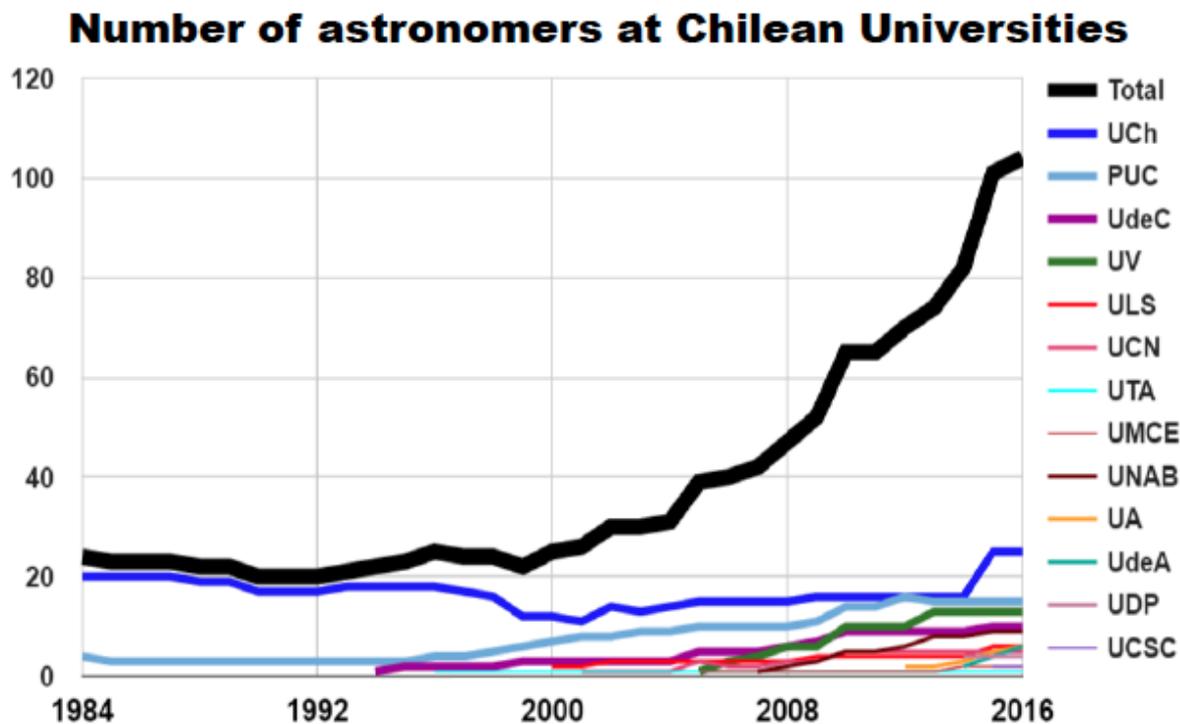
(\*\*) Dejó de funcionar

# CHILE: Capital astronómica mundial



# Rol de Chile y desarrollo de Astronomía:

- Hospedar instalaciones astronómicas bajo conocidas regulaciones.
- Universidades chilenas en crecimiento para incluir investigadores.
- Nueva participación en instrumentación e ingeniería de telescopios.



A partir del año 2000 se produce un “Big-Bang” en la participación chilena en astronomía!

# Rol de Chile y desarrollo de Astronomía:

- Valorar cielos chilenos y proteger como recurso natural, postula a ser Patrimonio de la Humanidad de Unesco.
- Fondos para el desarrollo de la astronomía nacional: QUIMAL y fondos de ESO, ALMA, GEMINI, CAS en coordinación con CONICYT.
- En esta década han surgido nuevos Laboratorios de Instrumentación a partir de estos fondos concursables:

## Radio/mm/submm

- U. de Chile
- UCSC
- U. de Concepción

## Optico/IR

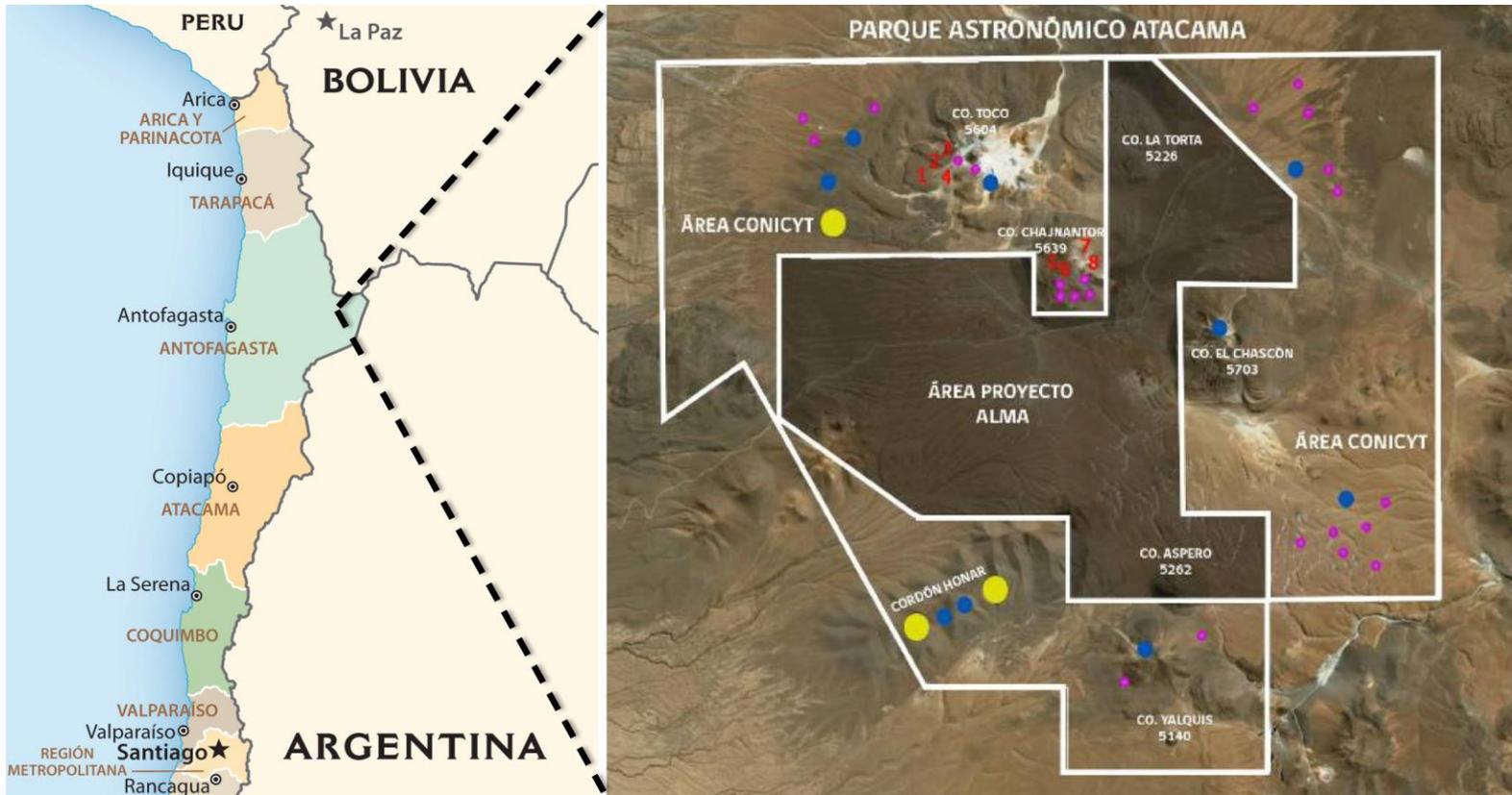
- U. Católica
- U. Antofagasta
- U. Valparaíso

## Data science

- U. Católica
- U. de Chile

- Beneficios tecnológicos surgidos en instrumentación astronómica:
  - Cámaras CCD (hoy en celulares), minituarización de receptores, detectores, antenas, manejo de grandes datos ==> motor de desarrollo científico y tecnológico con beneficio a la sociedad.

# Protección de sitios para radio astronomía: Historia del caso Llano de Chajnantor



Superficie total de 55.000 hectáreas a una altura superior a 5.000 metros.  
Se crean 2 observatorios: **Proyecto ALMA** y **Parque Astronómico de Atacama**.

# Protección de sitios para radio astronomía:

## Historia del caso Llano de Chajnantor

- Ley 15.172 sigue siendo válida hasta el día de hoy.
- Resolución exenta 1180, 2013, Ministerio de Bienes Nacionales: Otorga concesión gratuita a Conicyt por 50 años para desarrollar el **Parque Astronómico Atacama** (Bustos R., et al, 2014, PASP, 126, 946). *Primer permiso de ocupación otorgado a U. de Chile en 1995.*
- Decreto exento 601, 2003, Ministerio de Bienes Nacionales: Otorga concesión onerosa a ESO y AUI por 50 años para desarrollar el **Proyecto ALMA**.
- Decreto Supremo 60, 2005, Ministerio de Minería: Declara zona de interés científico para proteger el área de Chajnantor contra actividades mineras. *Reemplaza al Decreto 185 de 1998.*

# Protección de sitios para radio astronomía: Historia del caso Llano de Chajnantor

- Resolución exenta 3075 y 3076, 2013, Subsecretaría de Telecomunicaciones, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, establece:

**Zona de Protección** centrada en Chajnantor de 30 Km de radio

**Zona de Coordinación** de 120 Km de radio.

Limita frecuencias, potencias y emisiones fuera de banda con criterios recomendación UIT-RA.769-2.

*Reemplaza resolución exenta 1055 y 1056 de 2004.*

- Decreto 43, 2013, Ministerio del Medio Ambiente. Establece norma de emisión para la regulación de la contaminación lumínica. Hay una nueva en 2019 pronta a promulgarse. *Reemplaza al Decreto 686 de 1998.*

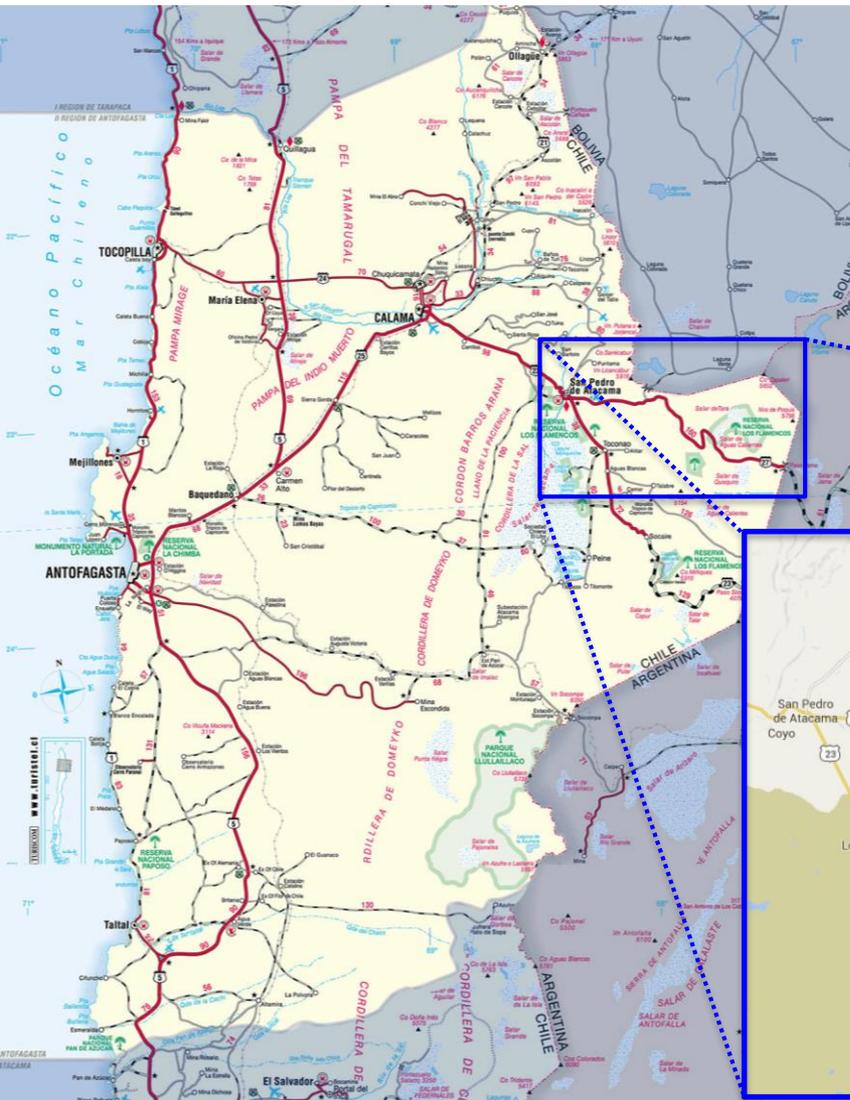
# Protección de sitios para radio astronomía: Historia del caso Llano de Chajnantor

## Parque Astronómico Atacama



- Administrado por Fundación Parque Astronómico Atacama, establecido el año 2017.
- Permite marco regulatorio e institucional estable en Chile.
- Otorga permiso de instalación a proyectos científicos en el Parque.
- Actualmente hay 4 proyectos: ACT (Princeton), Polarbear (Berkeley), CLASS (Johns Hopkins) y Short Wave Monitoring Station (USACH).
- En proyecto: Simons, TAO y CCAT-p.
- Potencialmente anexar sitio MARI.

# Protección de sitios para radio astronomía: Caso sitio MARI

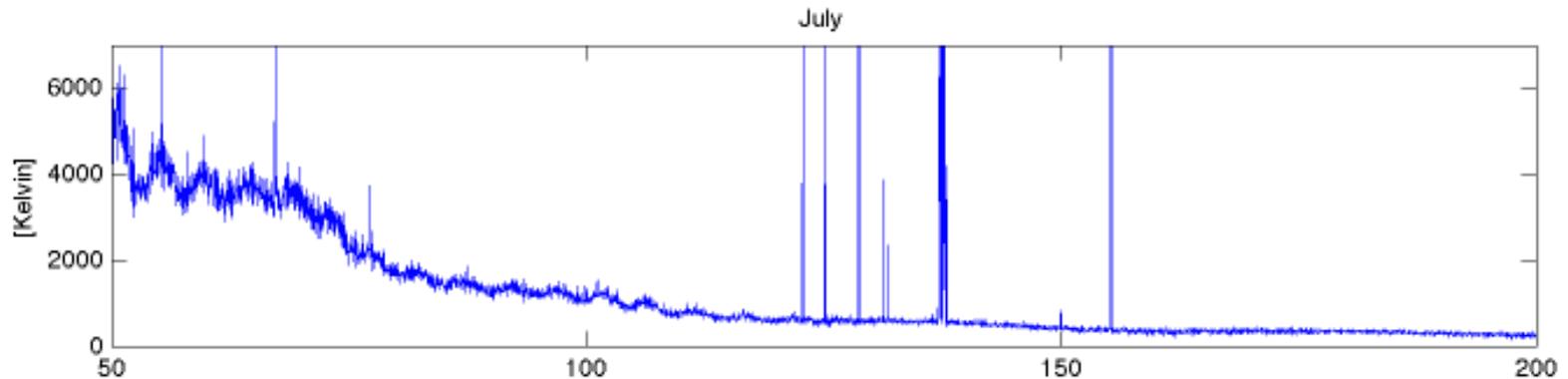
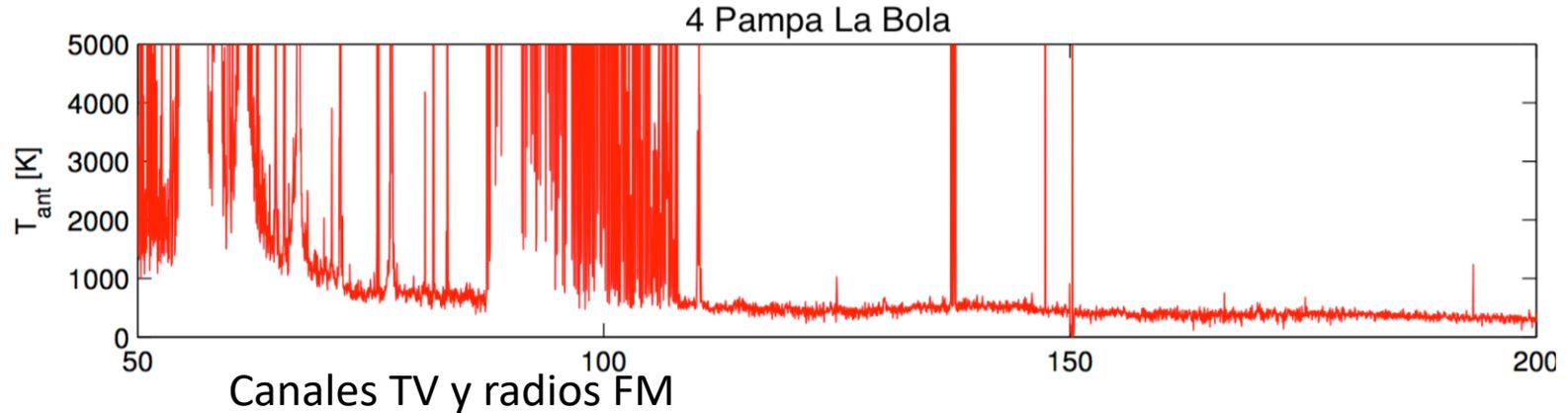


Sitio MARI con bajos niveles de RFI en el rango 50-200 MHz para realizar observaciones de señal cosmológica de HI.

Altura: 4380 m. Area: 8.000 hectáreas



# Espectros obtenidos en un sitio con RFI y el sitio MARI



Proyecto UIS de realizar mediciones  $> 70$  MHz para encontrar sitios con bajos niveles de RFI en Colombia!

# Mediciones con equipo U. Industrial Santander, sábado 14 sept.



# Protección de sitios para radio astronomía: Caso sitio MARI



Radiómetro de 183 GHz para determinar niveles de vapor de agua



# Protección de sitios para radio astronomía: Caso sitio MARI



Caracterización meteorológica del sitio

Radiómetro de 183 GHz para determinar niveles de vapor de agua

Oscar Restrepo, estudiante doctorado en U. de Chile, colombiano, trabajo de tesis en diseño y mediciones de antena para radio telescopio bajas frecuencias.



# Protección de sitios para radio astronomía: Caso sitio MARI

Subsecretaría Ministerio de Bienes Nacionales, Antofagasta:

- 2015: Solicitud de concesión → rechazada por concesión geotérmica anterior con vencimiento el 2016 y reclamaciones indígenas.
- 2017: Solicitud de permiso provisorio → aprobada septiembre 2018.
- 2018: Solicitud de renovación permiso provisorio → en trámite.
- 2019: Solicitud concesión de corto plazo 5 años → por enviar.

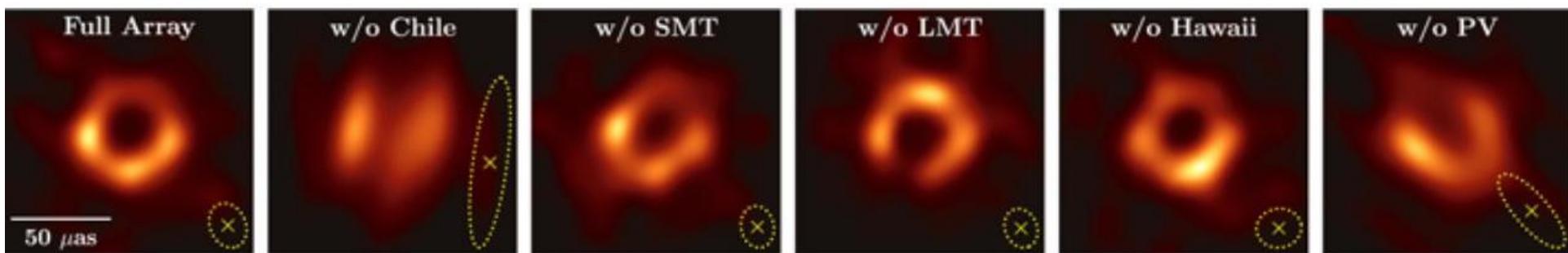
Proyectos en colaboración global:

- MIST → Chile, USA, Canadá, Colombia.
- Búsqueda de sitios en Colombia → Colombia, Chile, a partir de la experiencia obtenida con MARI.

# Un ejemplo de colaboración global: Event Horizon Telescope e imagen del agujero negro de M87.

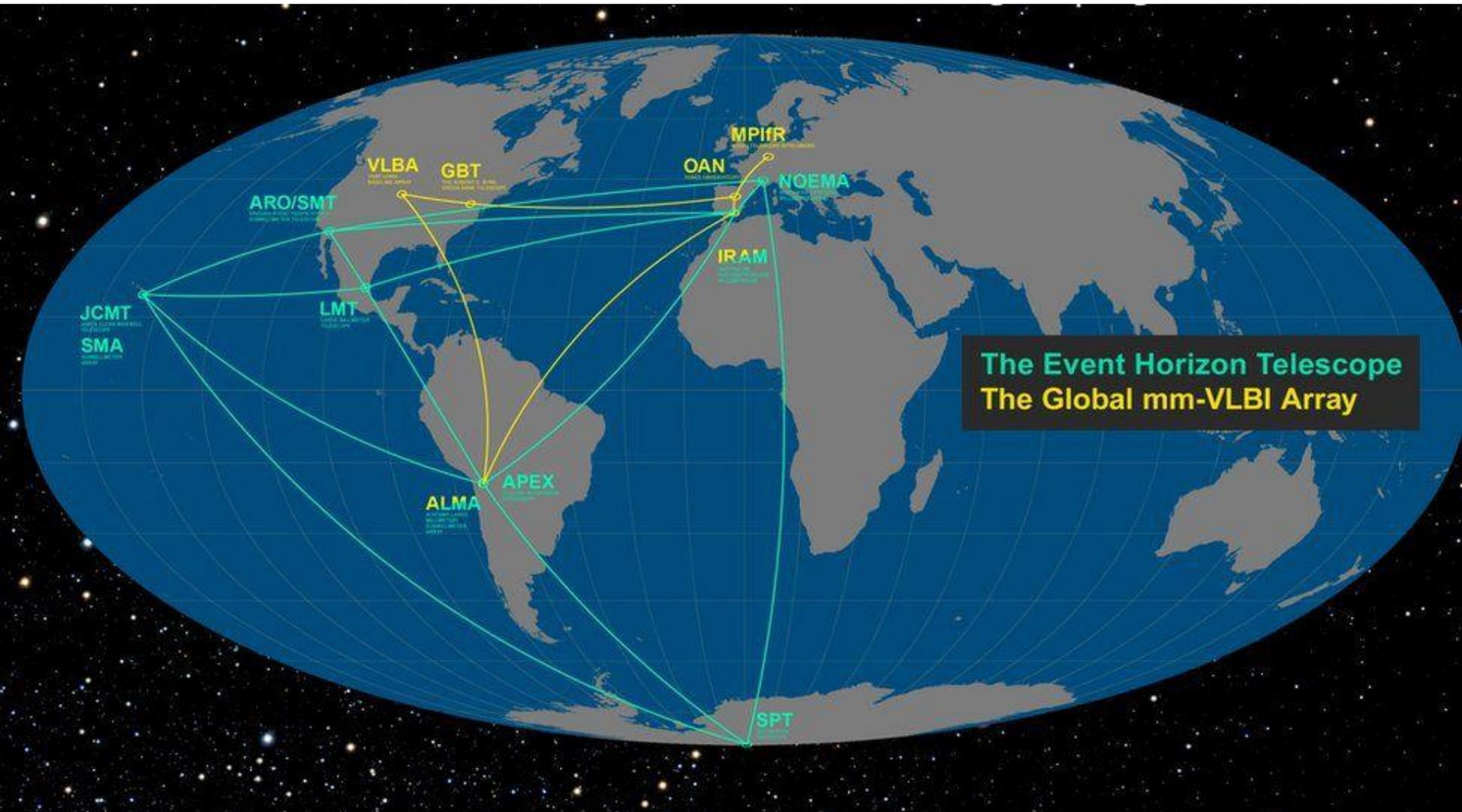
Nueve Radio Telescopios en el mundo altamente sincronizados.  
2 de ellos en Chile: ALMA y APEX.

Esta imagen muestra la importancia de los datos obtenidos en Chile  
con participación de científicos e ingenieros chilenos.



2 en Chile, Arizona, México, 2 en Hawaii, España, Polo Sur, Groenlandia (Dinamarca).

# Un ejemplo de colaboración global:





<http://mari-ucsc.blogspot.cl>



@Lab\_Astro\_UCSC

MUCHAS GRACIAS !