

Neutrinos cósmicos: una nueva ventana para observar el Universo



Juan Zúñiga - Juande Zornoza
IFIC(CSIC-Universitat de València)



IFIC Summer Student Programme 2016

Valencia, 18 de julio 2016

X-RAY

RADIO

OPTICAL

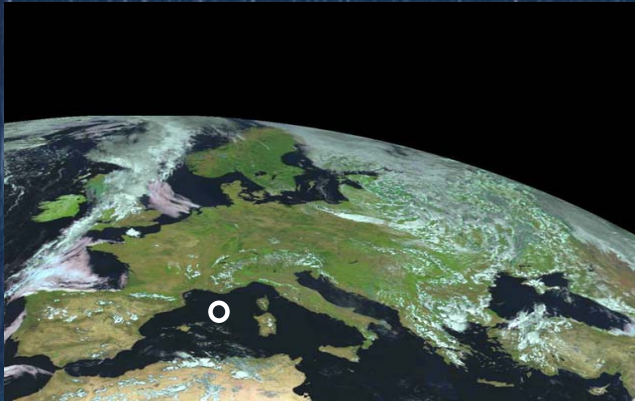
COMPOSITE

ANTARES

Colaboraciones ANTARES y KM3NeT



El detector ANTARES

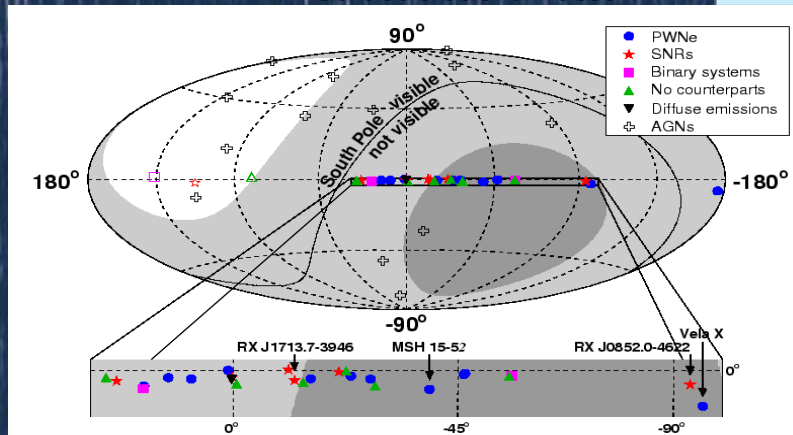


Los telescopios de neutrinos “miran hacia abajo”. ANTARES al estar en el Hemisferio Norte, puede observar el Centro Galáctico.

El detector ANTARES está situado en el mar Mediterráneo ($42^{\circ}50'N$, $6^{\circ}10'E$) a 2500 m de profundidad, cerca de la costa de Toulón (Francia).



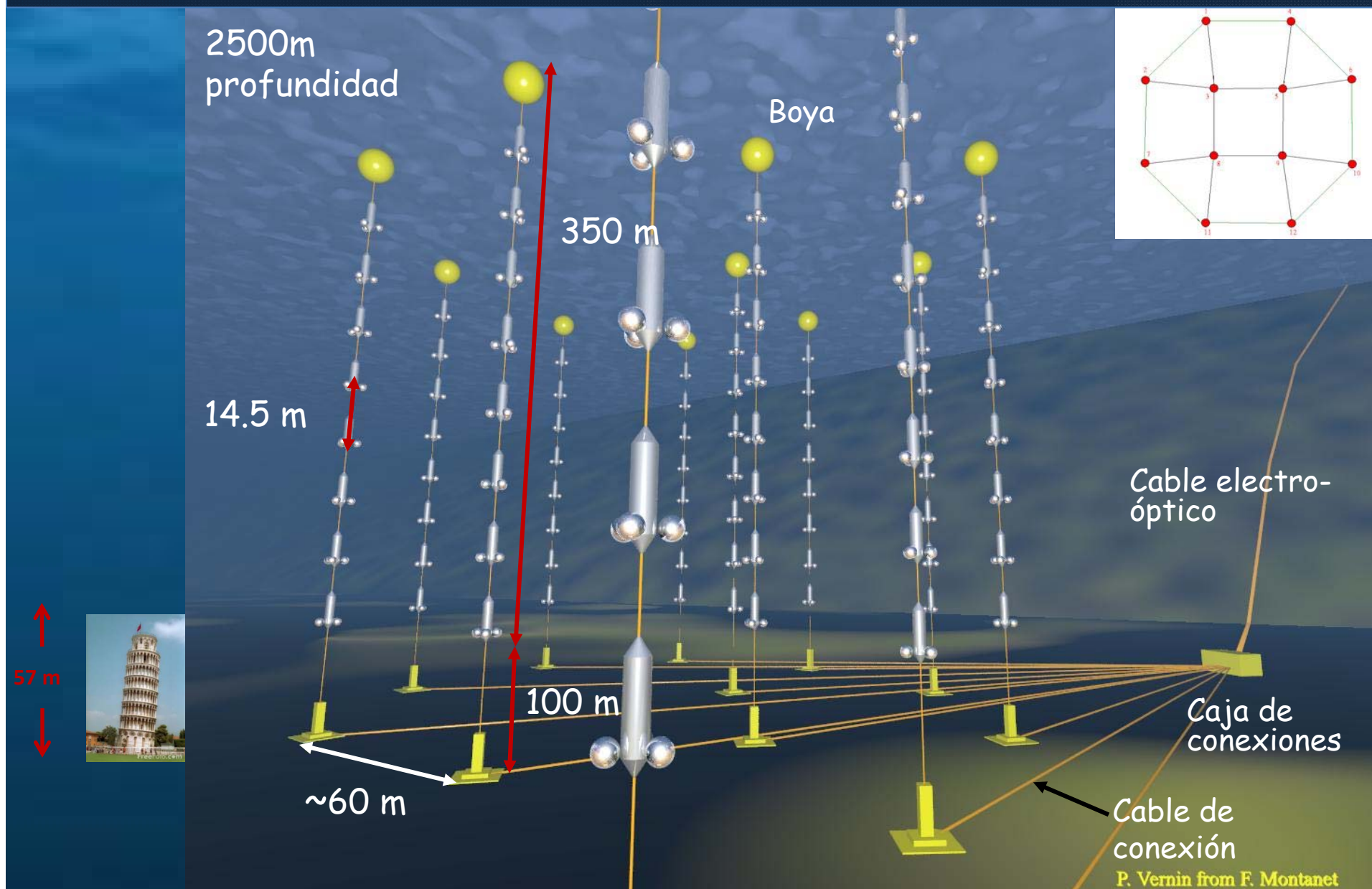
Galactic coordinates



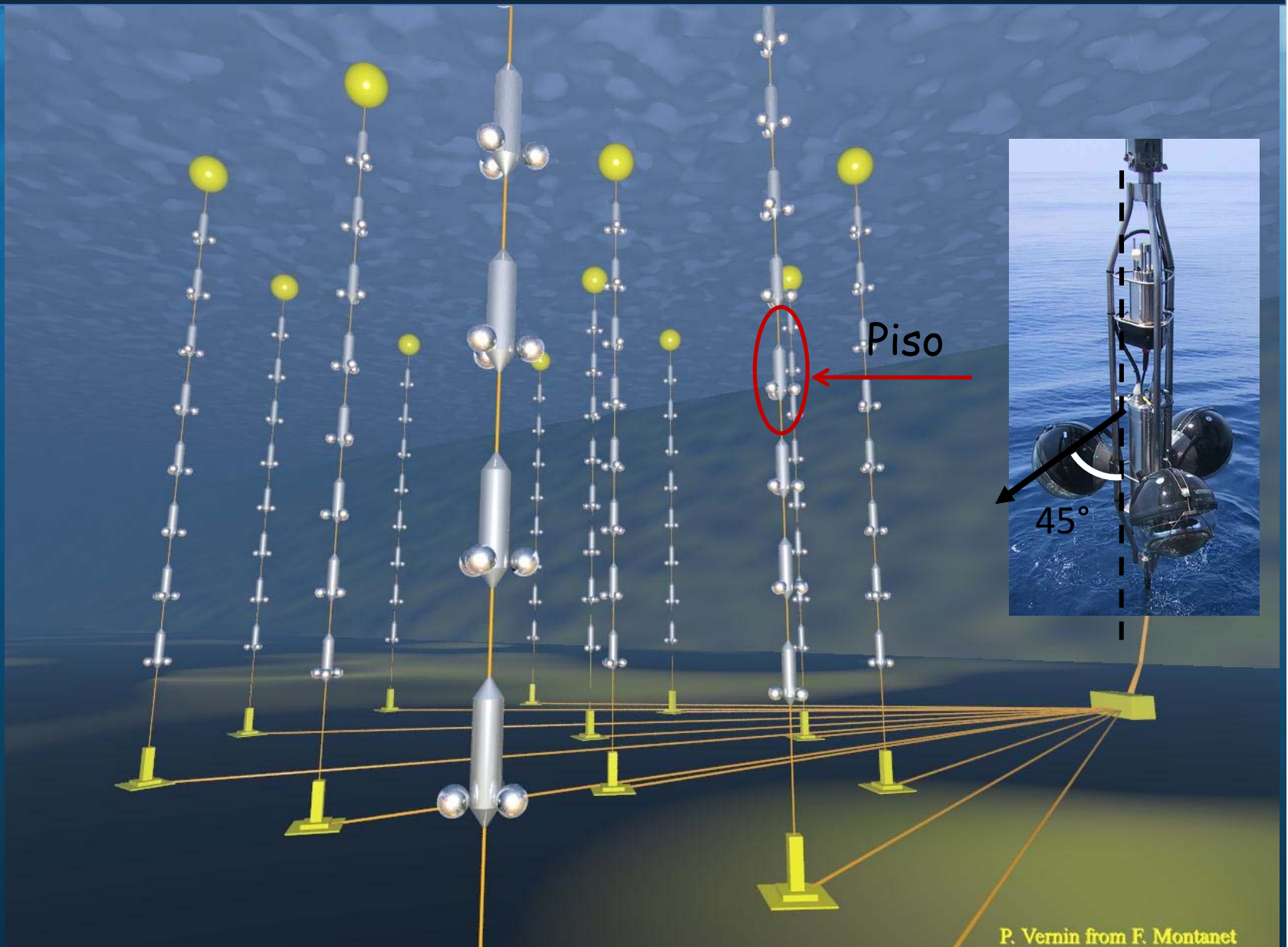
Estación de control en el Instituto M. Pacha



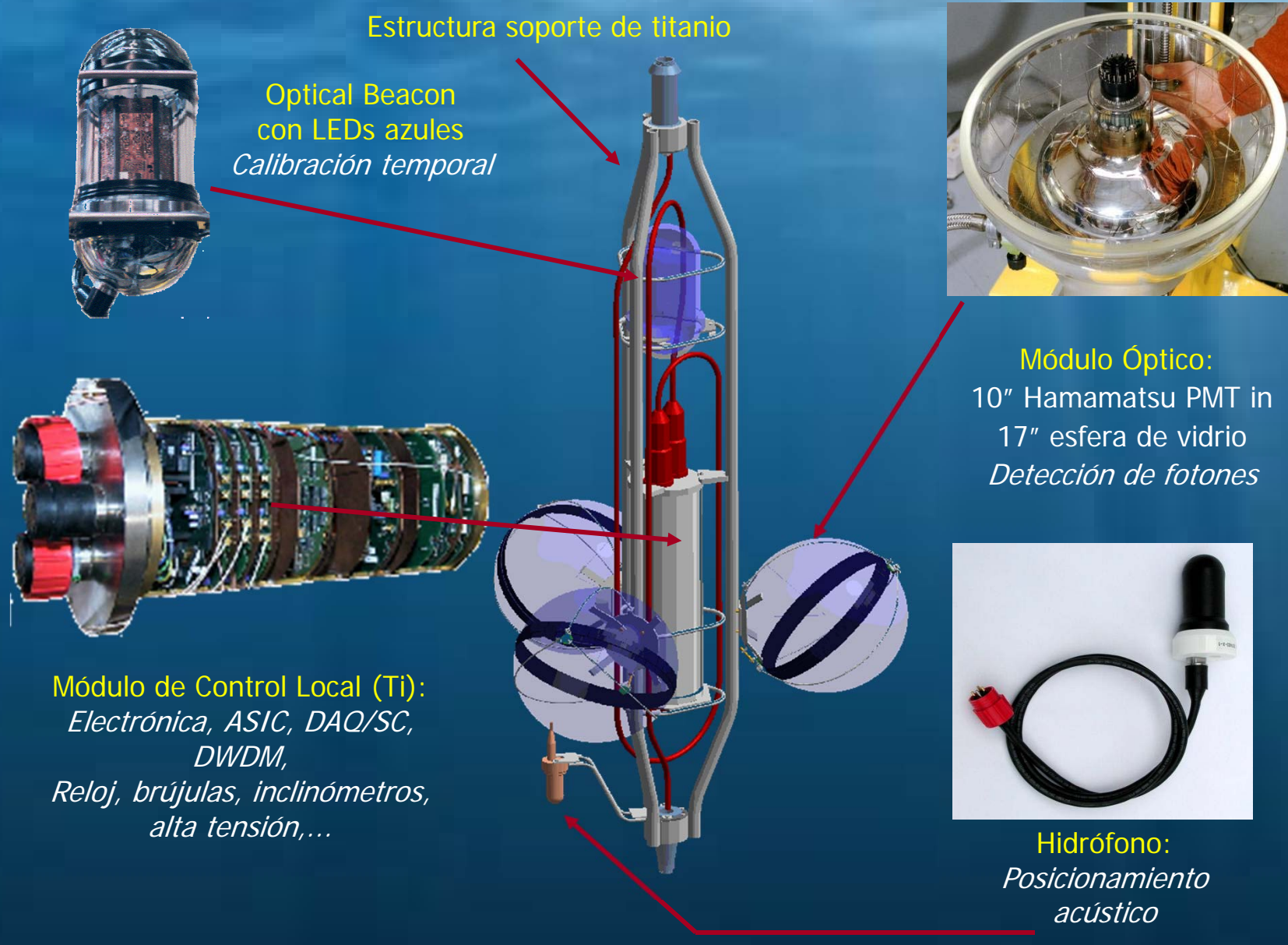
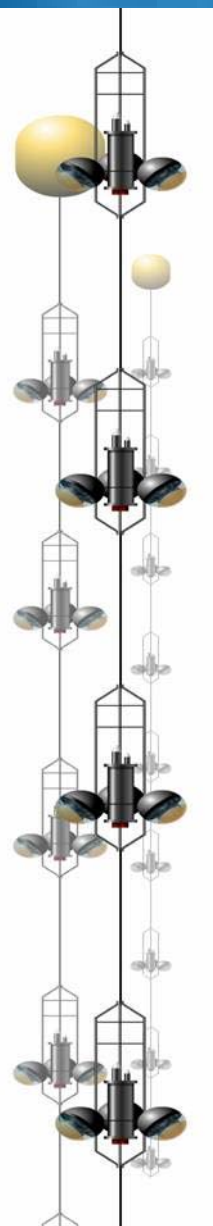
El detector ANTARES



El detector ANTARES



El detector ANTARES



Despliegue e Instalación



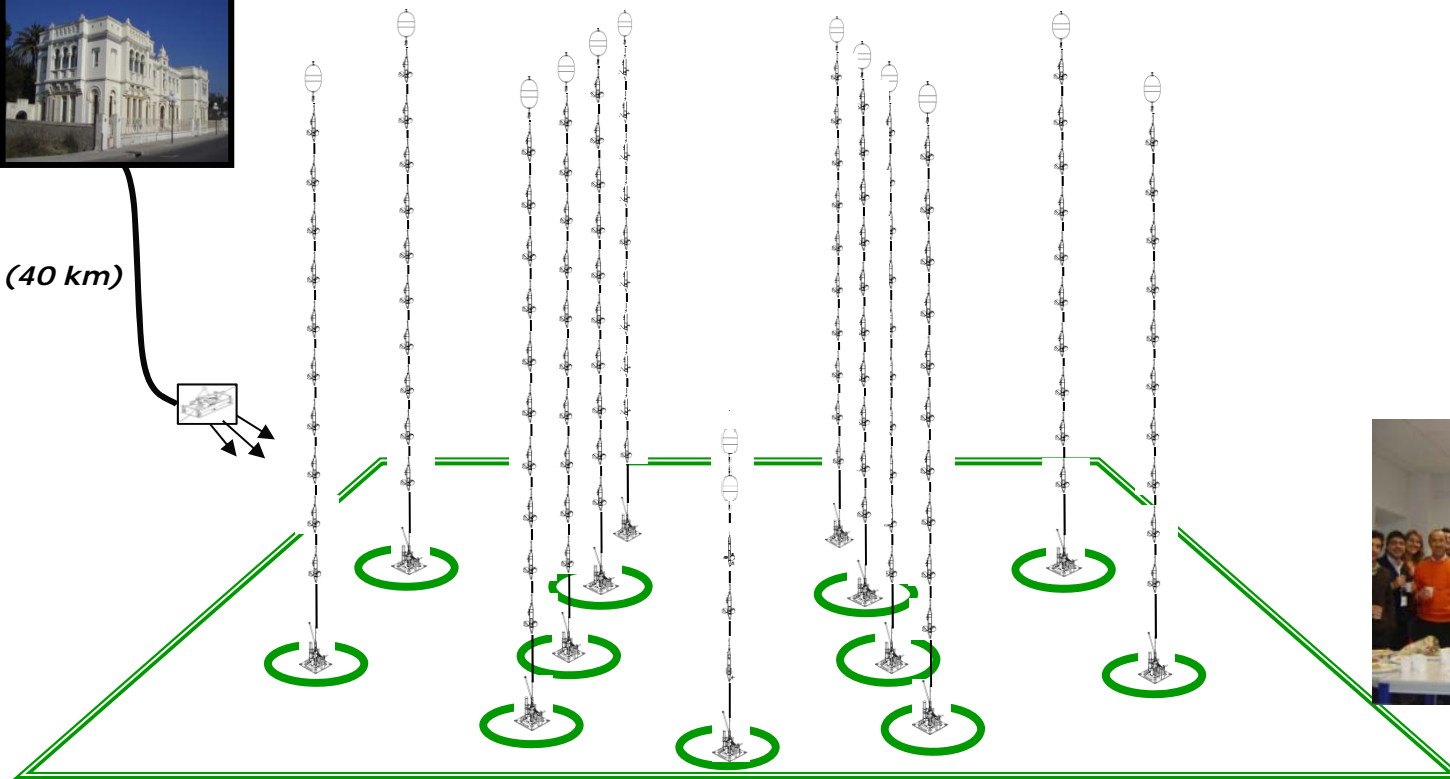
Data taking periods:

- **MILOM** : Mar '05 – Mar '06

La Seyne-sur-Mer



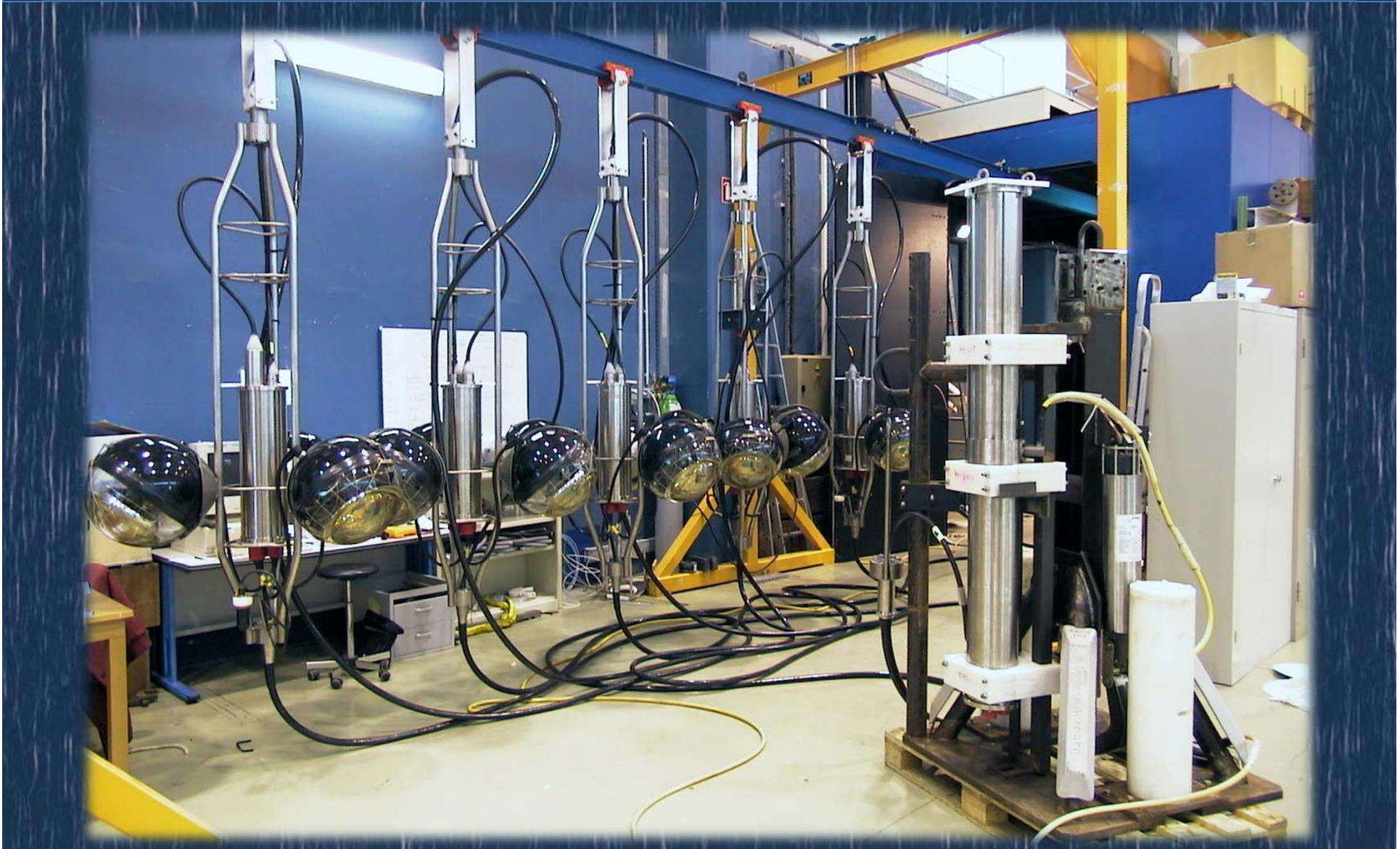
(40 km)



(2.5 km depth)



Integración

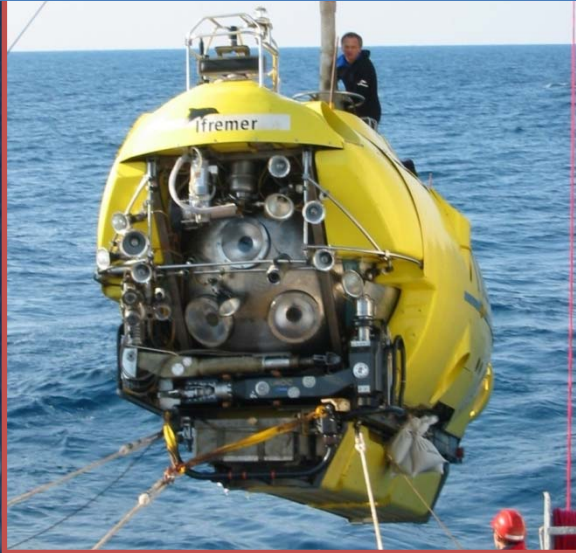


Instalación

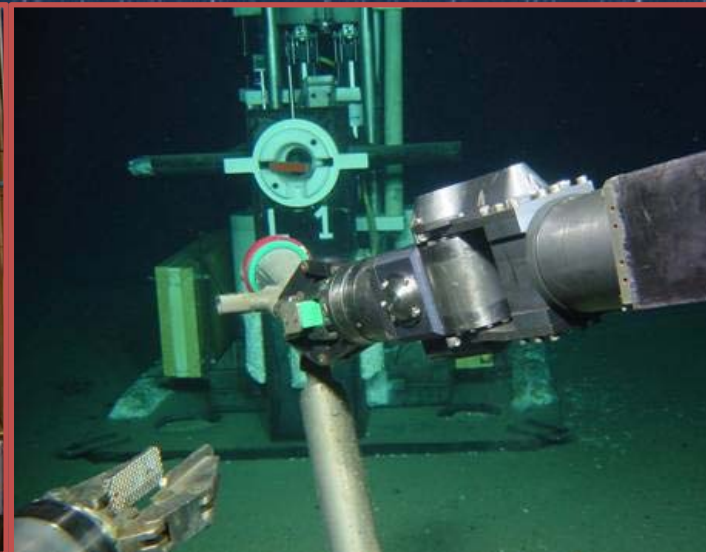


Conexión

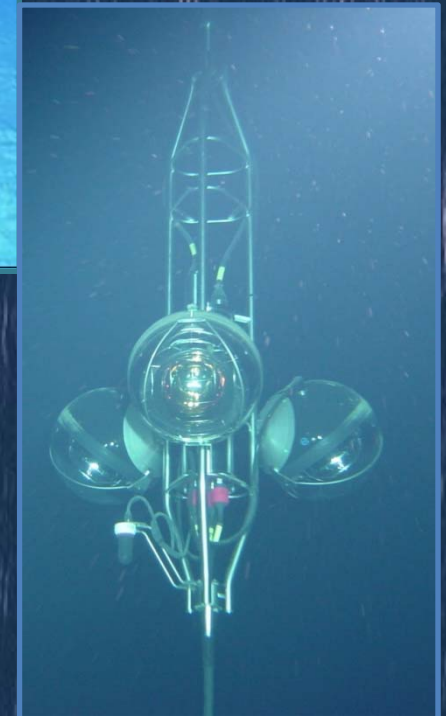
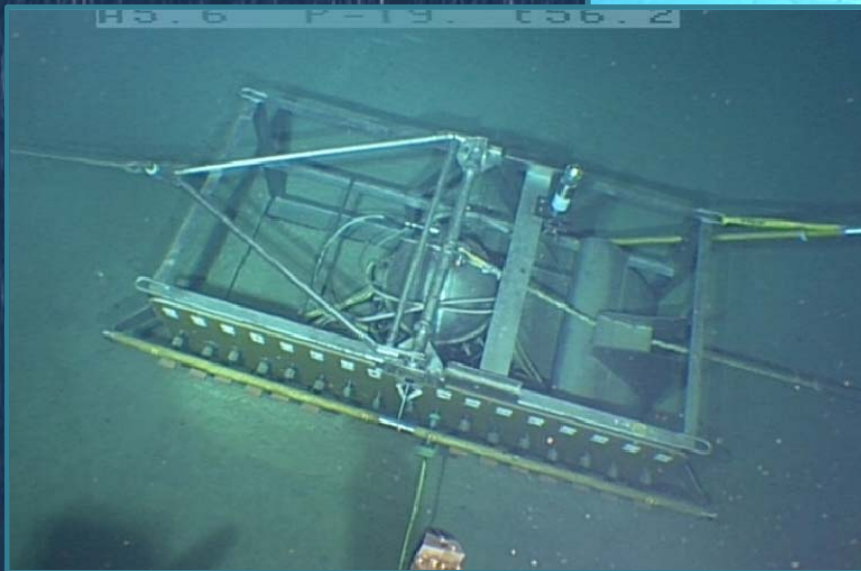
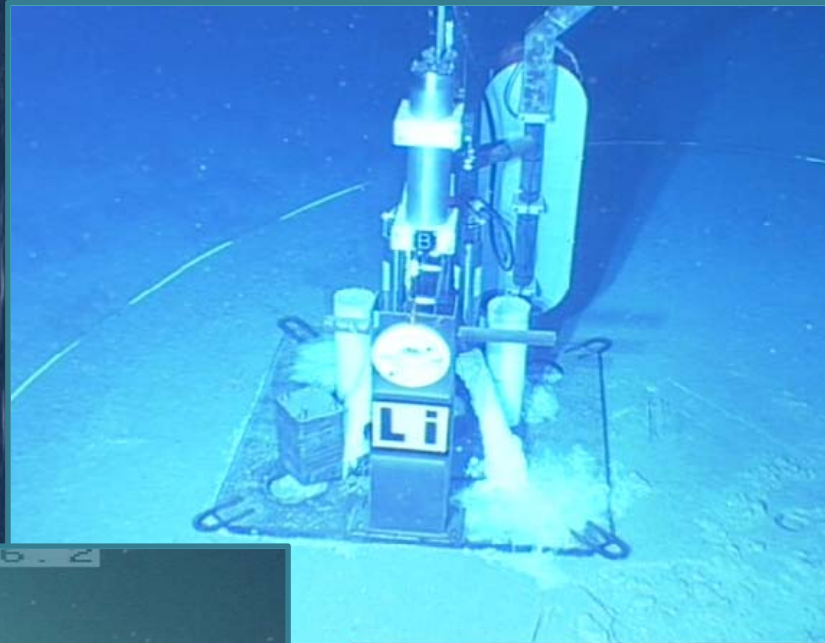
Nautilo
(tripulado)



Victor
(operado remotamente)

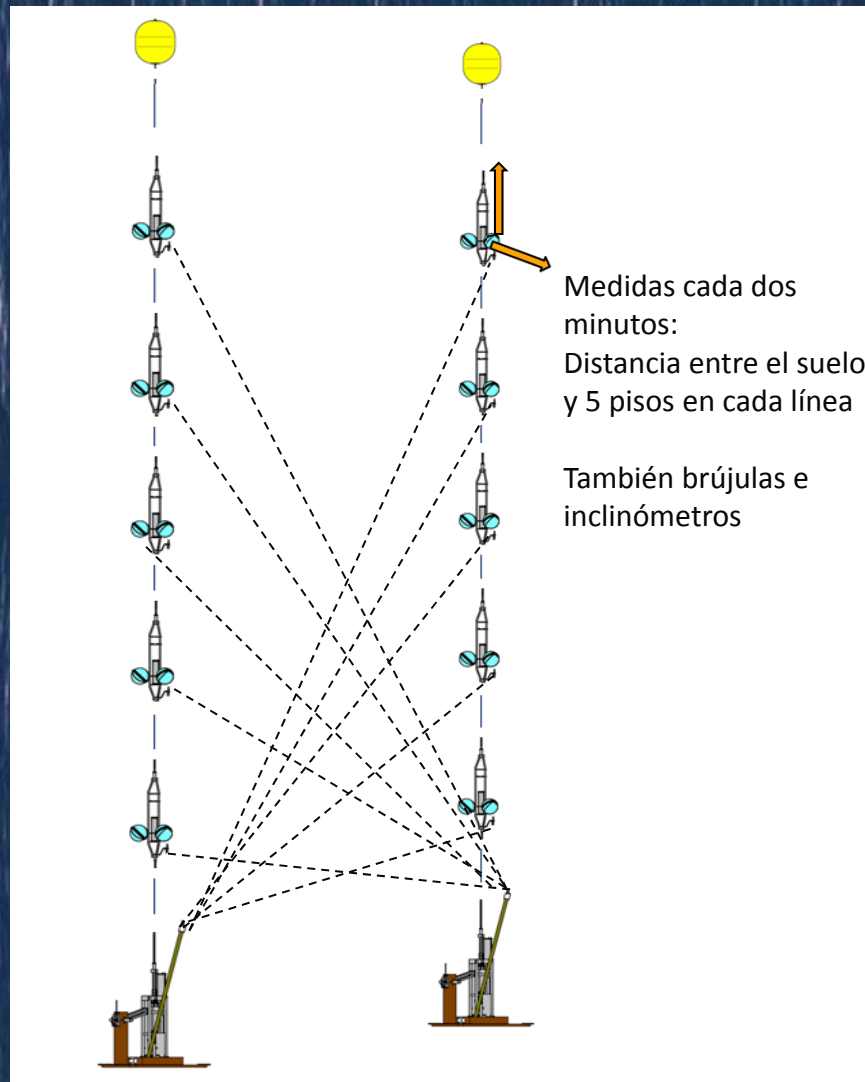


Imágenes desde el fondo marino



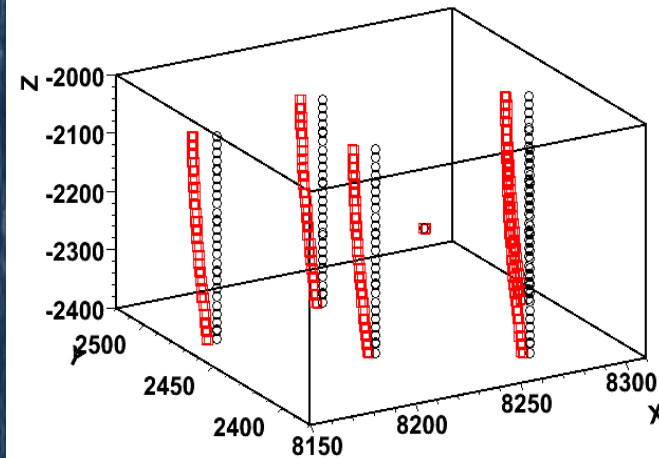


Posicionamiento acústico

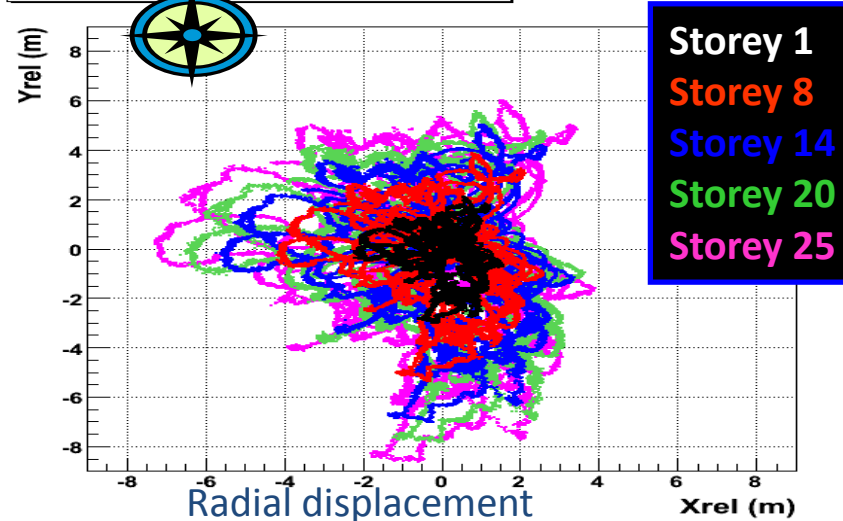


Precisión ~ varios cms

Geometry

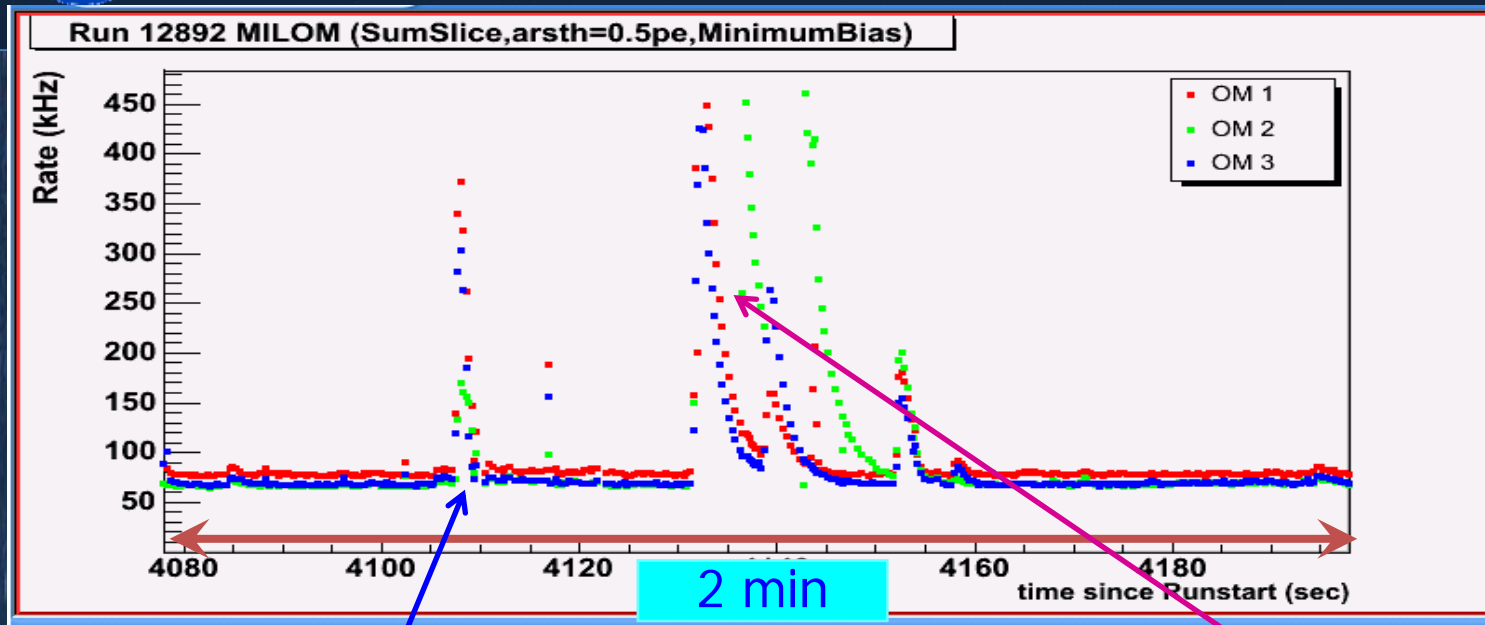


X vs Y for Line 4 modules

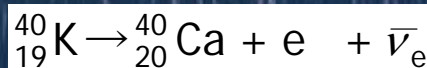




Contaminación óptica

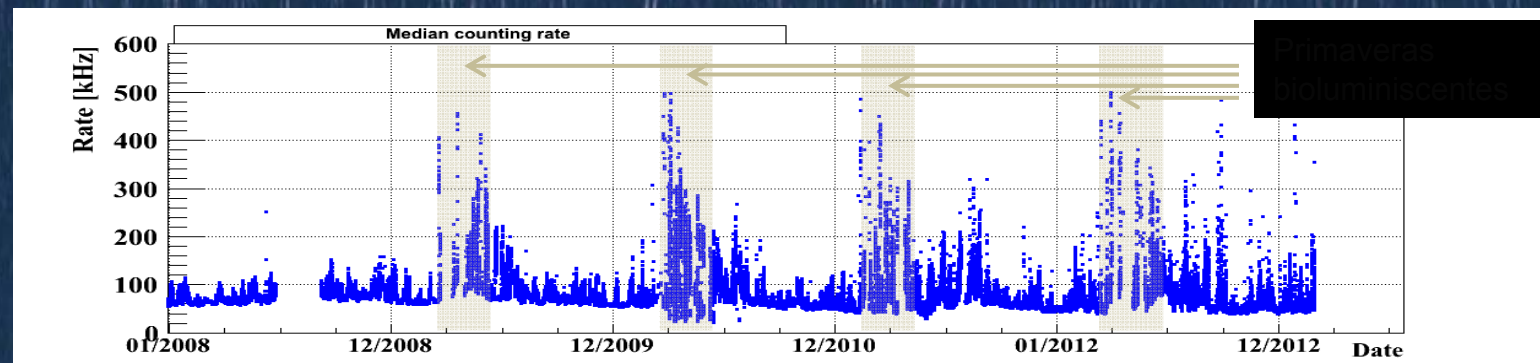
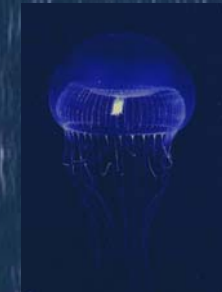


Fondo continuo (baseline) :
Radiactividad en el mar (^{40}K)
+ bioluminescencia de bacterias



^{40}K

Ráfagas:
Bioluminescencia de
organismos macroscópicos

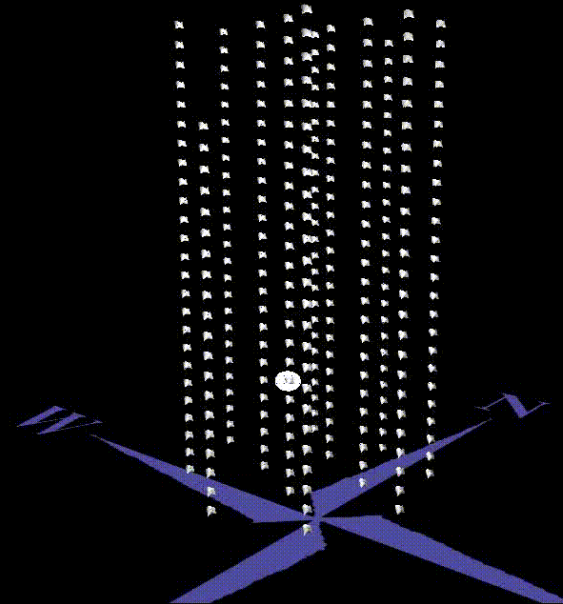


Multi muon event

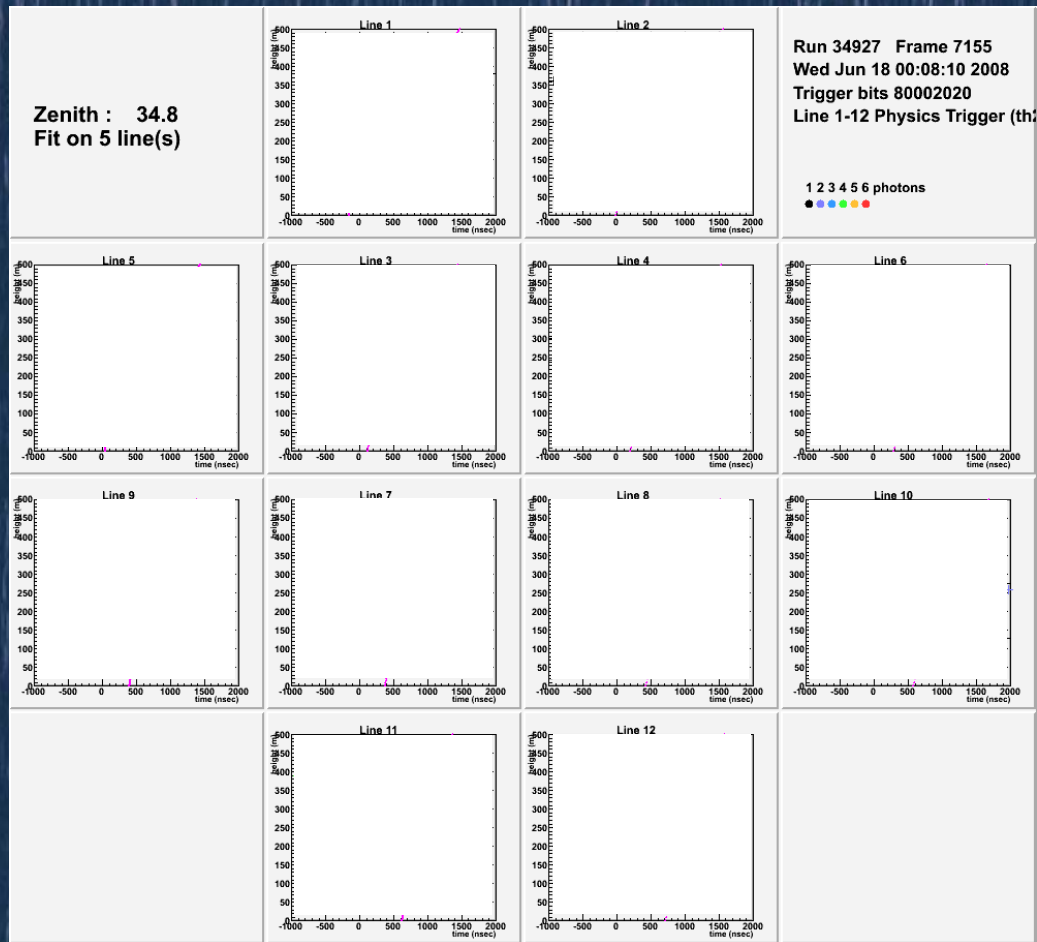


reconstructed down-going muon

Time [ns]: -140.40

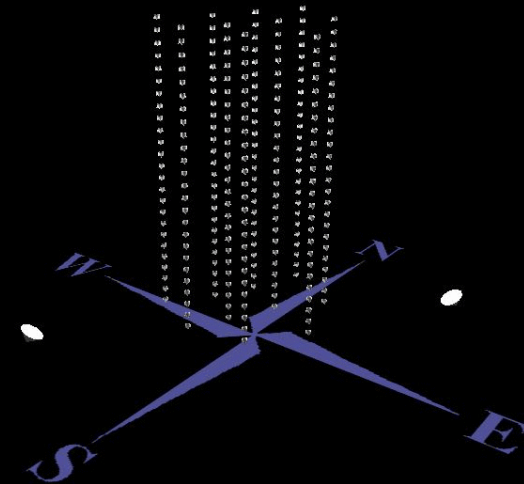


Neutrino en ANTARES



reconstructed up-going muon (i.e. a neutrino candidate) detected in 6/12 detector lines:

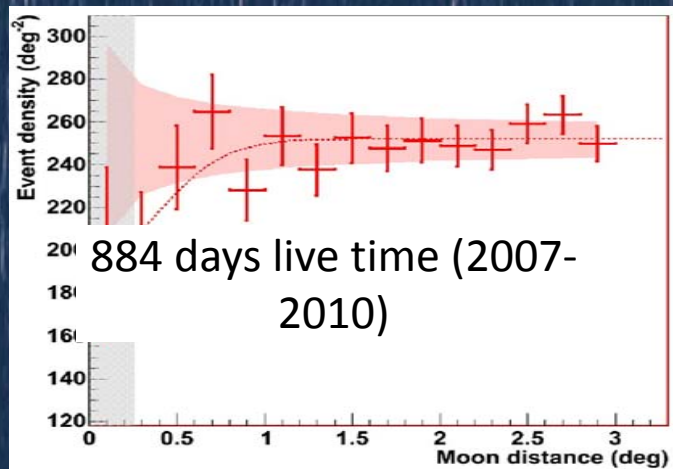
Time [ns]: -460.00



Medida de la posición

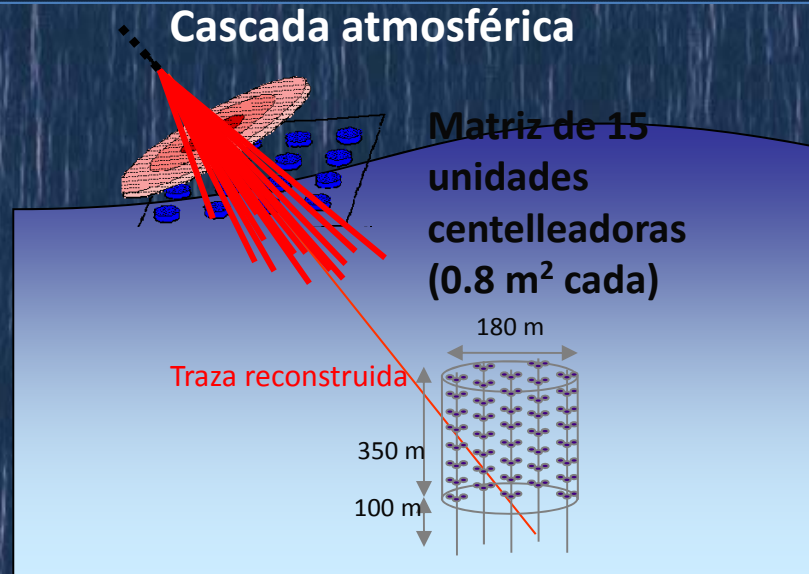


(La sombra de la luna)

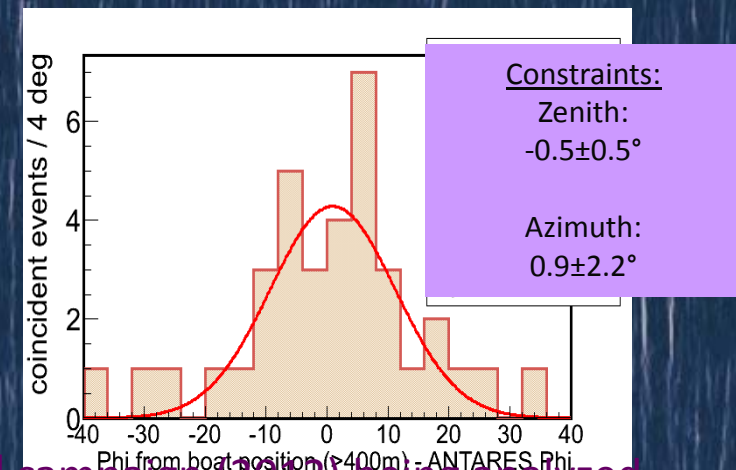


2.7 sigma significance (expected 2.1 ± 0.8)

Annual Average distribution of data taken



Results from 1st campaign: 17-23 Oct 11



2nd campaign (2012) being analyzed

Búsqueda de fuentes de neutrinos

ANTARES puede “observar” gran parte del cielo

Los neutrinos que vemos
¿son cósmicos o atmosféricos?

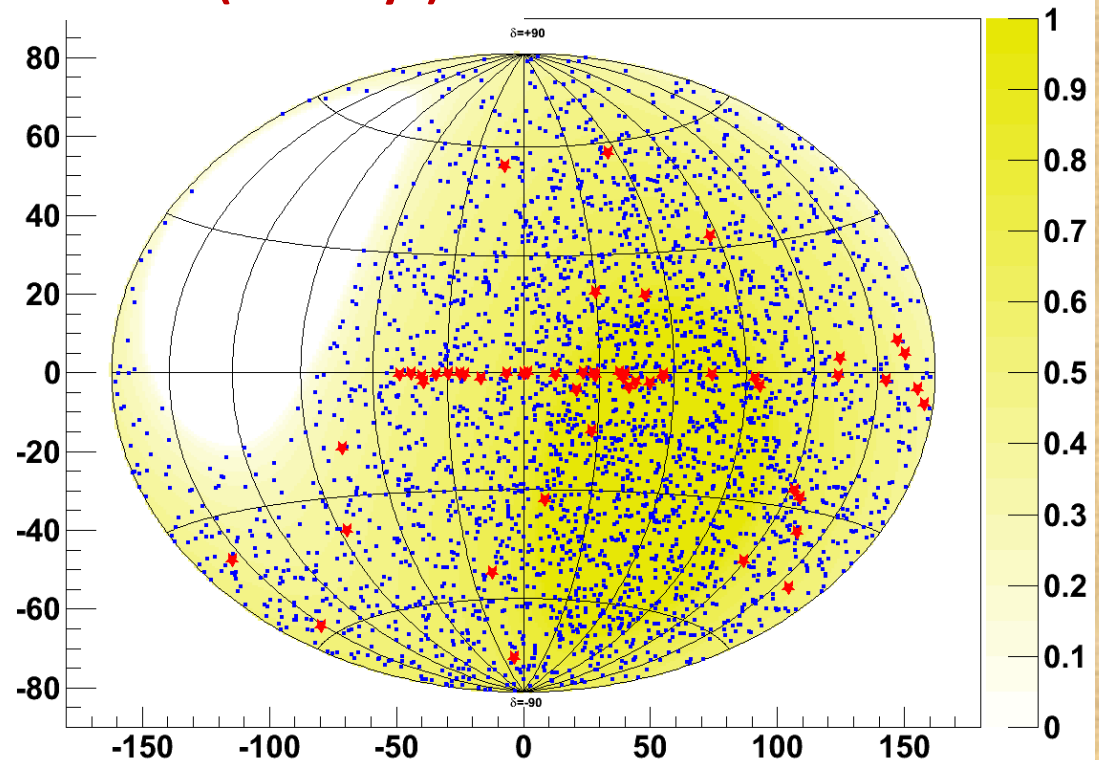
- Sucesos seleccionados (3058)
- ★ Posibles candidatos

Para ello, buscamos un
exceso de neutrinos:

¿Dónde?

- Globalmente
- En dirección de
fuentes interesantes

2007-2010 (813 days)

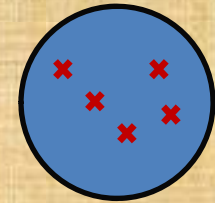


Búsqueda de fuentes de neutrinos

¿Cómo saber si se trata de neutrinos cósmicos?

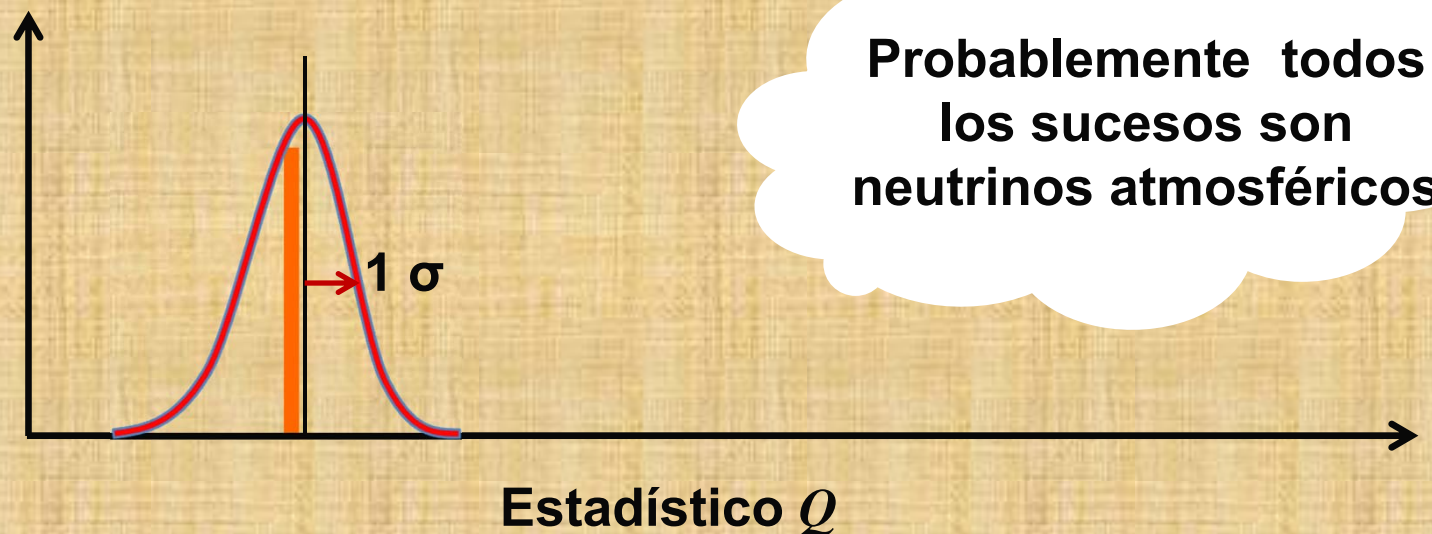
Con los datos obtenidos calculamos un “estadístico” Q

¿Cuál es la probabilidad de obtener ese valor?



Hipótesis: todos los neutrinos son atmosféricos

si el resultado es:



Búsqueda de fuentes de neutrinos

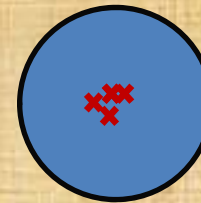
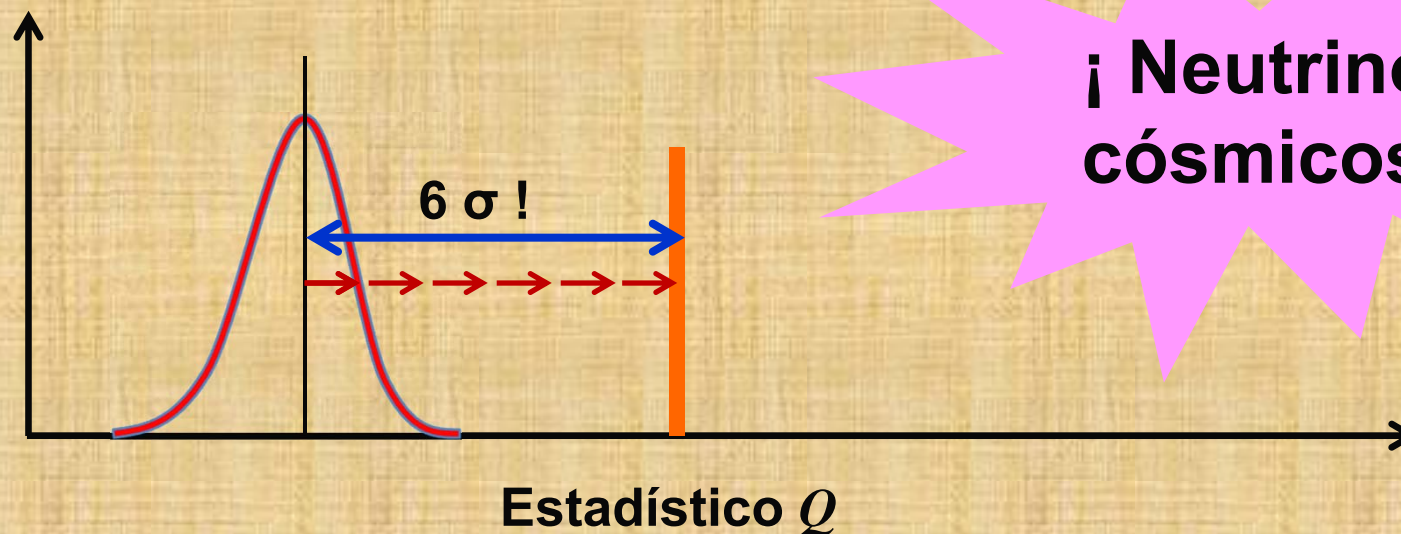
¿Cómo saber si se trata de neutrinos cósmicos?

Con los datos obtenidos calculamos un “estadístico” Q

¿Cuál es la probabilidad de obtener ese valor?

Pero si hay neutrinos cósmicos

y el resultado es:



**¡ Neutrinos
cósmicos !**

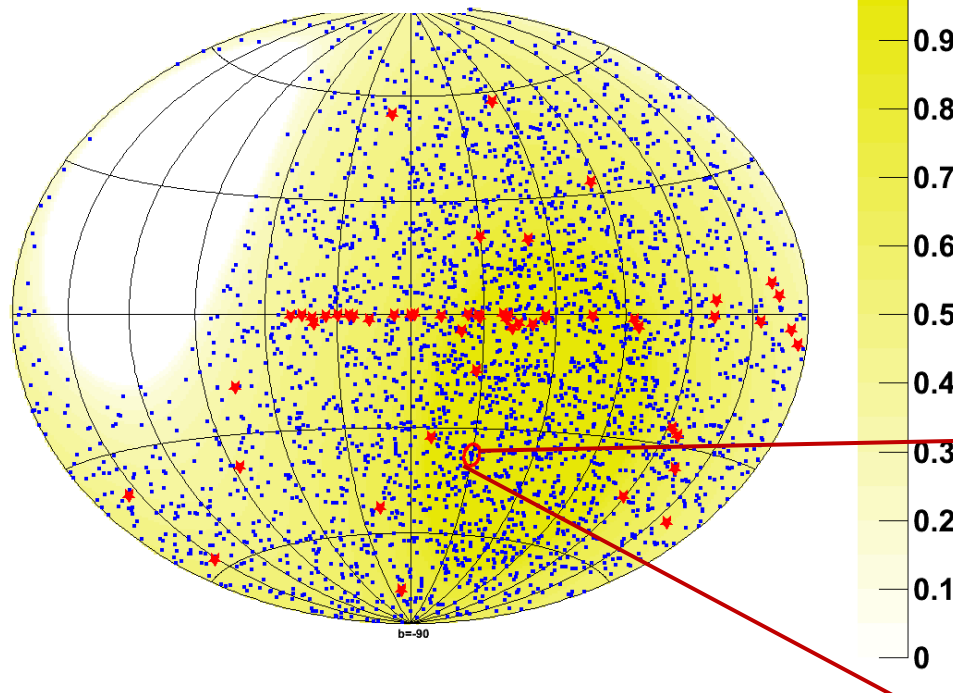
Búsqueda de fuentes de neutrinos

Mapa del cielo en coordenadas galácticas

El color de fondo indica la **visibilidad**

- Sucesos seleccionados (3058)
- ★ Posibles candidatos

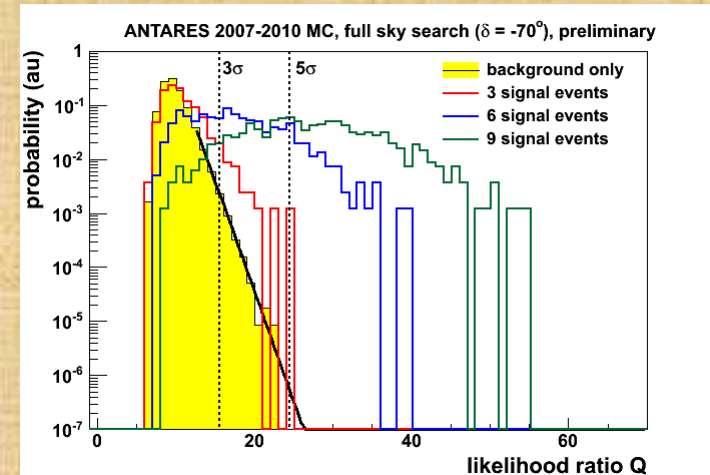
2007-2010 (813 days)



Cluster más significativo en:

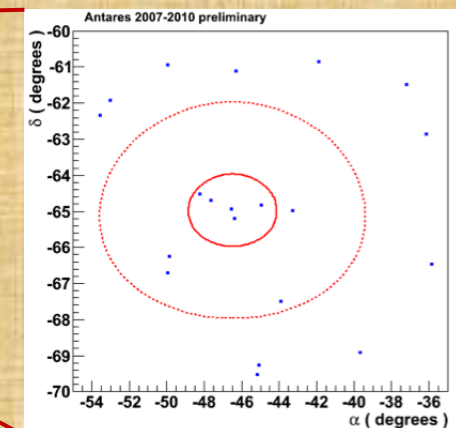
$\mathcal{R}A = -46.5^\circ$,
 $\delta = -65.0^\circ$

$N_{\text{sig}} = 5$ $Q = 13.02$
 Significance = 2.2σ

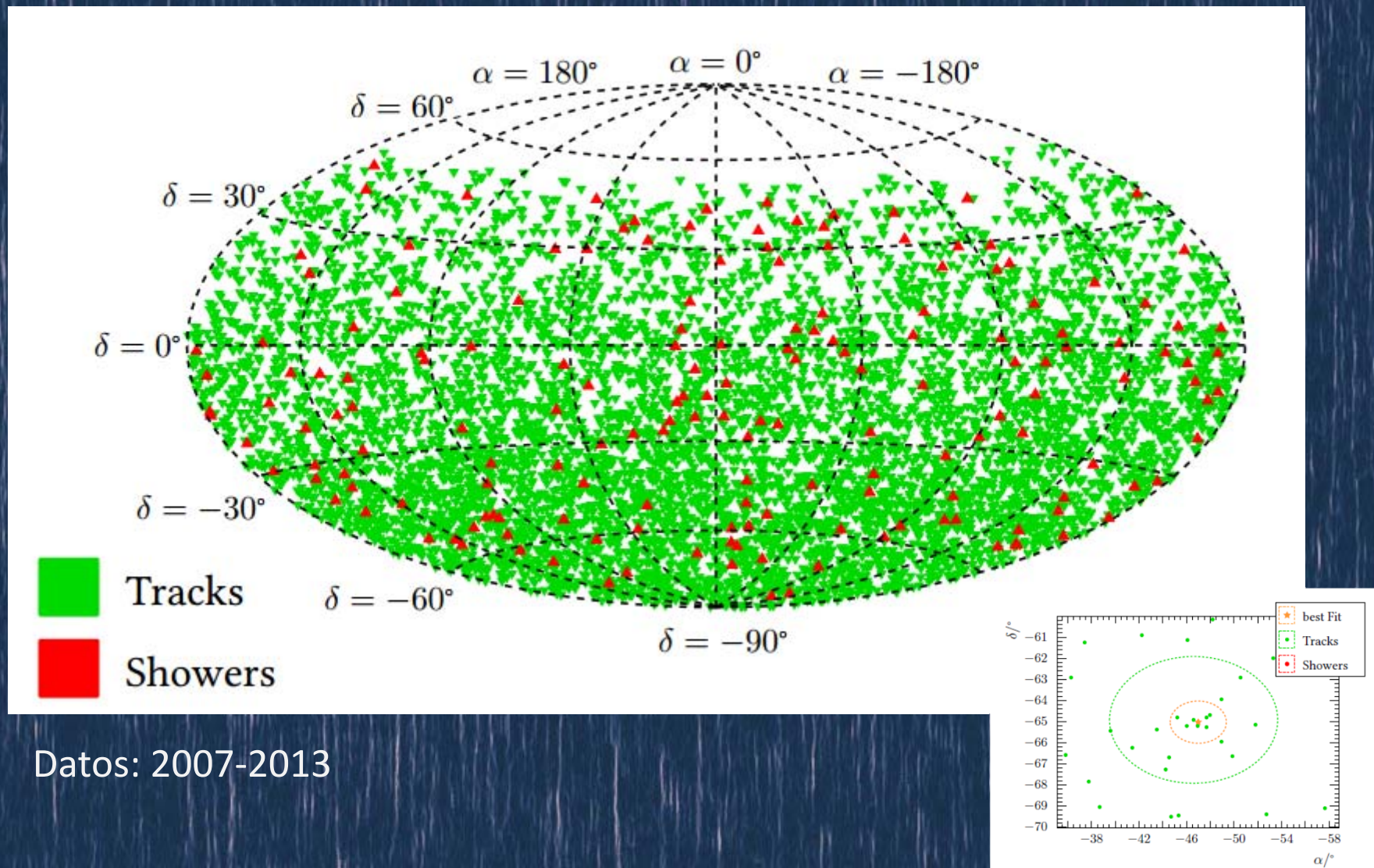


$$L_{s+b} = \sum_i \ln [\mu_s \mathcal{F}(\alpha_s, \delta_s) + \mathcal{B}(\delta_i)]$$

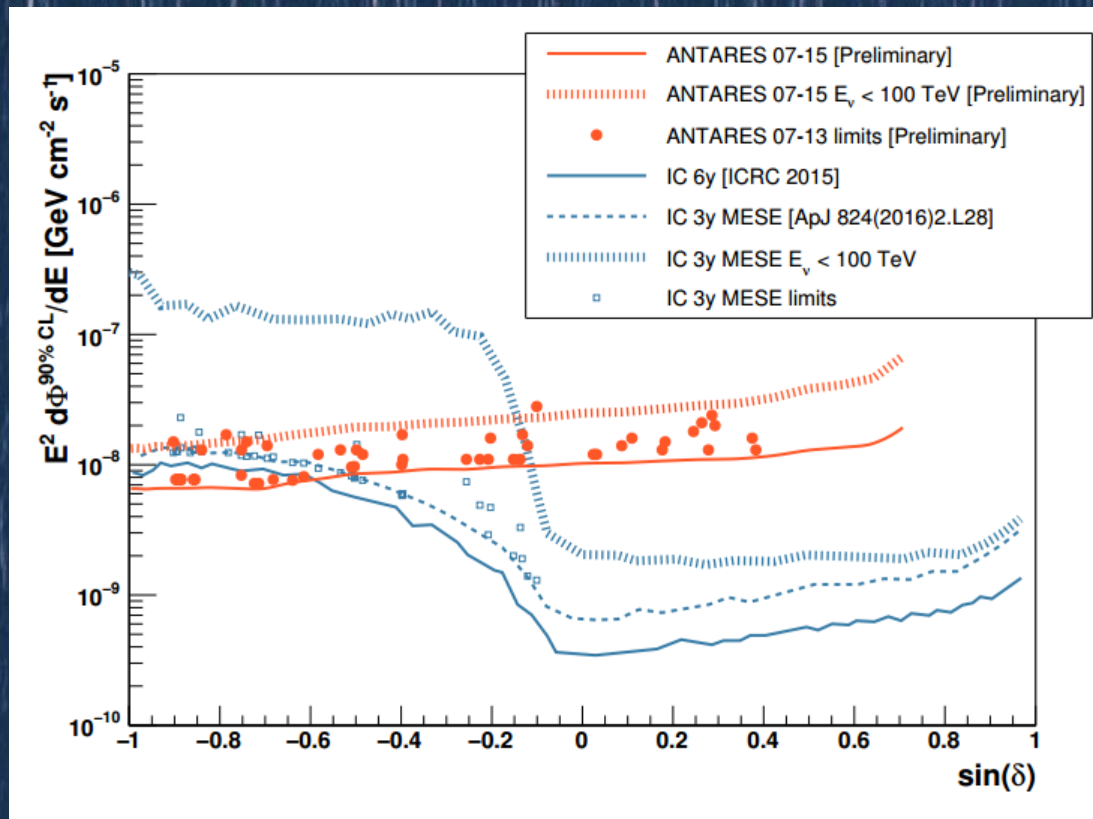
$$Q = L_{s+b}^{\text{max}} - L_b$$



El cielo de neutrinos



Límites en los flujos de neutrinos

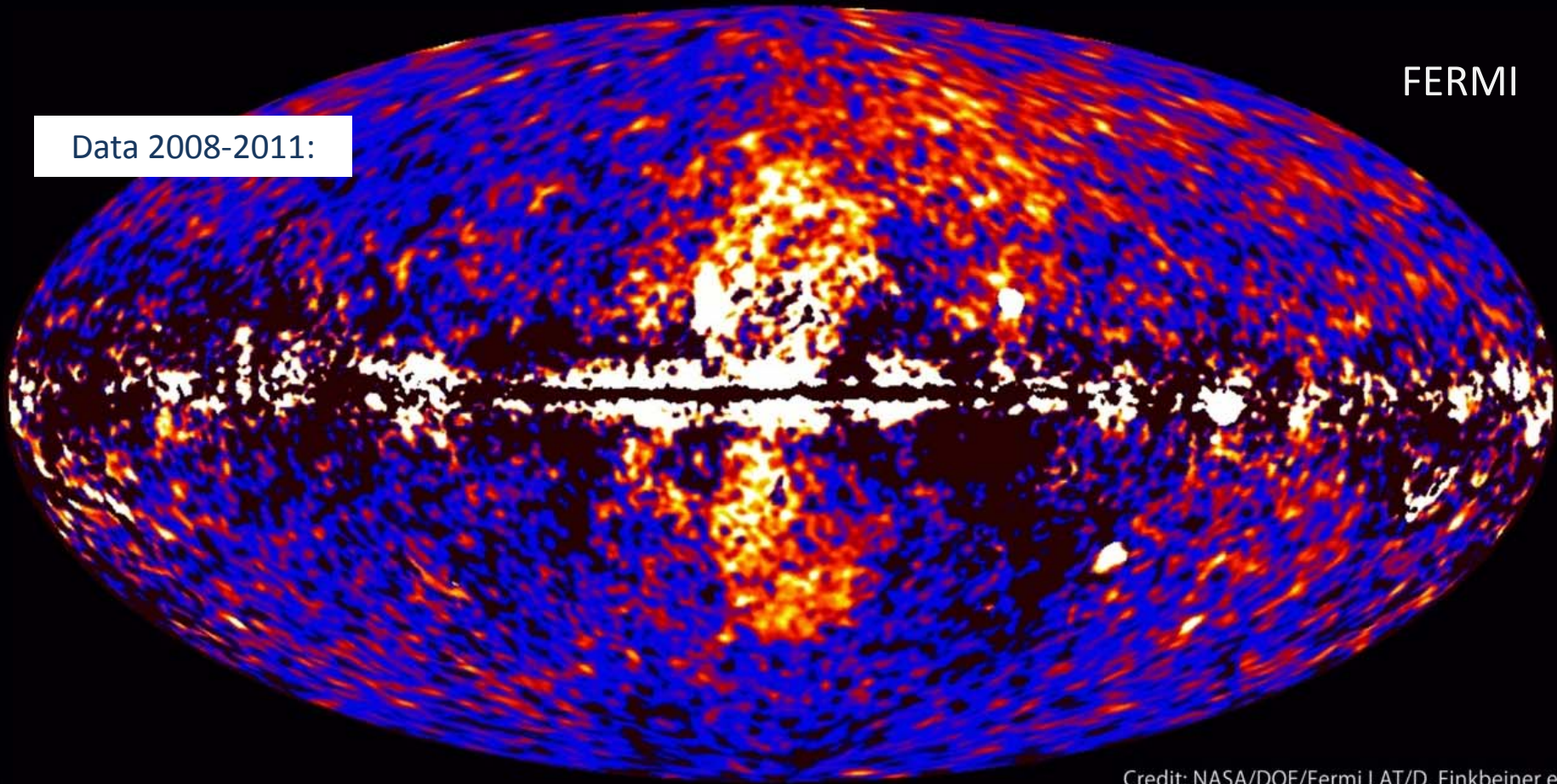


- Mejores límites para energías TeV-PeV para el Hemisferio Sur
- El umbral de IceCube para el Hemisferio Sur es de ~ 1 PeV

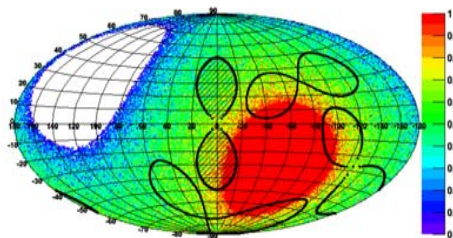
Fermi Bubbles

FERMI

Data 2008-2011:



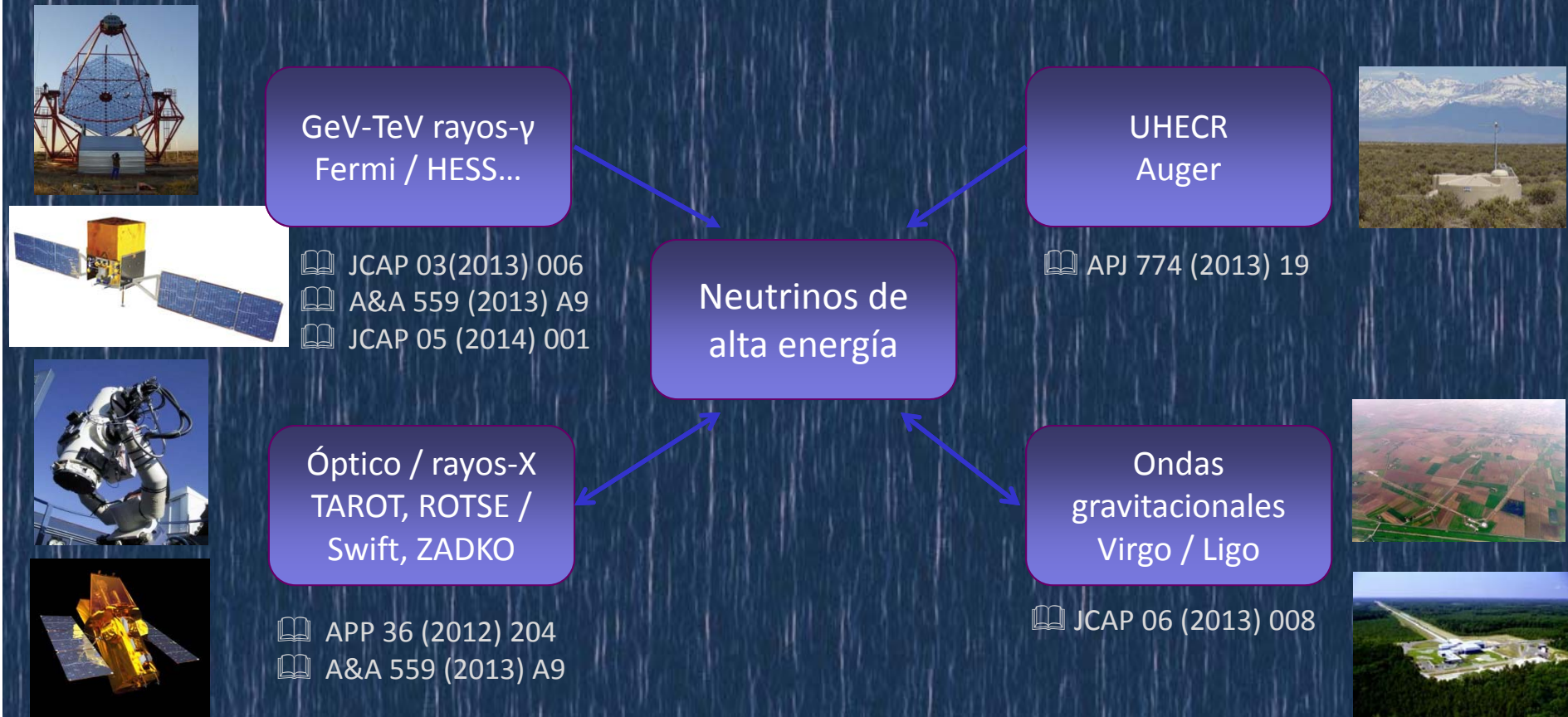
Credit: NASA/DOE/Fermi LAT/D. Finkbeiner et al.



No está claro el origen: podrían ser debidas a rayos cósmicos: se producirían neutrinos

$$N_{\text{fondo}} (\text{OFF}) = 33/3 = 11 \text{ sucesos}$$
$$N_{\text{obs}} = 16 \text{ sucesos}$$

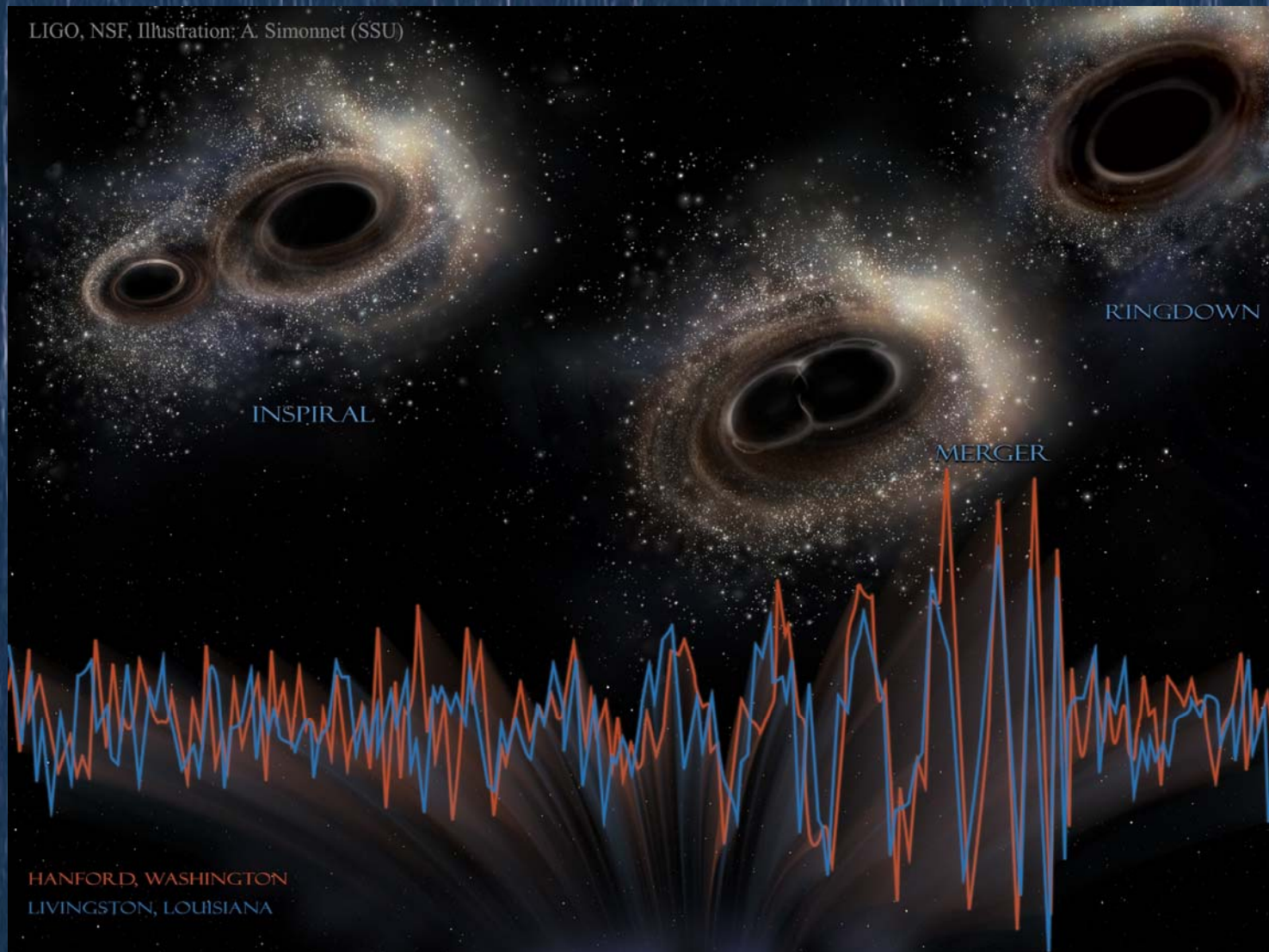
Multi-mensajeros



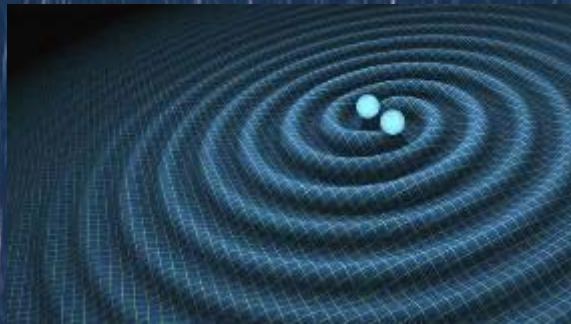
Incrementa las posibilidades de detección

- Fuentes comunes para distintos mensajeros
- Fondos y errores sistemáticos no correlacionados

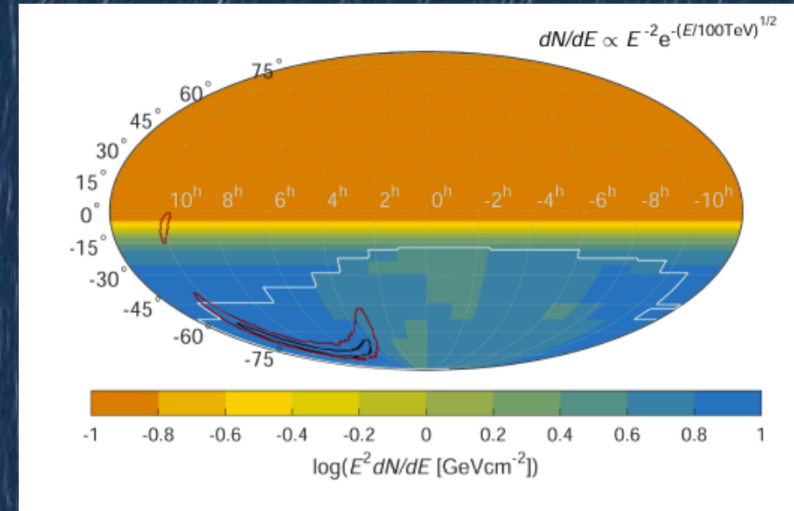
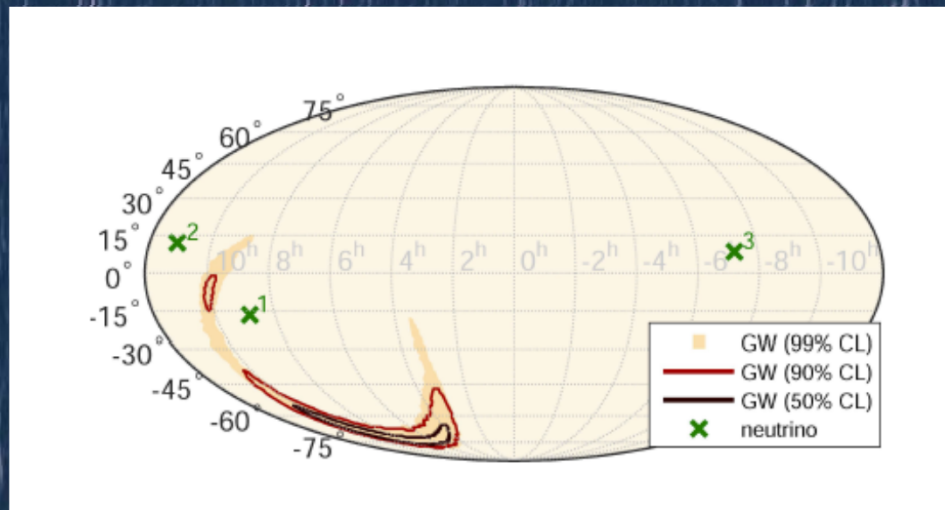
Ondas gravitacionales



Gravitational Waves



- Los telescopios de neutrinos ofrecen una cobertura casi completa del cielo y toman datos de manera continua: especial para eventos transientes
- Se ha realizado una búsqueda por parte de ANTARES y IceCube de sucesos correlacionados en tiempo y espacio con la onda gravitacional detectada por LIGO:
 - ANTARES: 0 sucesos
 - IceCube: 3 sucesos (según lo que espera del fondo)



Límites en el flujo de neutrinos

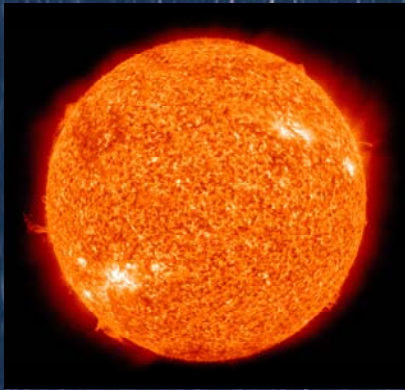
Materia oscura



- La materia oscura se puede acumular en objetos como el Sol, el Centro Galáctico, etc.
- Cuando se aniquilan, da lugar a partículas secundarias que producen neutrinos (de alta energía) al decaer
- Con los telescopios de neutrinos podemos ver esos neutrinos detectar la materia oscura

Fuentes para la búsqueda de materia oscura

Sol



Centro Galáctico



Galaxias enanas



Tierra

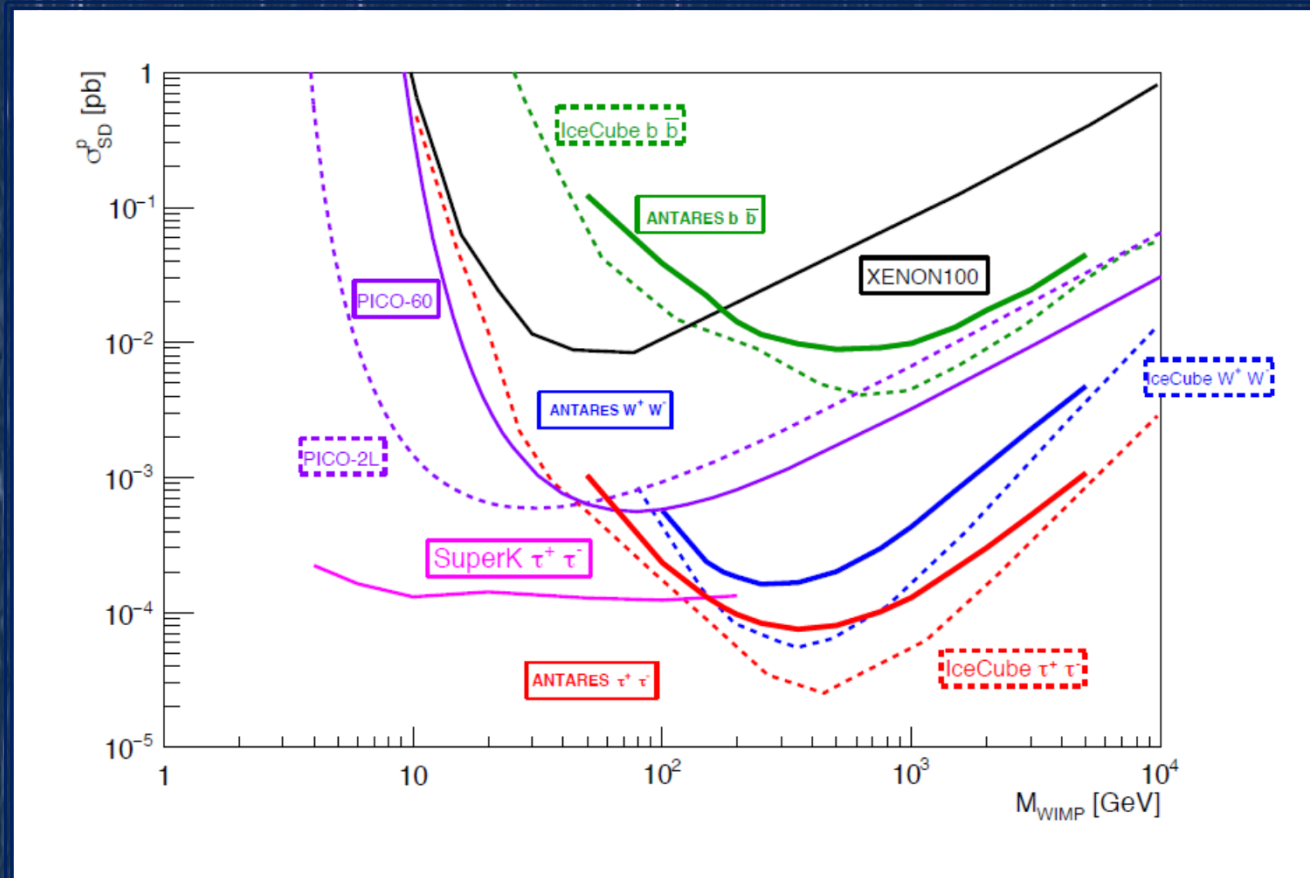


Halo galáctico

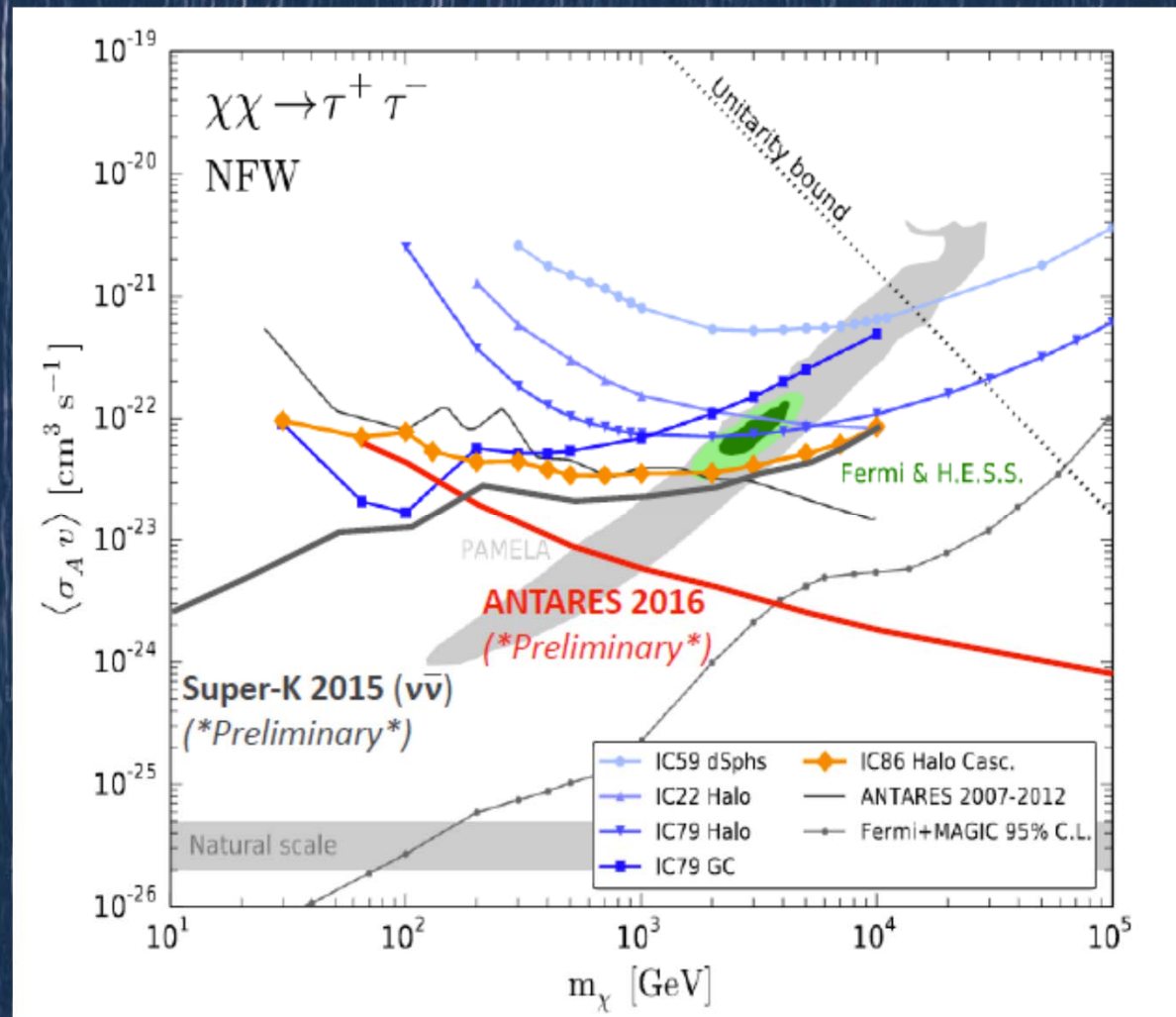


Cúmulos de galaxias

Materia oscura: el Sol



Materia oscura: Centro Galáctico



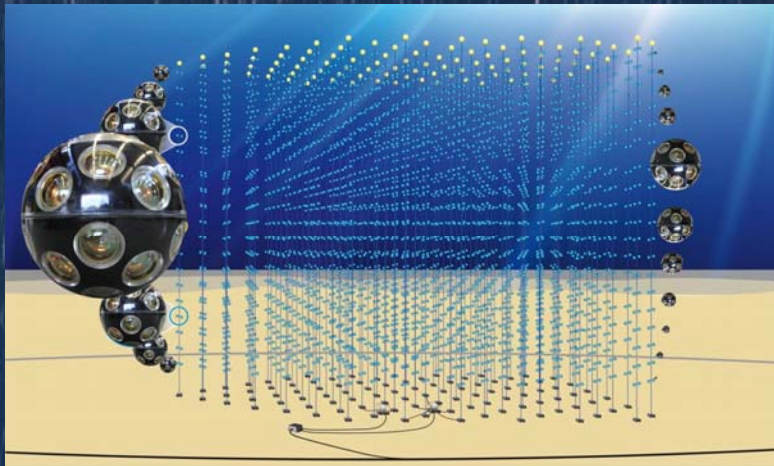
KM3NeT

KM3NeT

KM3NeT

Proyecto para la construcción de un telescopio de neutrinos distribuido de varios kilómetros cúbicos en el mar Mediterráneo.

Contribuciones paralelas para proyectos de biología marina, geofísica, oceanografía, etc.



- 30 Institutos de Física de Partículas y Astro-partículas
- 7 Institutos de Ciencias y tecnologías marinas
- 10 países europeos



2500 m
Toulon
PACA
France
ANTARES

3500 m
Capo Passero
Sicily
Italy
NEMO

4500-5200 m
Pylos
Peloponnese
Greece
NESTOR

Ya ha comenzado la instalación de las primeras líneas

KM3NeT

Vehículo Lanzador

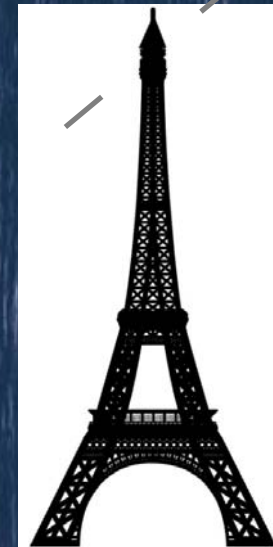


- *despliegue rápido*
- *recuperable*

Módulo óptico



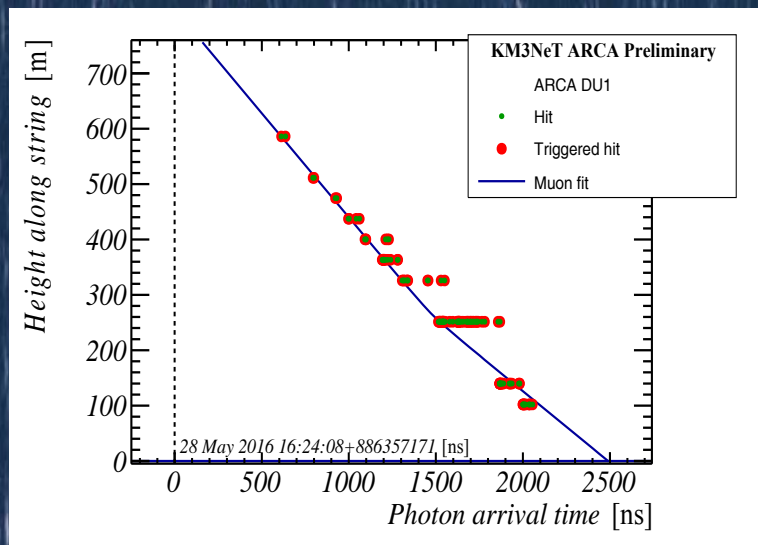
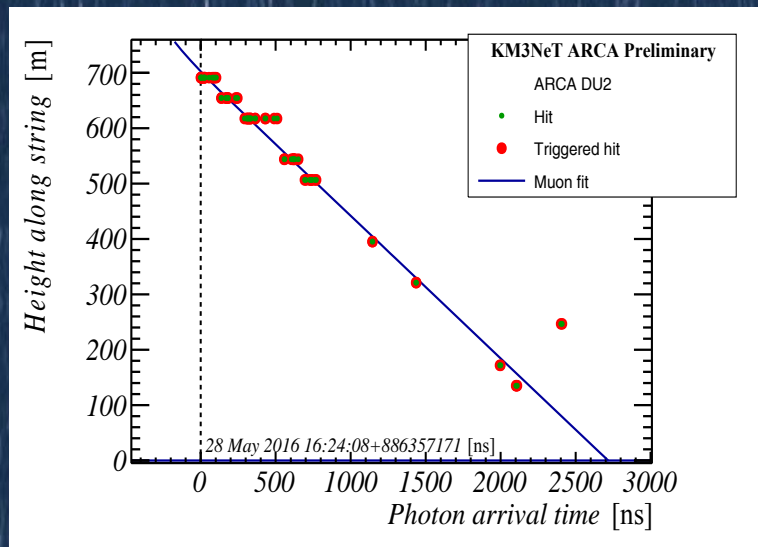
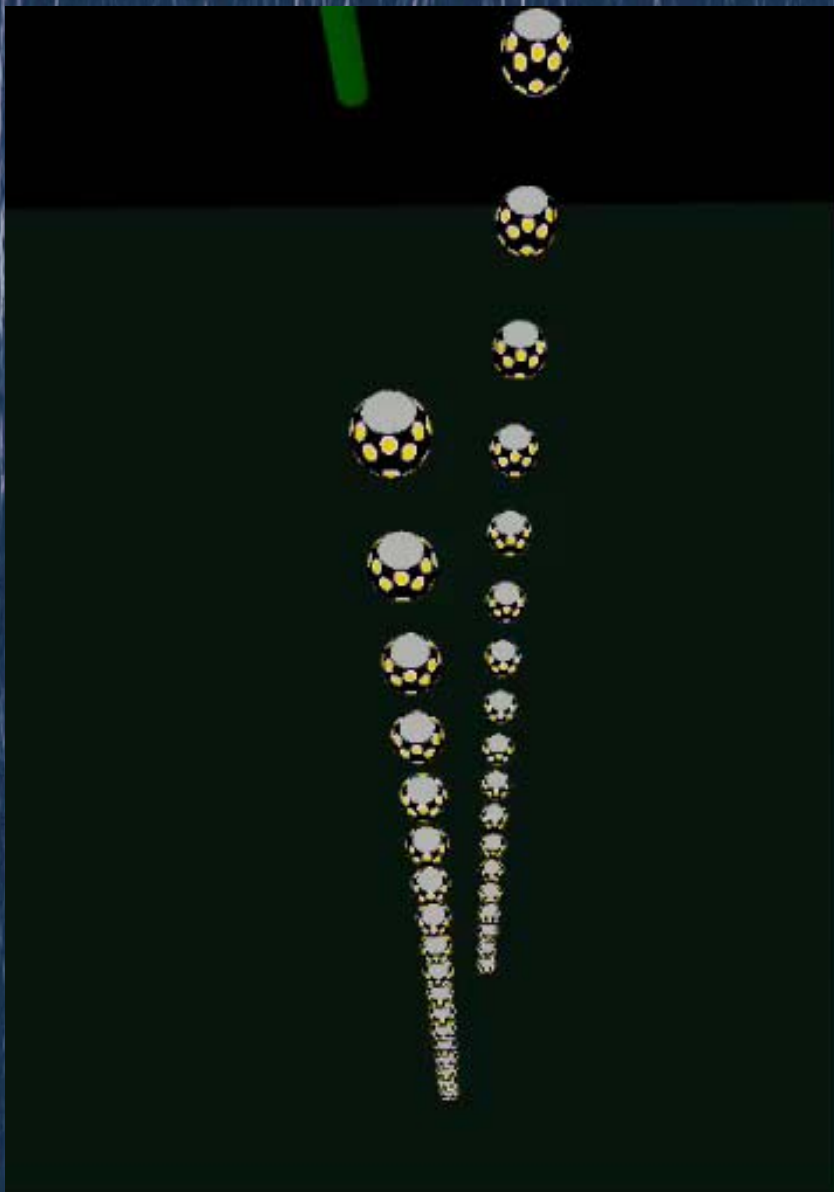
- *31 x 3" PMTs*
- *bajo consumo*
- *mejor rechazo de fondo*



First KM3NeT line in situ



Two-line events



Conclusiones

- ❑ La Astronomía de Neutrinos se está convirtiendo en una **potente herramienta** para la Astrofísica y la Física de Partículas
- ❑ **IceCube**, el primer detector de un kilómetro cúbico, ha mostrado las **primeras evidencias** de neutrinos cósmicos de alta energía
- ❑ **ANTARES**, en el Hemisferio Norte, ha demostrado la viabilidad de los telescopios de neutrinos submarinos. Los datos tomados desde 2008 han proporcionado **multitud de resultados** de Física.
- ❑ El **siguiente paso** ya se ha empezado a dar: **KM3NeT**, que será el mejor telescopio de neutrinos del mundo por su tamaño, localización y medio en el que está instalado
- ❑ Físicos e ingenieros del **IFIC** llevan años contribuyendo de manera **fundamental** en este esfuerzo

