



EXCELENCIA
SEVERO
OCHOA

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



ANTARES

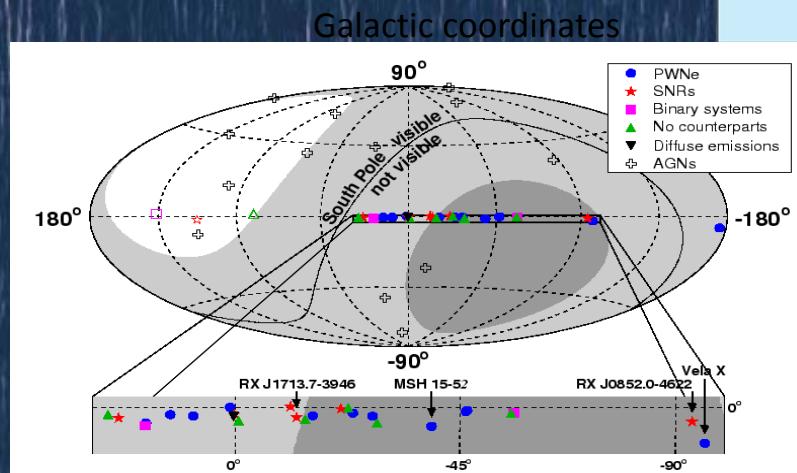
Colaboraciones ANTARES y KM3NeT



El detector ANTARES



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



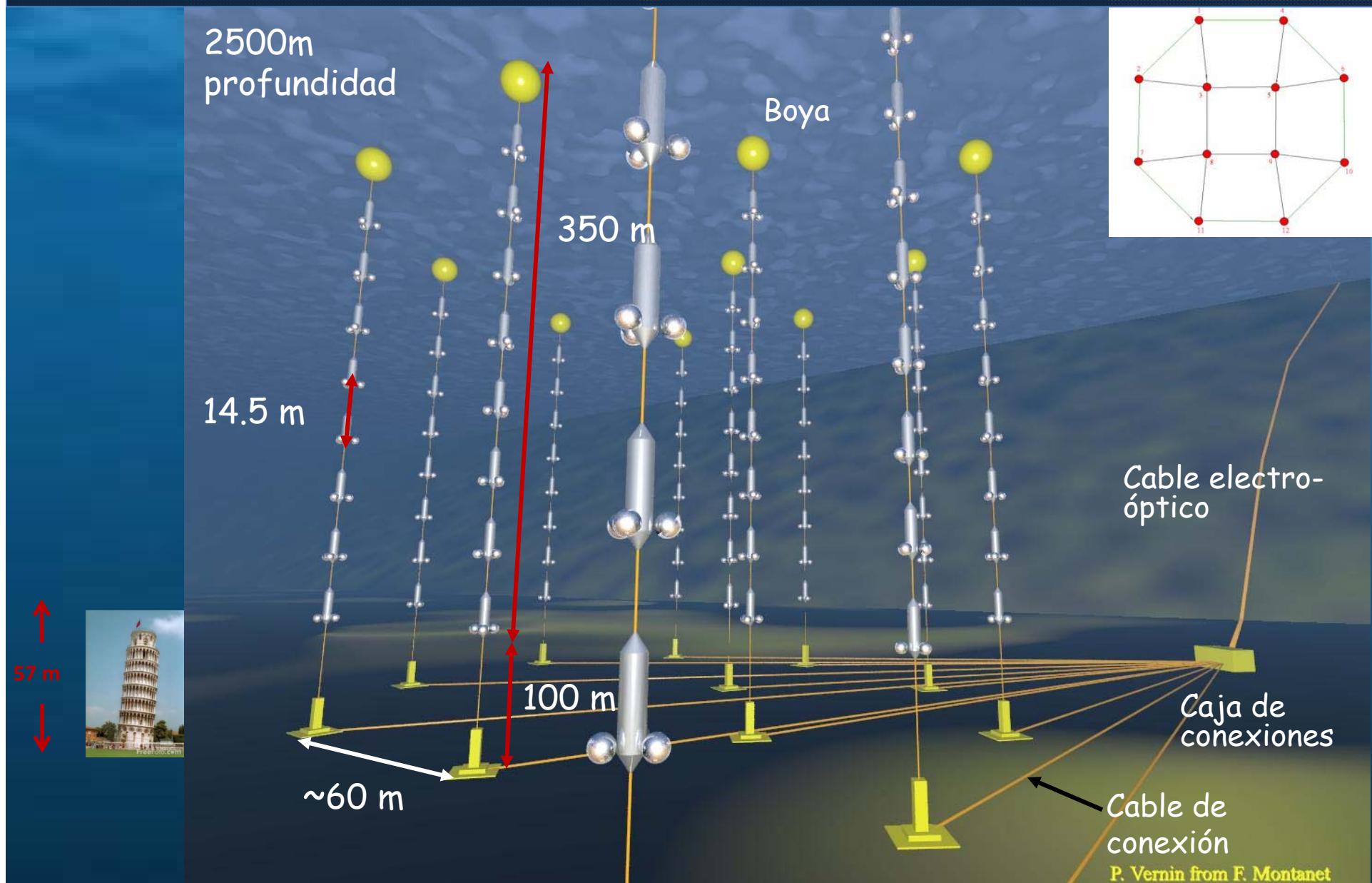
El detector ANTARES está situado en el mar Mediterráneo ($42^{\circ}50'N$, $6^{\circ}10'E$) a 2500 m de profundidad, cerca de la costa de Toulón (Francia).



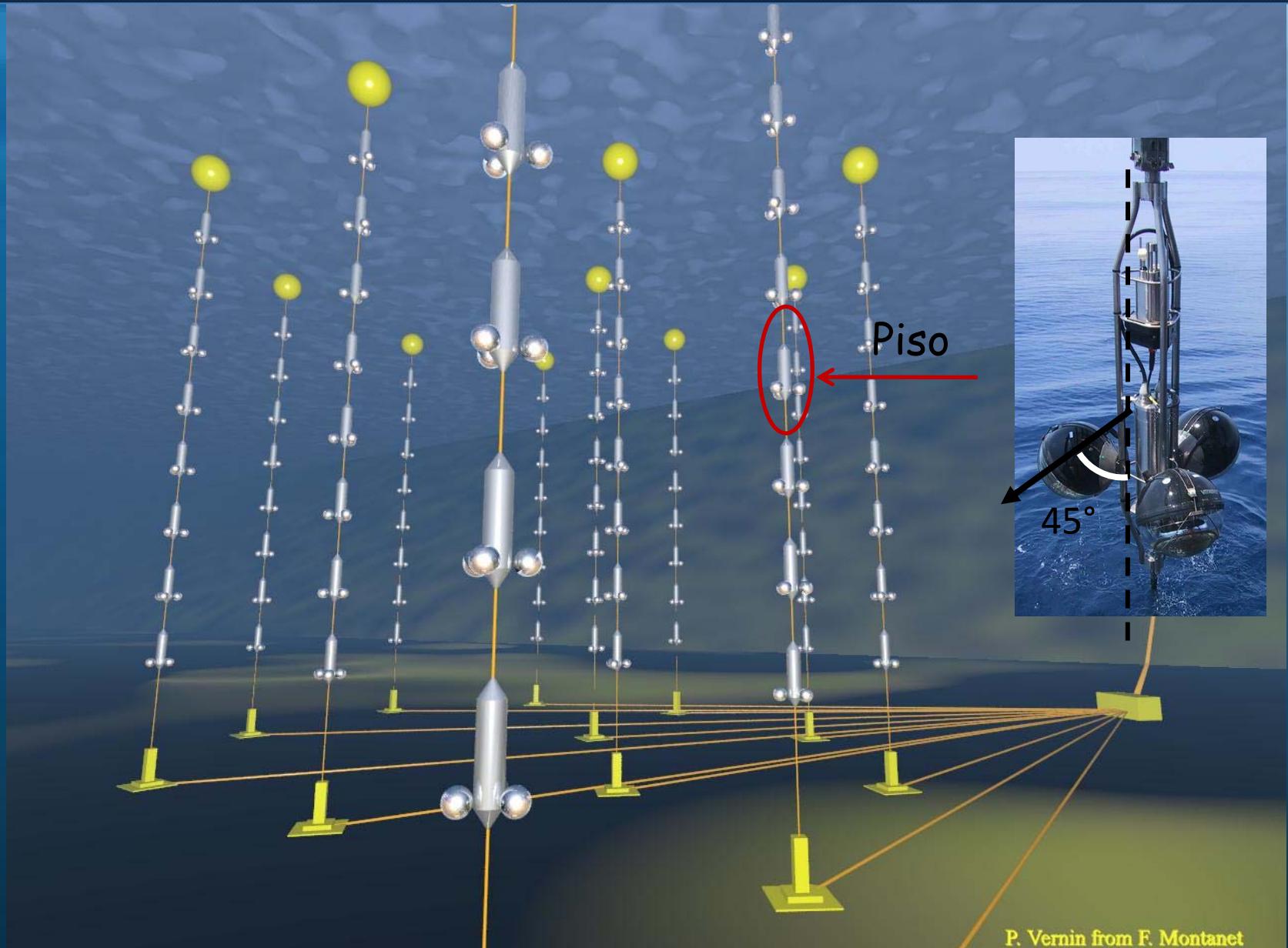
Estación de control en el Instituto M. Pacha



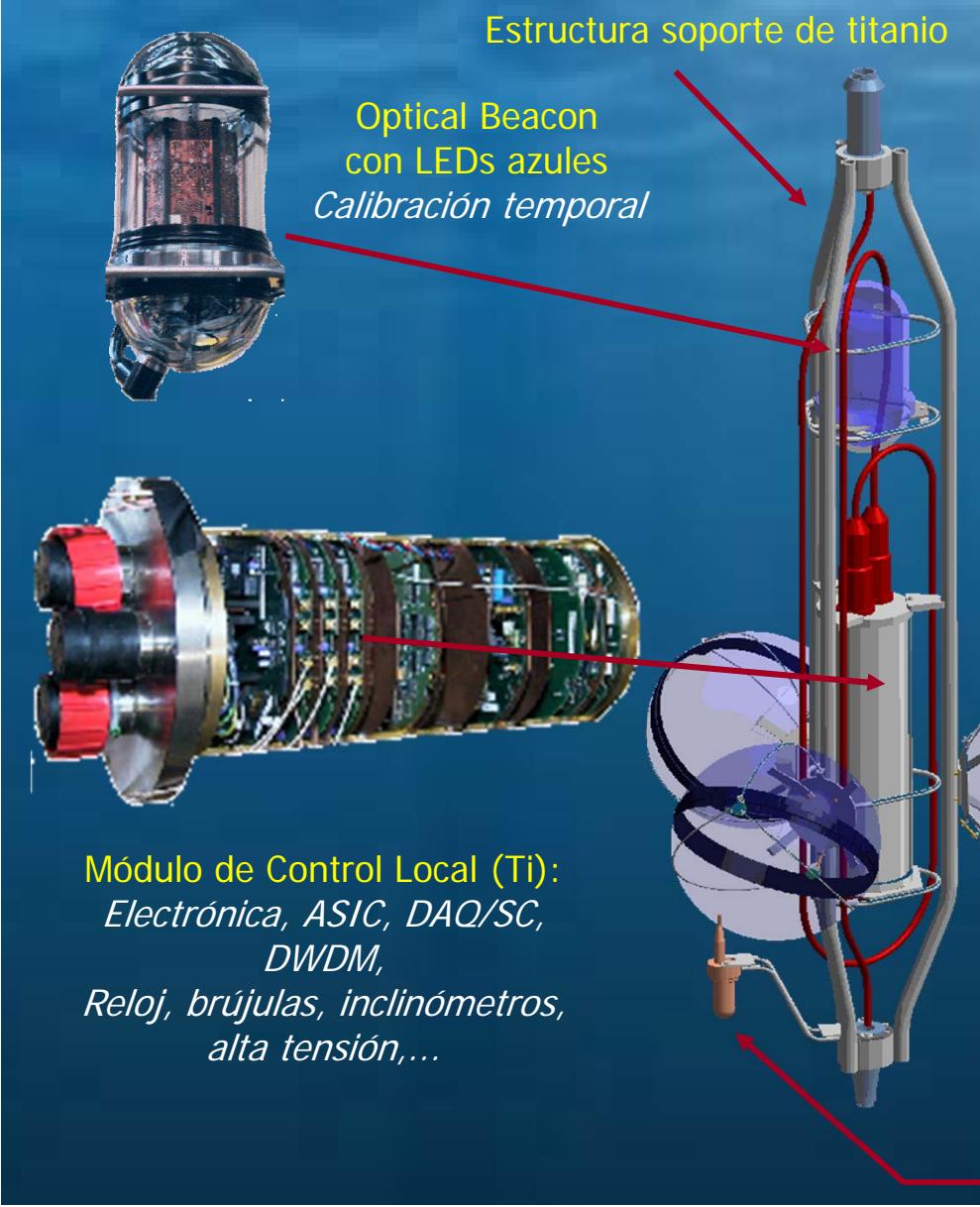
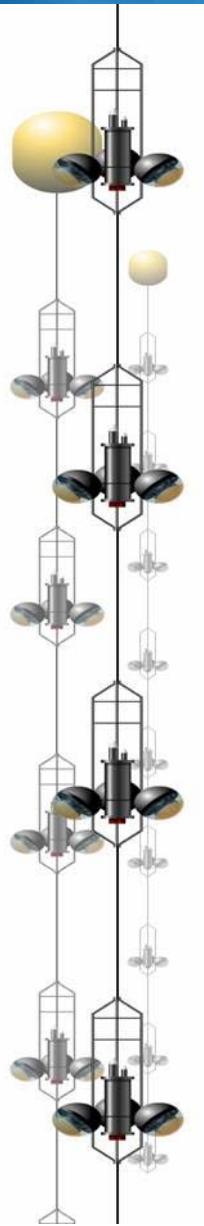
El detector ANTARES



El detector ANTARES



El detector ANTARES



Módulo Óptico:
10" Hamamatsu PMT in
17" esfera de vidrio
Detección de fotones



Hidrófono:
Posicionamiento acústico

Despliegue e Instalación

La Seyne-sur-Mer



(40 km)



(2.5 km depth)



Data taking periods:

- MILOM : Mar '05 – Mar '06



Integración

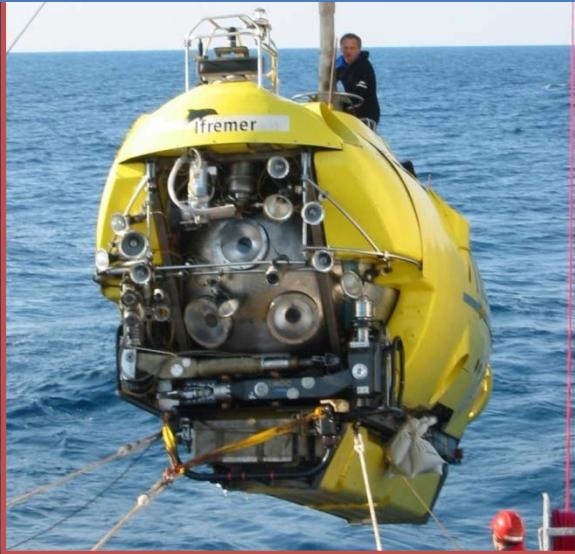


Instalación

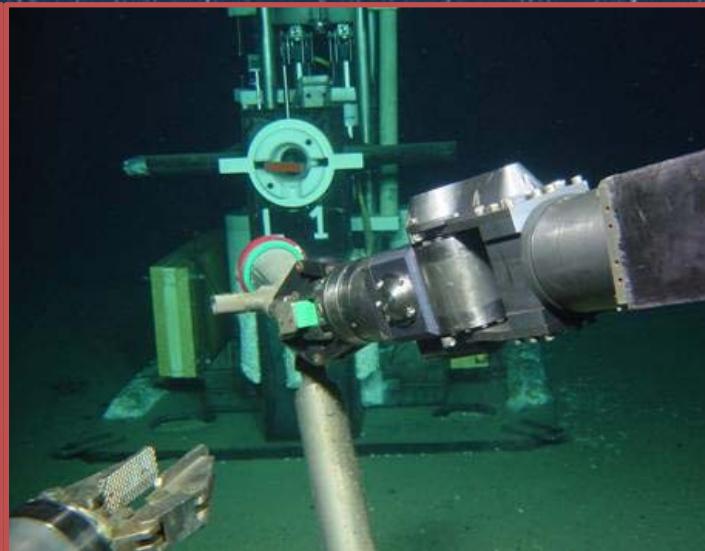


Conexión

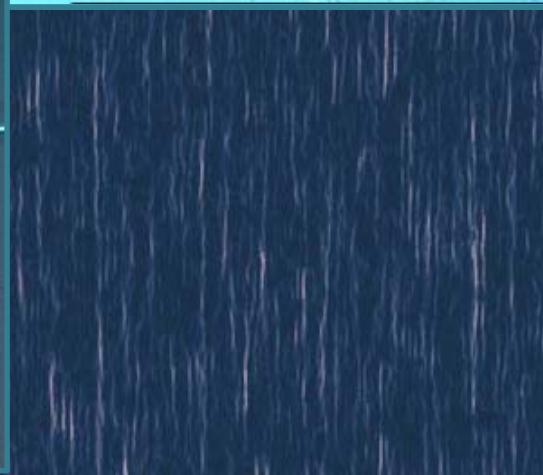
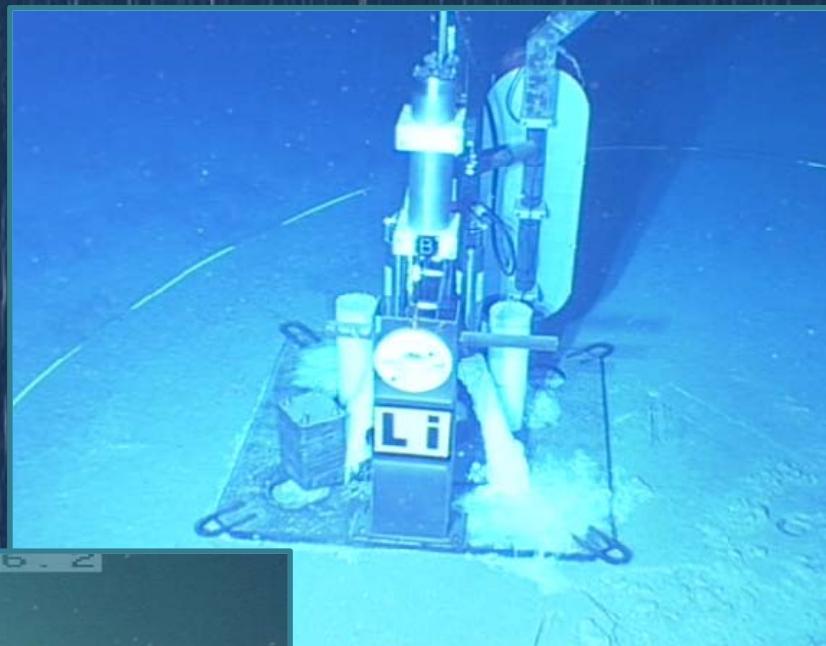
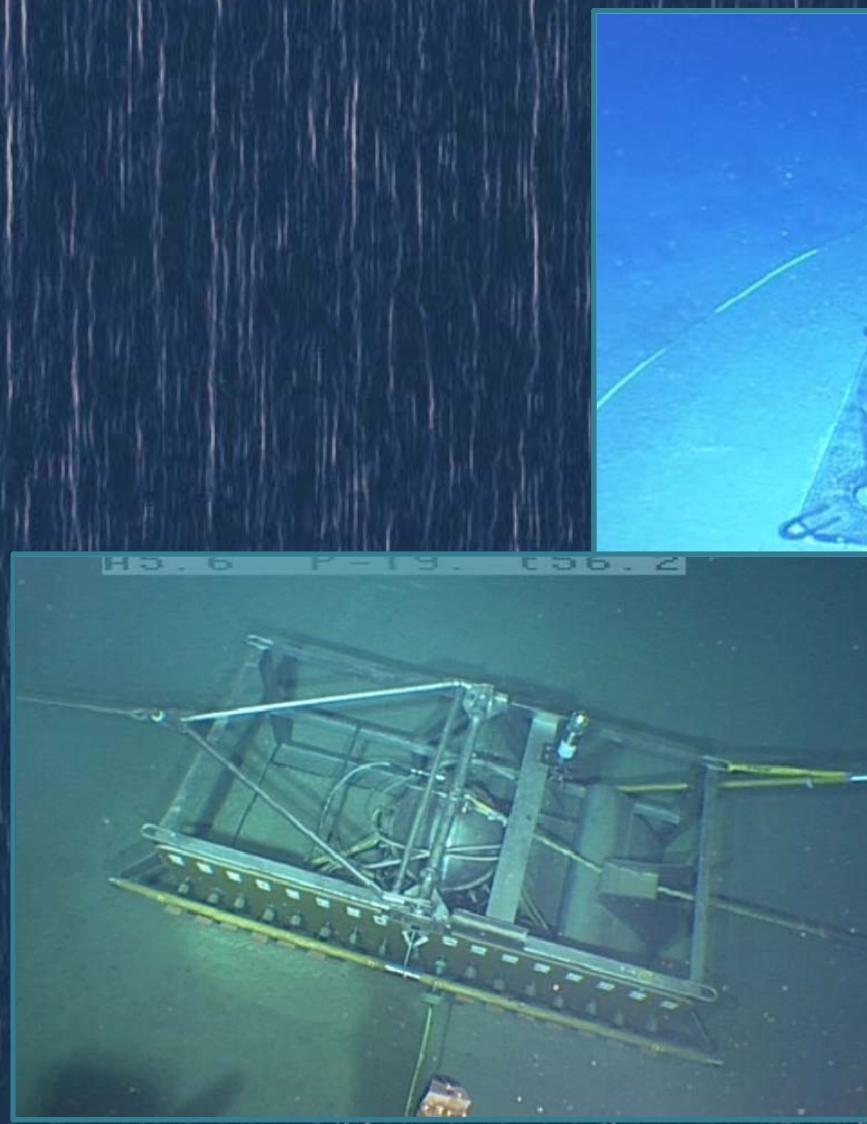
Nautile
(tripulado)



Victor
(operado
remotamente)

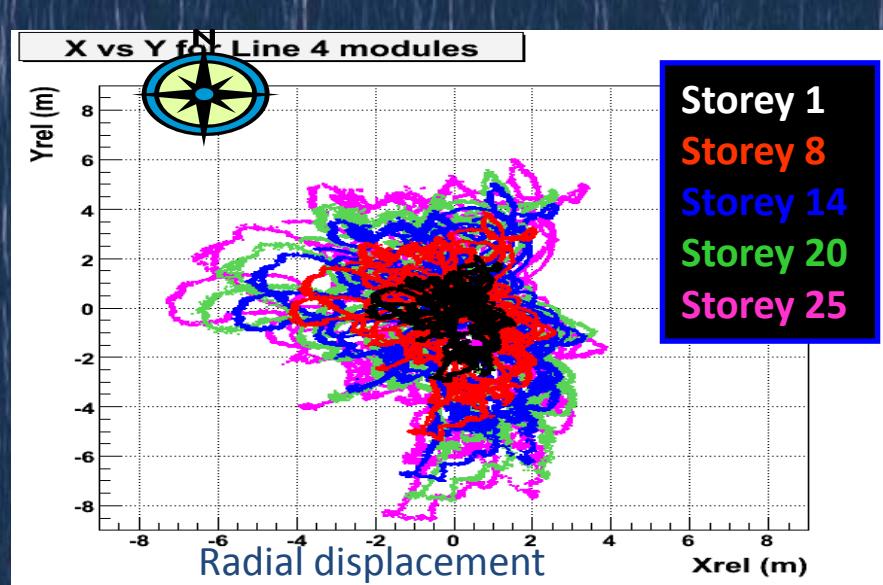
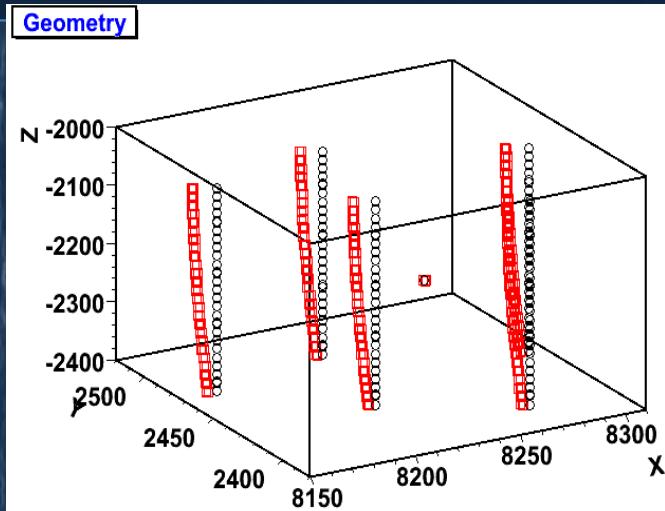
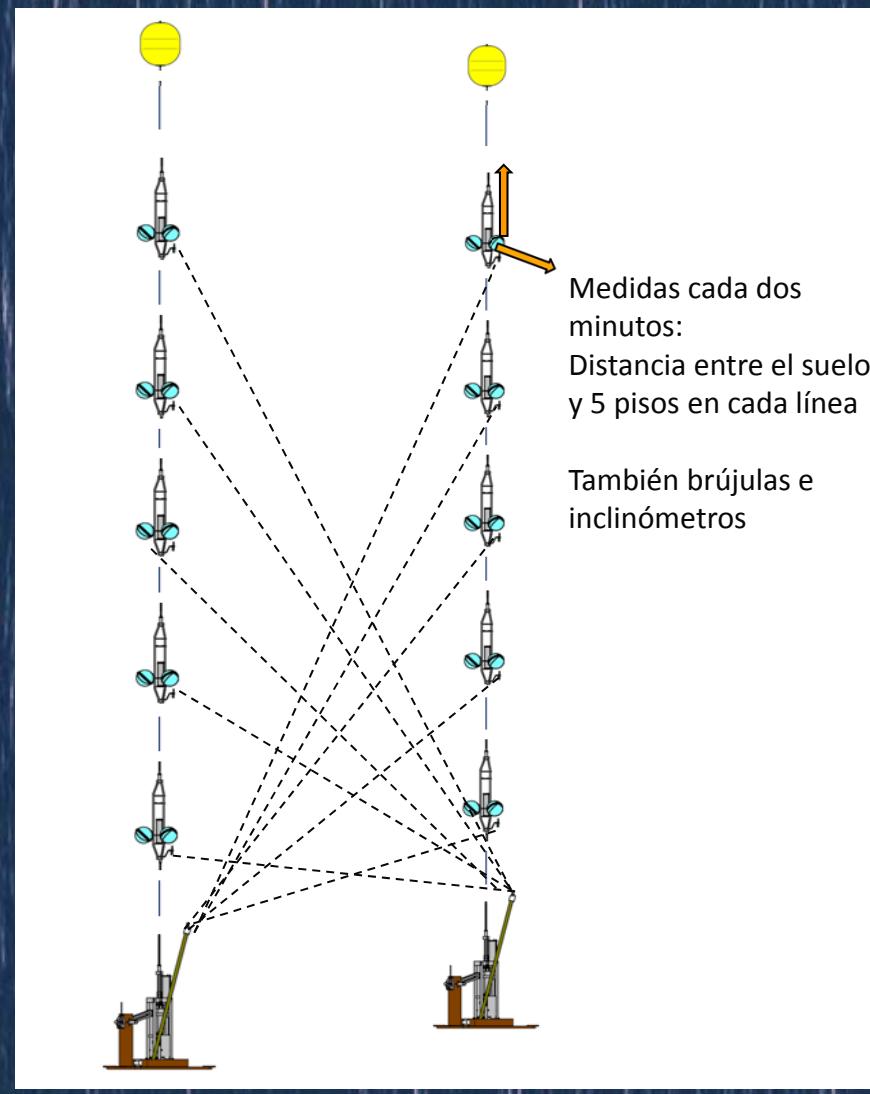


Imágenes desde el fondo marino



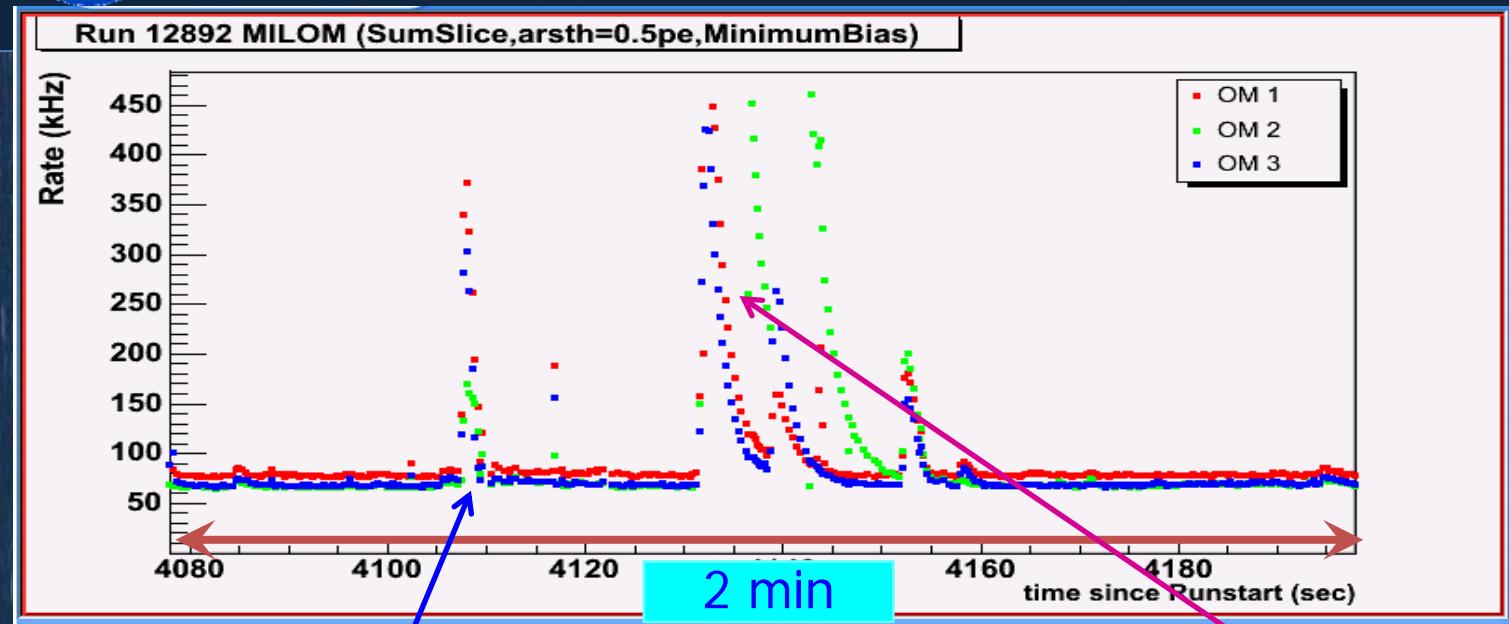


Posicionamiento acústico

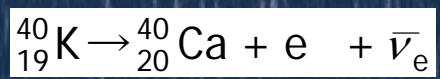




Contaminación óptica

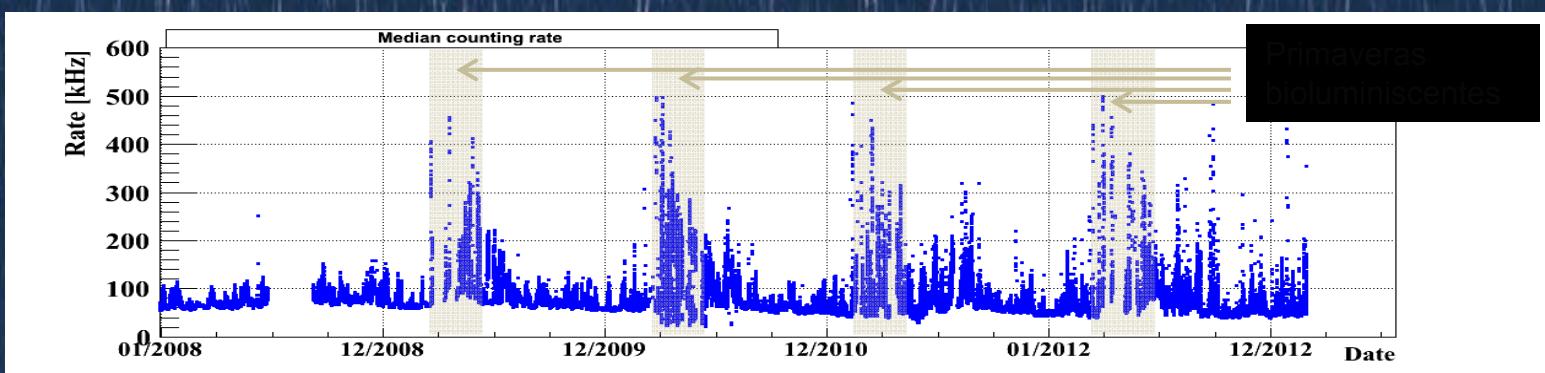
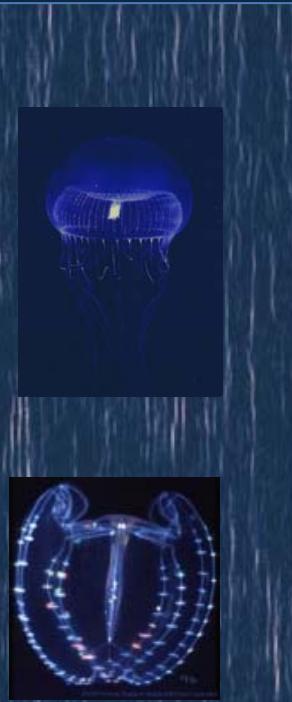


Fondo continuo (baseline):
Radiactividad en el mar (^{40}K)
+ bioluminescencia de bacterias

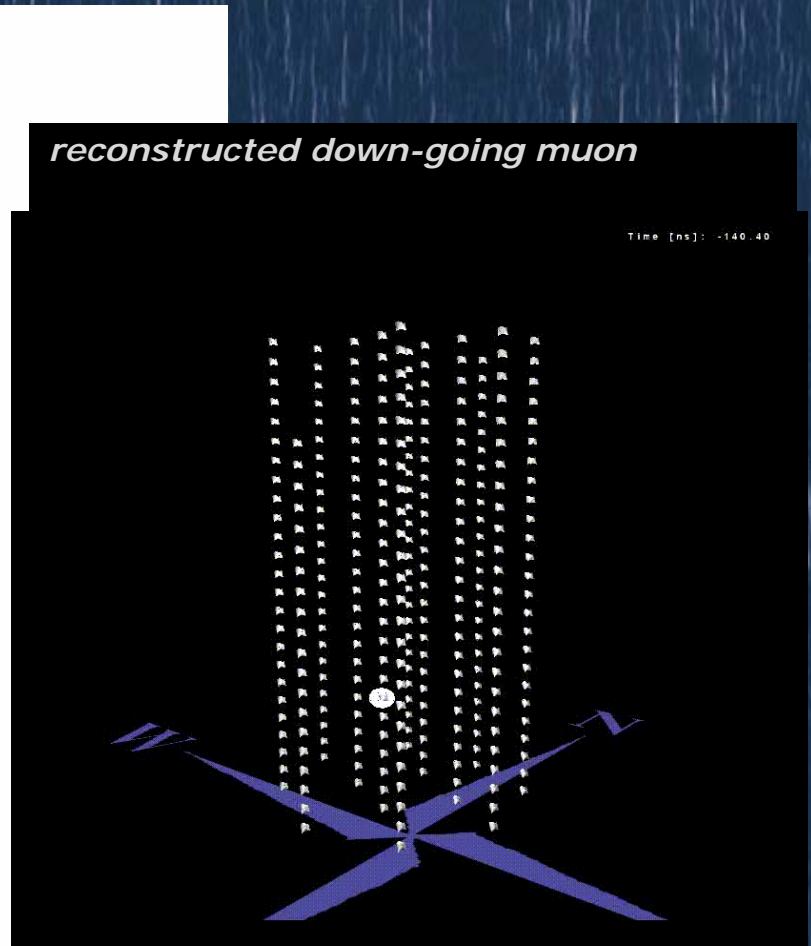
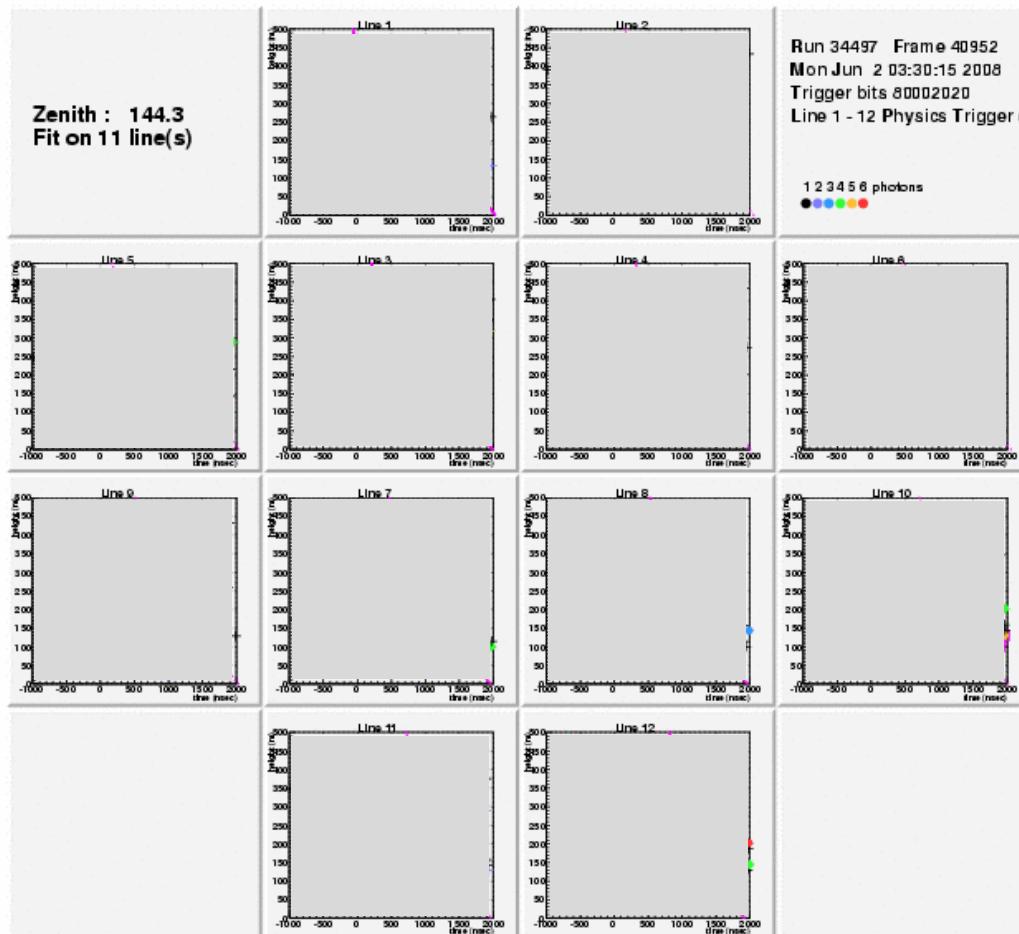


40K

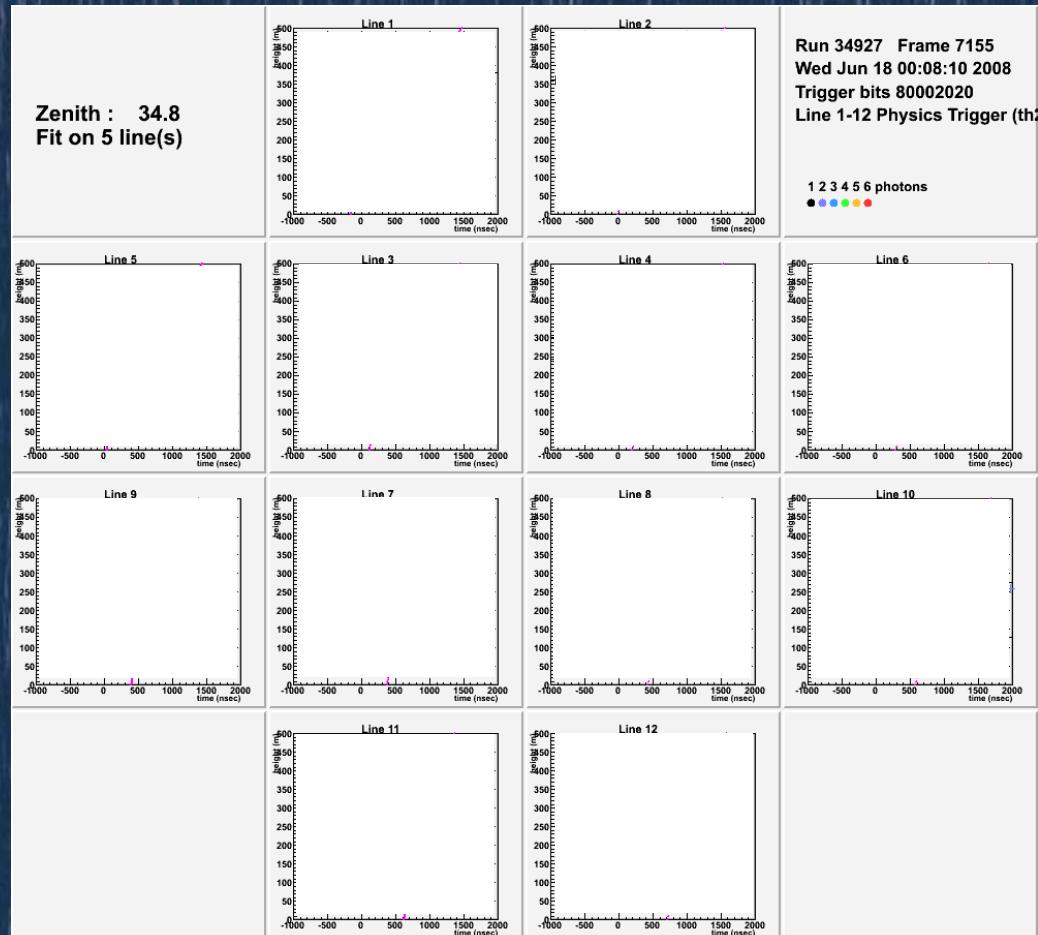
Ráfagas:
Bioluminescencia de
organismos macroscópicos



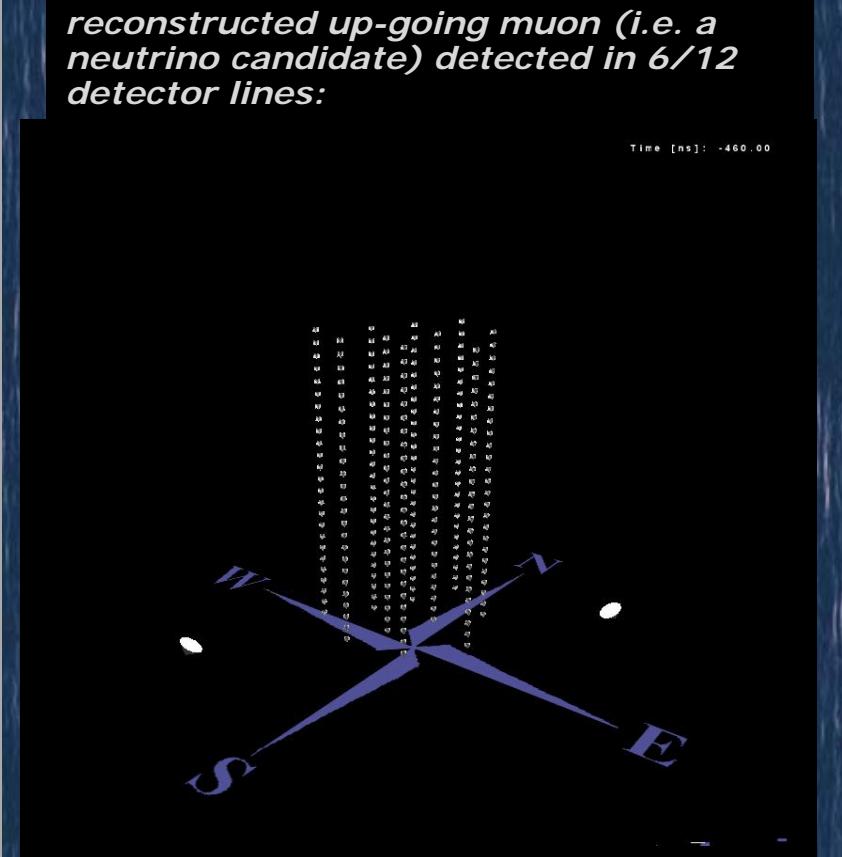
Multi muon event



Neutrino en ANTARES



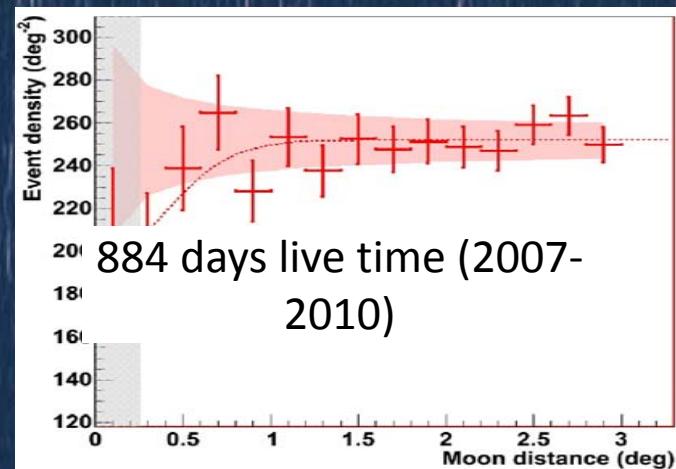
reconstructed up-going muon (i.e. a neutrino candidate) detected in 6/12 detector lines:



Medida de la posición

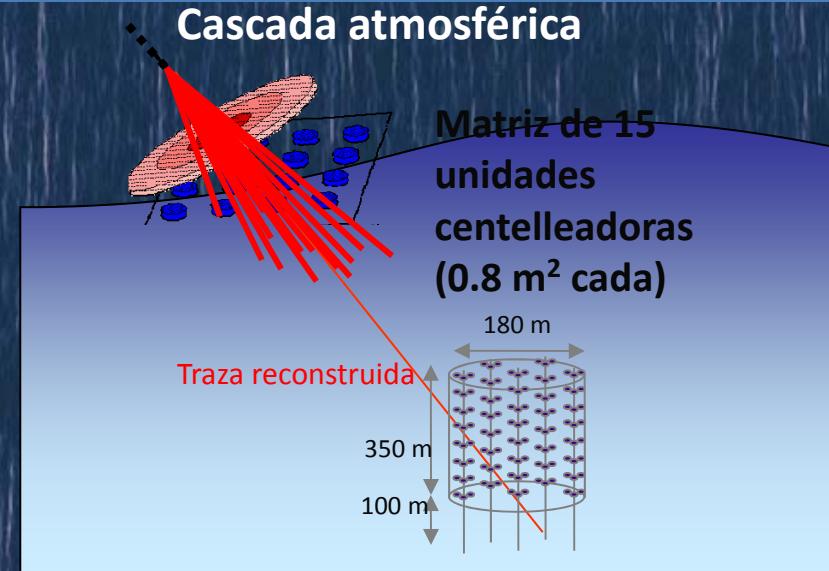


(La sombra de la luna)

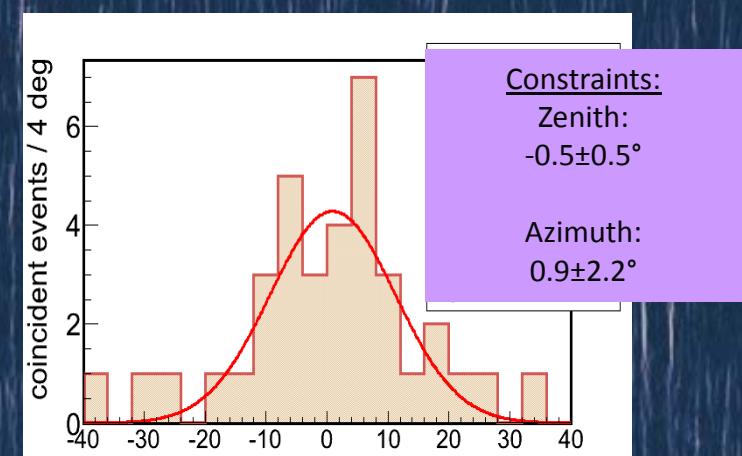


2.7 sigma significance (expected 2.1 ± 0.8)

Around 4% of expected total of data taking



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

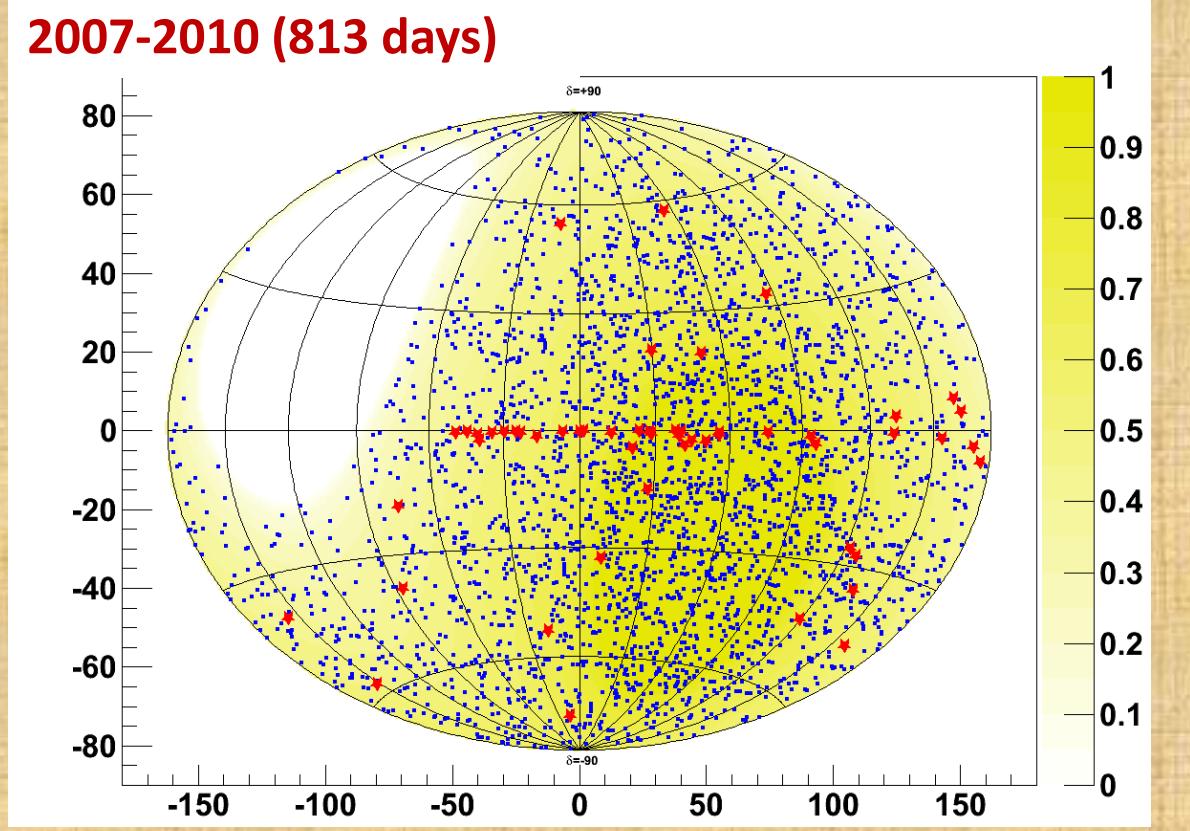
Los neutrinos que vemos
¿son cósmicos o atmosféricos?

- Sucesos seleccionados (3058)
- ★ Posibles candidatos

Para ello, buscamos un exceso de neutrinos:

¿Dónde?

- Globalmente
- En dirección de fuentes interesantes

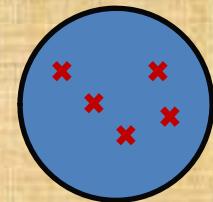


Búsqueda de fuentes de neutrinos

¿Cómo saber si se trata de neutrinos cósmicos?

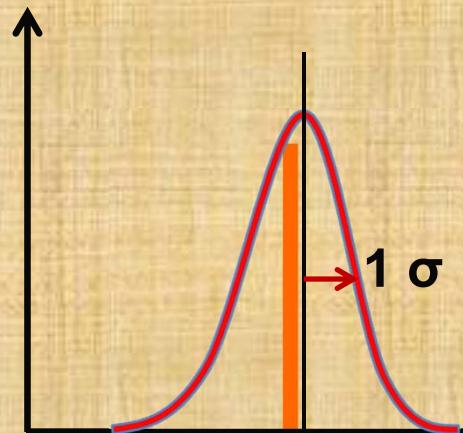
Con los datos obtenidos calculamos un “estadístico” Q

¿Cuál es la probabilidad de obtener ese valor?



Hipótesis: todos los neutrinos son atmosféricos

si el resultado es:



Estadístico Q

Probablemente todos
los sucesos son
neutrinos atmosféricos

Búsqueda de fuentes de neutrinos

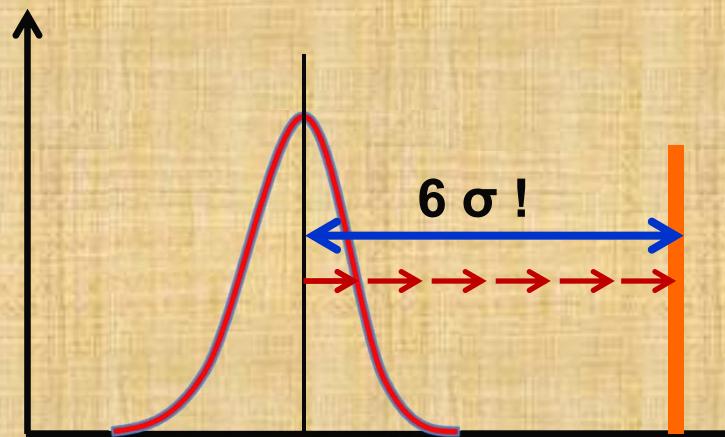
¿Cómo saber si se trata de neutrinos cósmicos?

Con los datos obtenidos calculamos un “estadístico” Q

¿Cuál es la probabilidad de obtener ese valor?

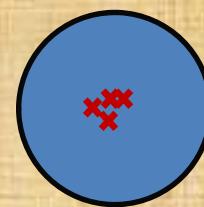
Pero si hay neutrinos cósmicos

y el resultado es:



Estadístico Q

¡ Neutrinos
cósmicos !



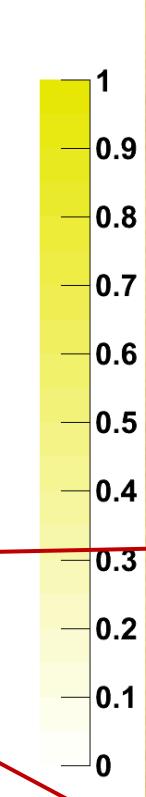
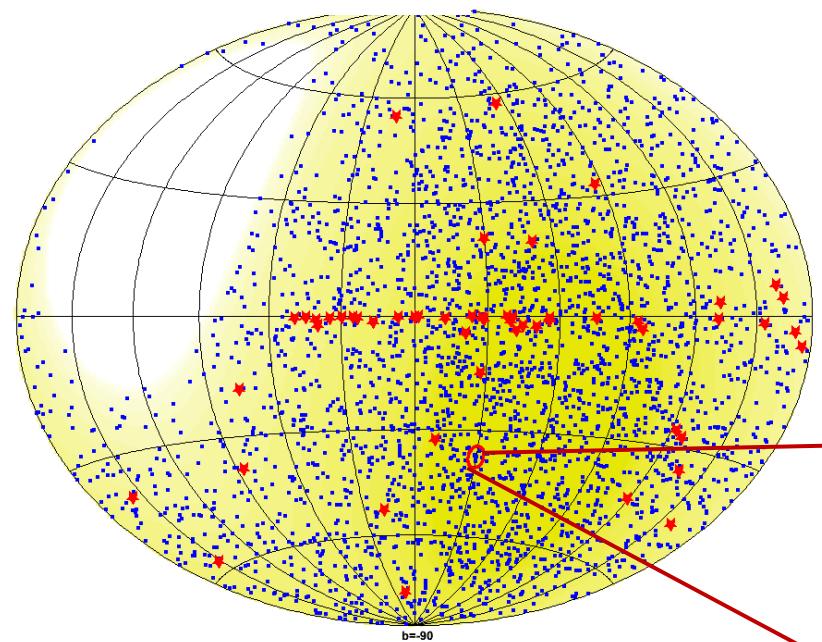
Búsqueda de fuentes de neutrinos

Mapa del cielo en coordenadas galácticas

El color de fondo indica la **visibilidad**

- Sucesos seleccionados (3058)
- ★ Posibles candidatos

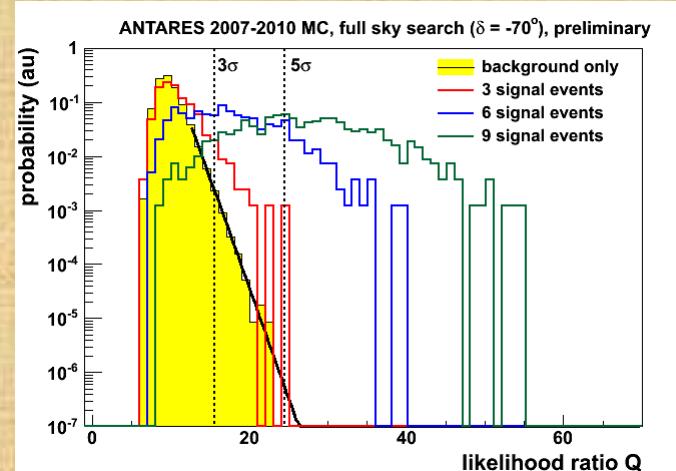
2007-2010 (813 days)



Cluster más significativo en:

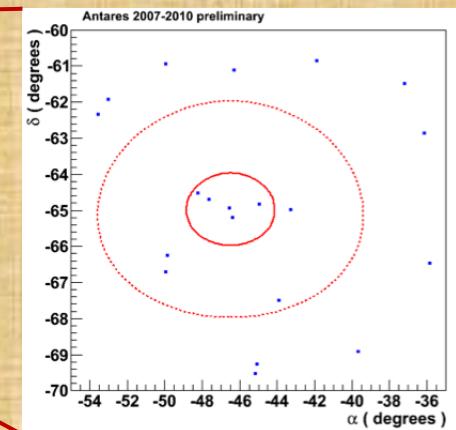
$\text{RA} = -46.5^\circ$,
 $\delta = -65.0^\circ$

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

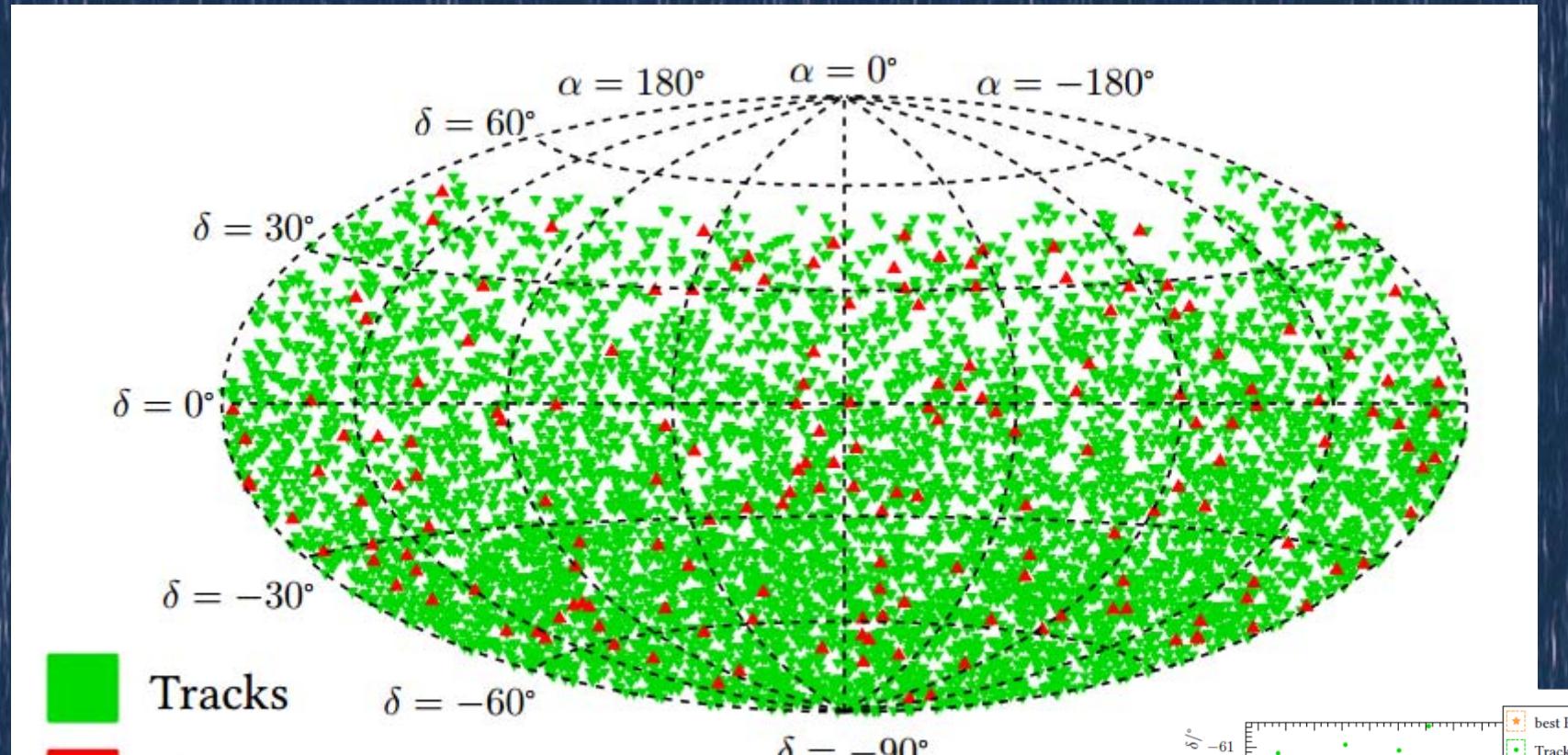


$$L_{s+b} = \sum_i \ln [\mu_s \mathcal{F}(\alpha_s, \delta_s) + \mathcal{B}(\delta_i)]$$

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

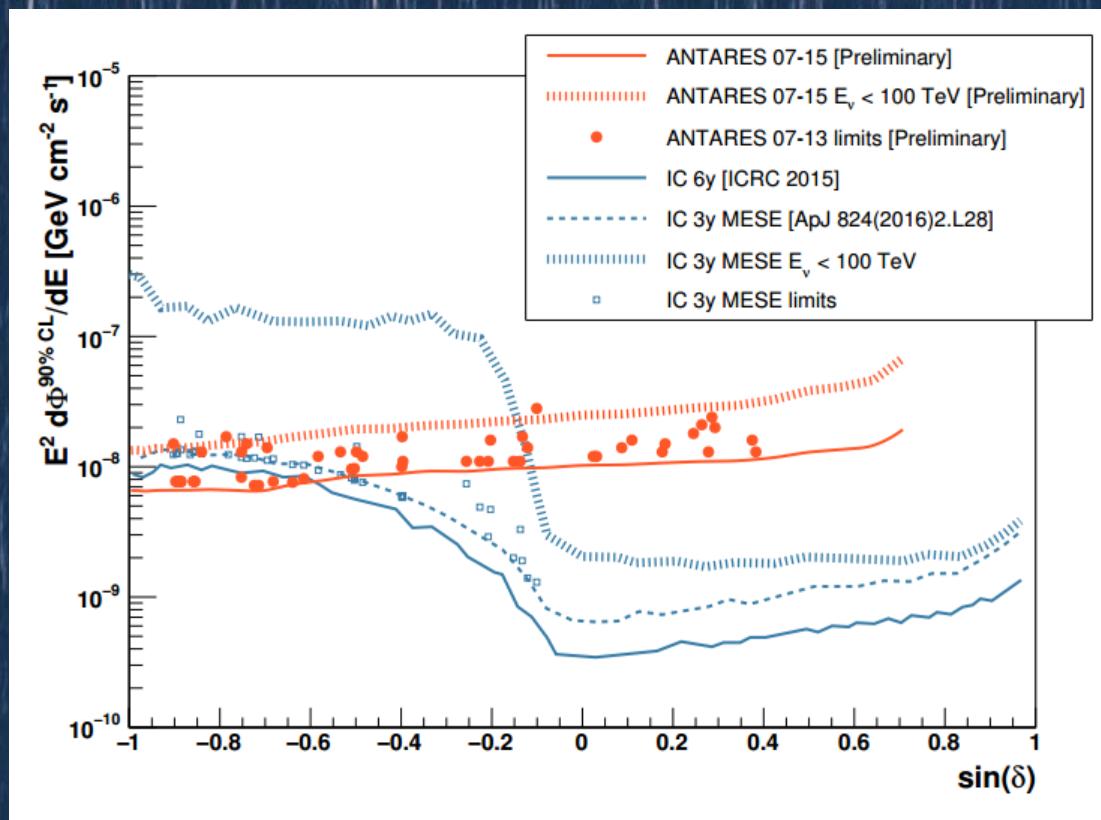


El cielo de neutrinos



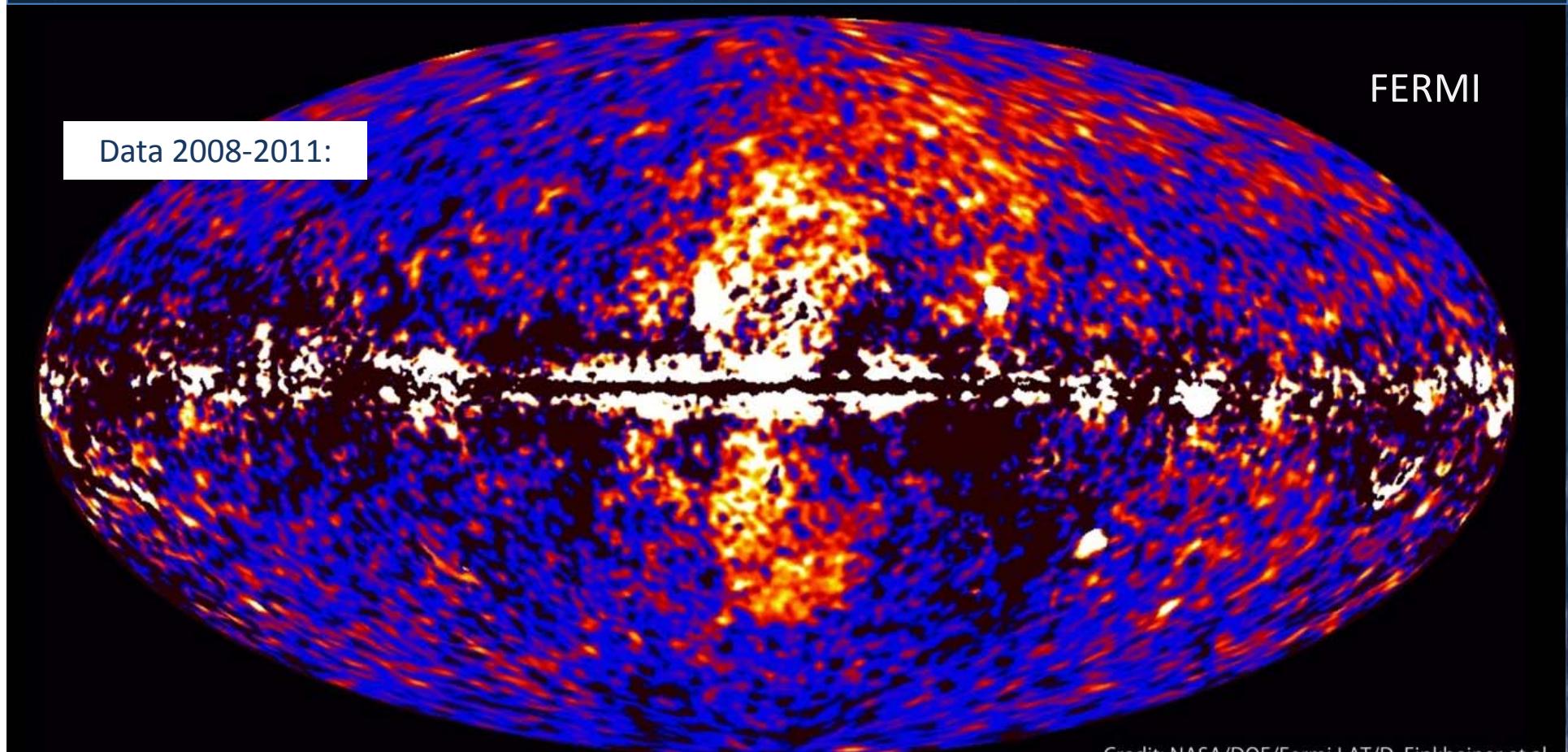
Datos: 2007-2013

Límites en los flujos de neutrinos

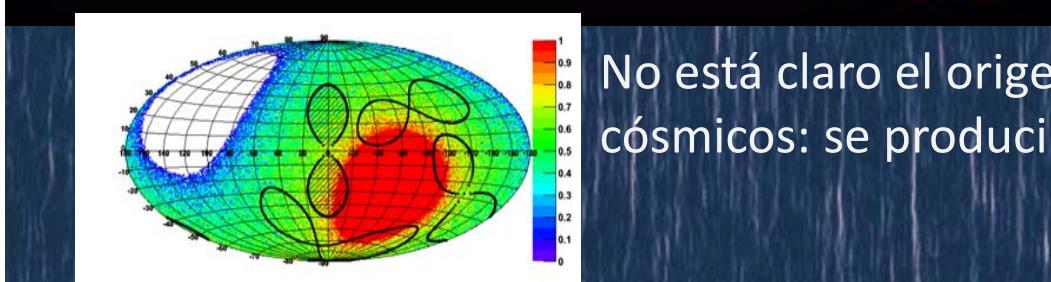


- Mejores límites para energías TeV-PeV para el Hemisferio Sur
- El umbral de IceCube para el Hemisferio Sur es de ~1 PeV

Fermi Bubbles



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



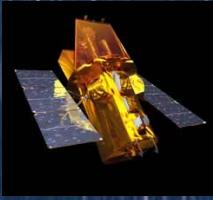
GeV-TeV rayos- γ
Fermi / HESS...

- 📖 JCAP 03(2013) 006
- 📖 A&A 559 (2013) A9
- 📖 JCAP 05 (2014) 001



Óptico / rayos-X
TAROT, ROTSE /
Swift, ZADKO

- 📖 APP 36 (2012) 204
- 📖 A&A 559 (2013) A9



Neutrinos de
alta energía

UHECR
Auger

- 📖 APJ 774 (2013) 19



Ondas
gravitacionales
Virgo / Ligo

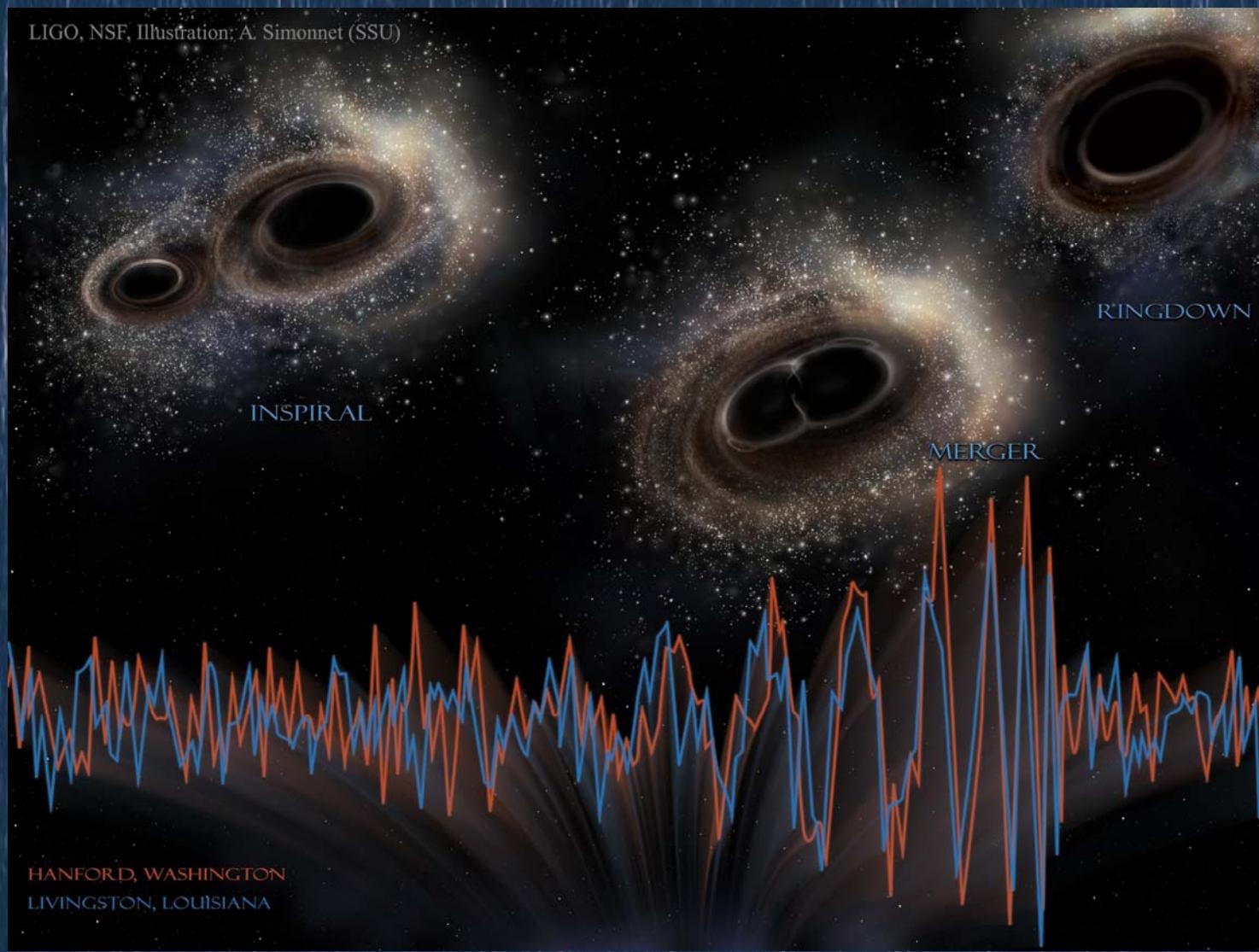
- 📖 JCAP 06 (2013) 008



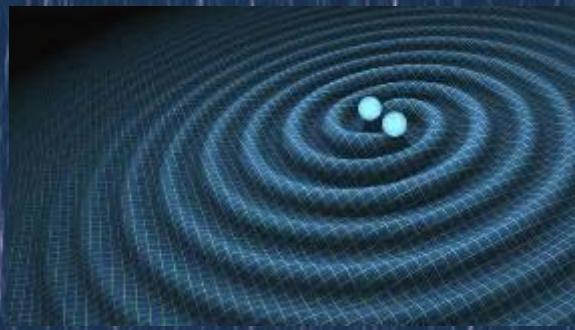
Incrementa las posibilidades de detección

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

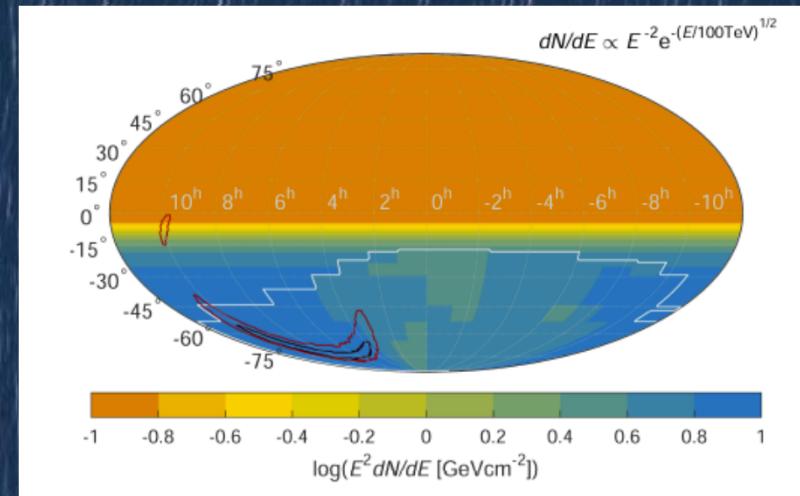
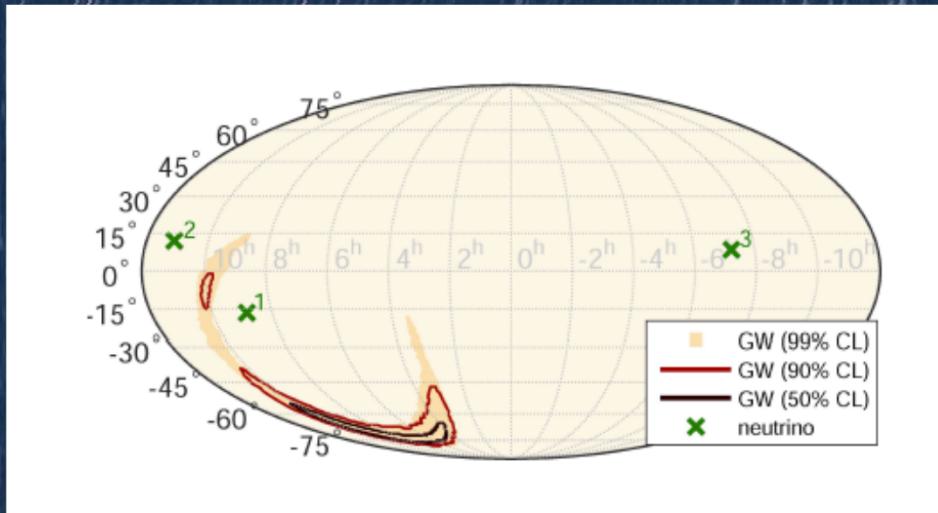
Ondas gravitacionales



Gravitational Waves

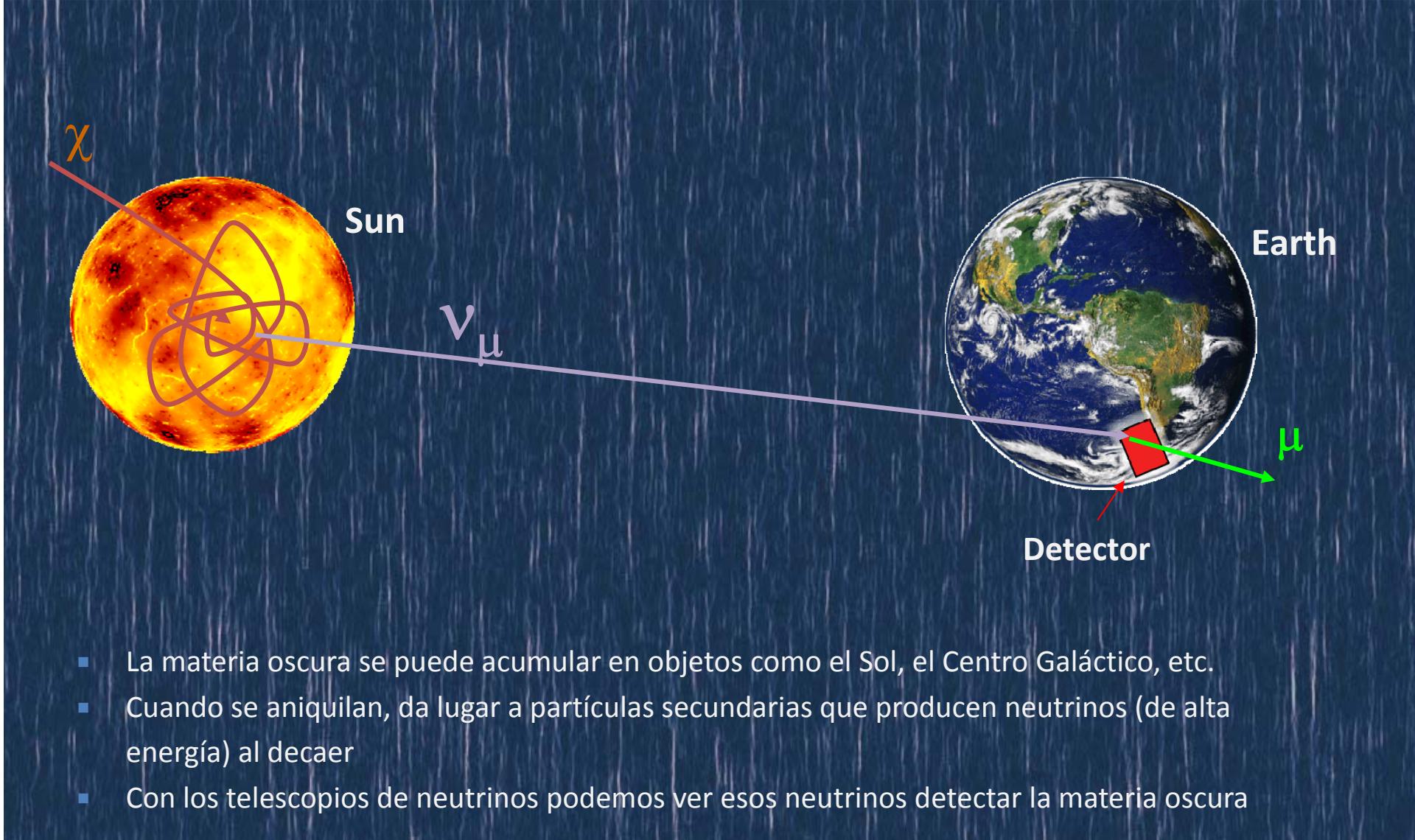


- Los telescopios de neutrinos ofrecen una cobertura casi completa del cielo y toman datos de manera continua: especial para eventos transientes
- Se ha realizado una búsqueda por parte de ANTARES y IceCube de sucesos correlacionados en tiempo y espacio con la onda gravitacional detectada por LIGO:
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



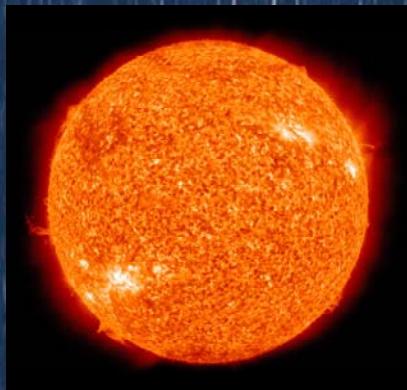
Límites en el flujo de neutrinos

Materia oscura



Fuentes para la búsqueda de materia oscura

Sol



Centro Galáctico



Galaxias enanas



Tierra

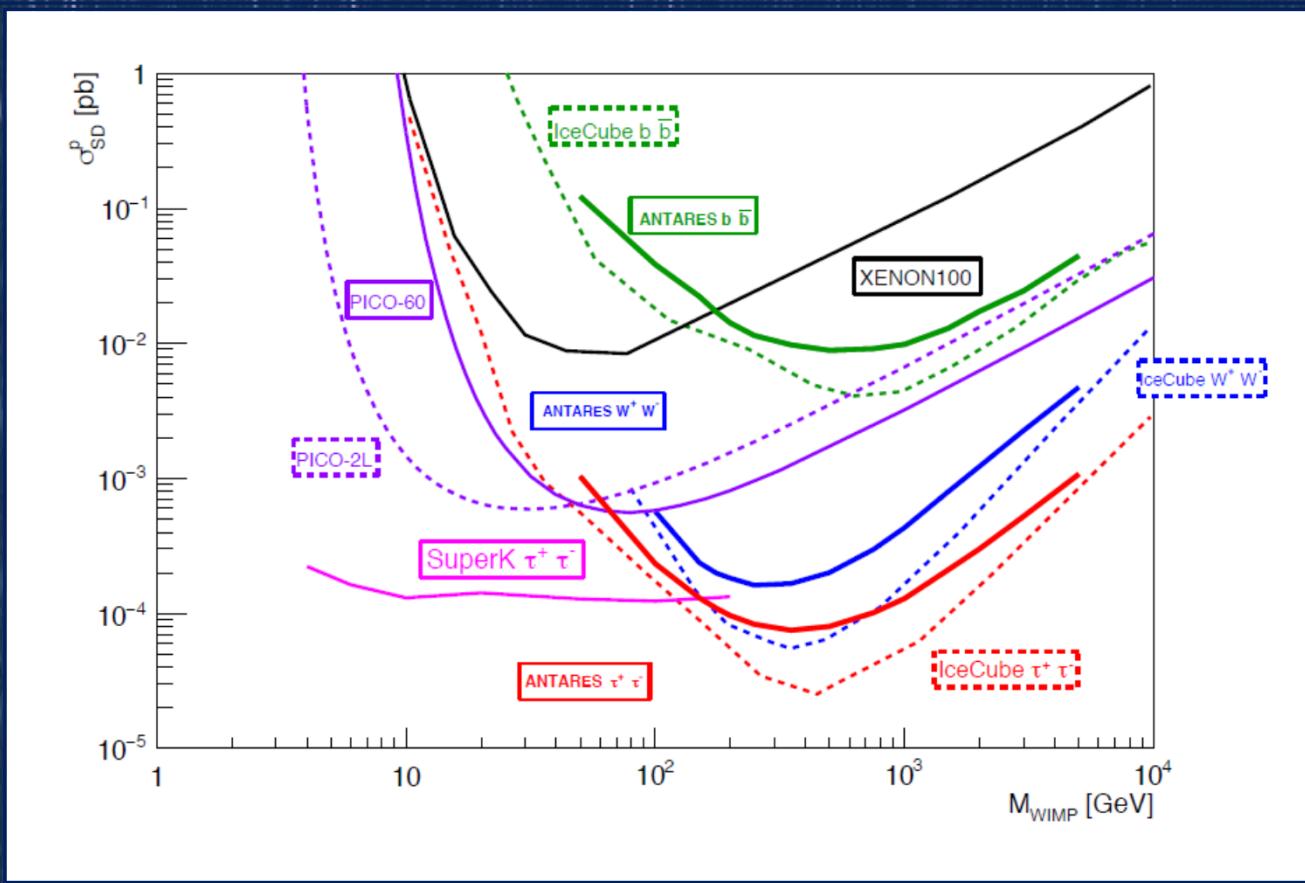


Halo galáctico

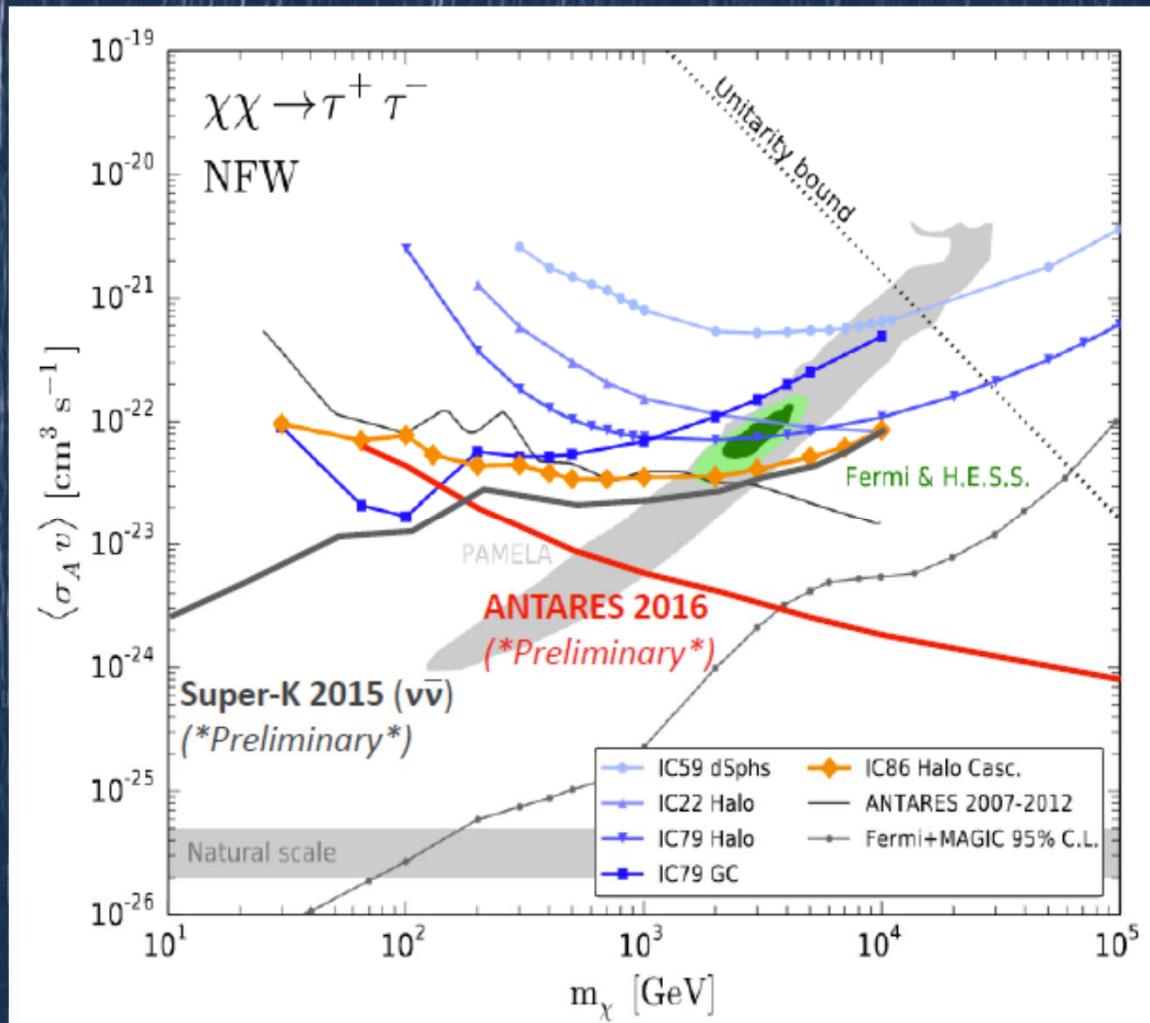


Cúmulos de galaxias

Materia oscura: el Sol



Materia oscura: Centro Galáctico

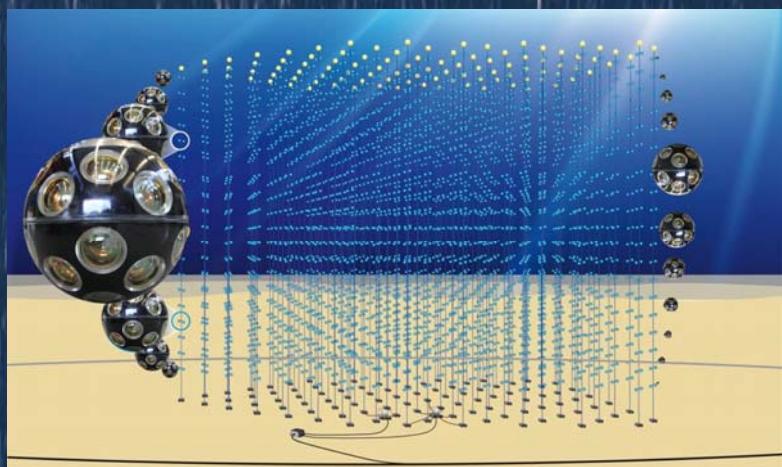


KM3NeT

KM3NeT

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 Astropartículas
- 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

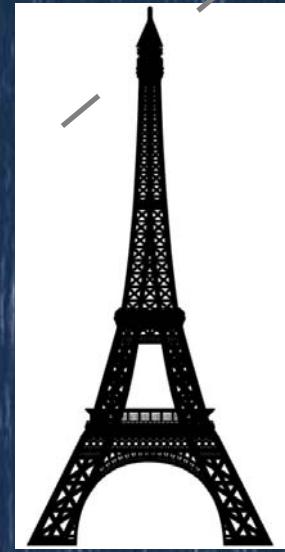


- *despliegue rápido*
- *recuperable*

Módulo óptico



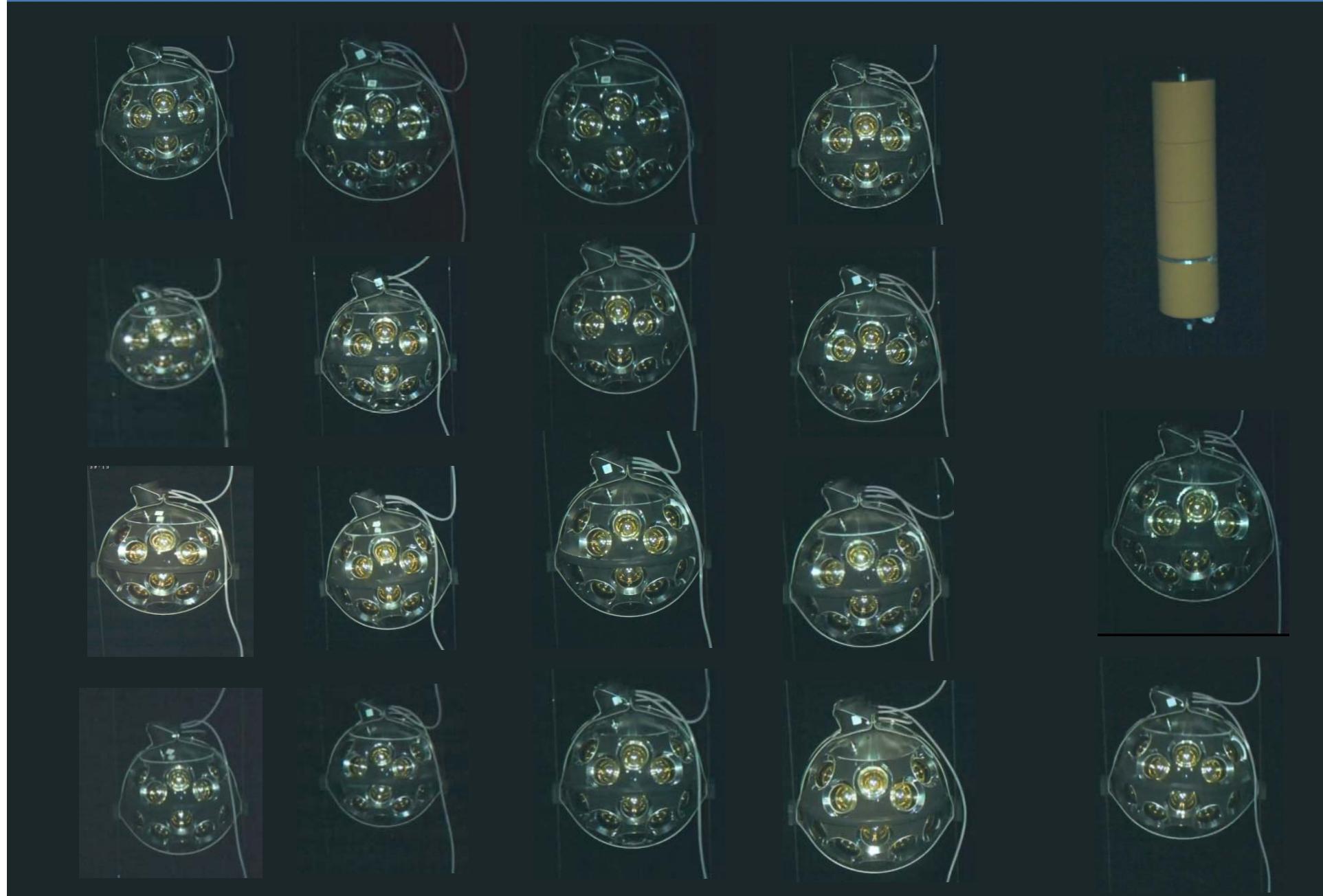
- *31 x 3" PMTs*
- *bajo consumo*
- *mejor rechazo de fondo*



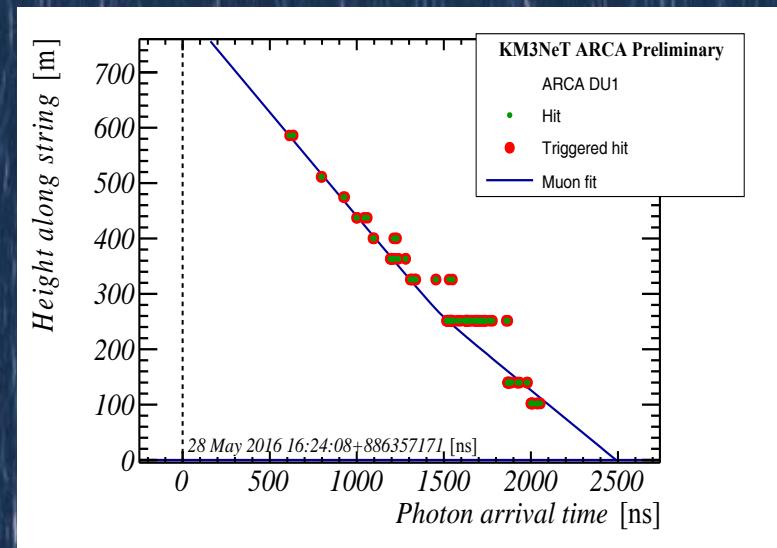
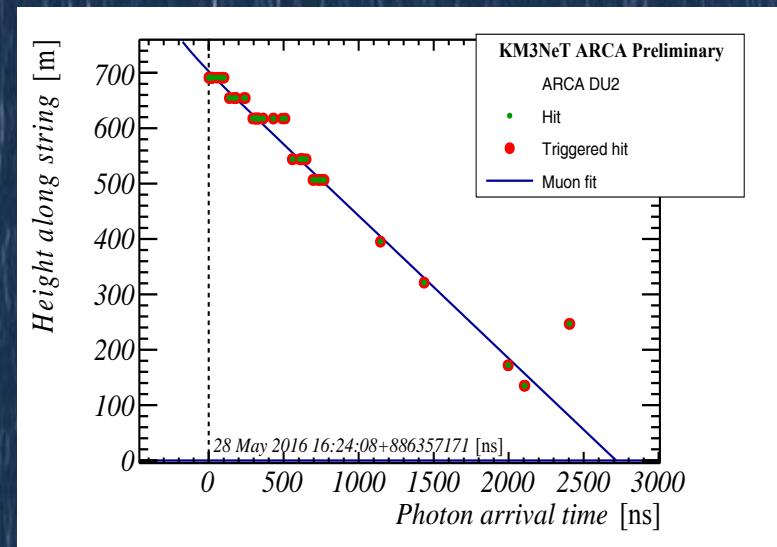
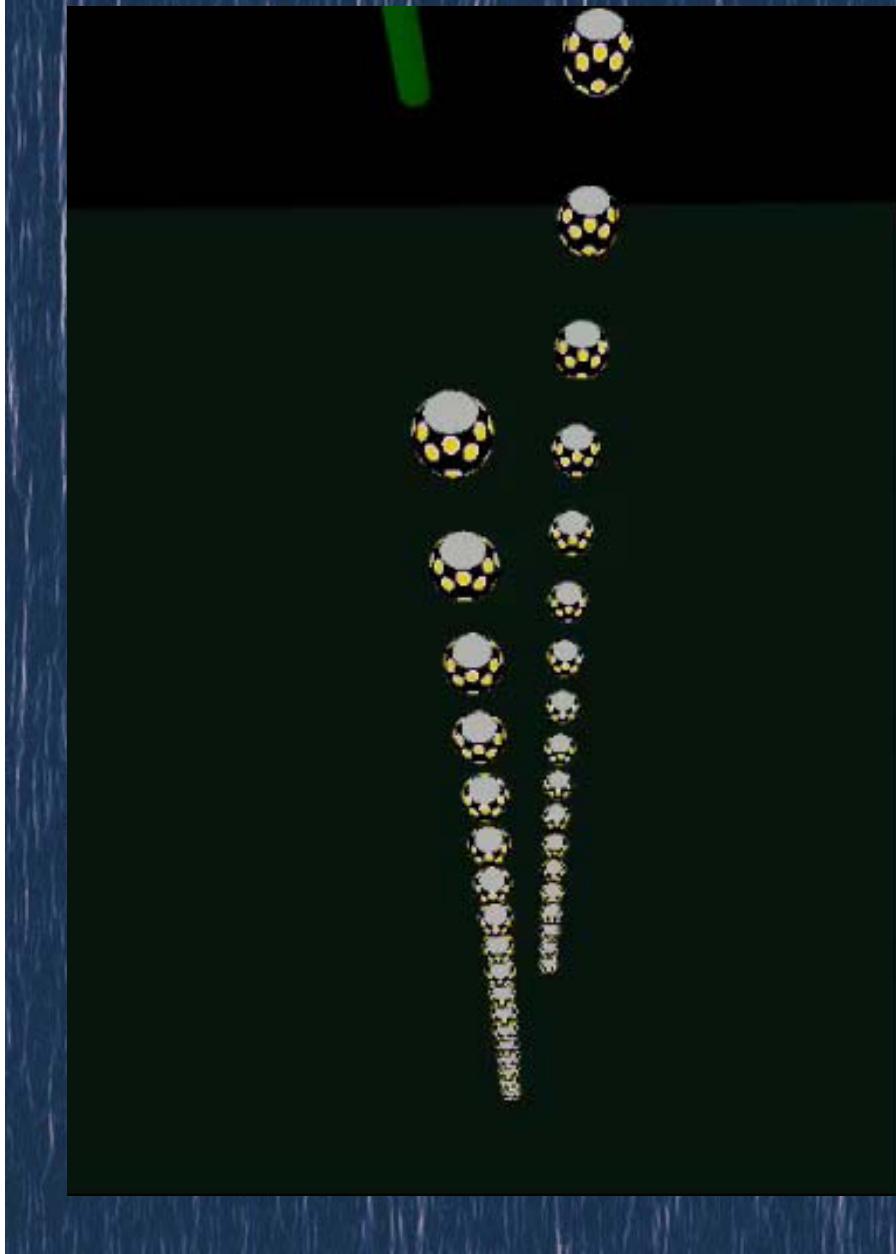
~ 600 m



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

