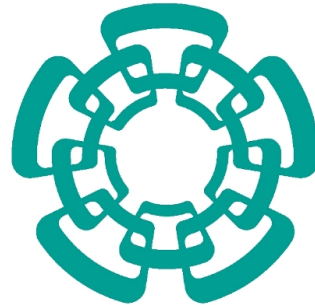


Análisis de datos para distintos estudios hechos en los experimentos Pierre Auger, IceCube y HAWC

Karen Salomé Caballero Mora
CINVESTAV



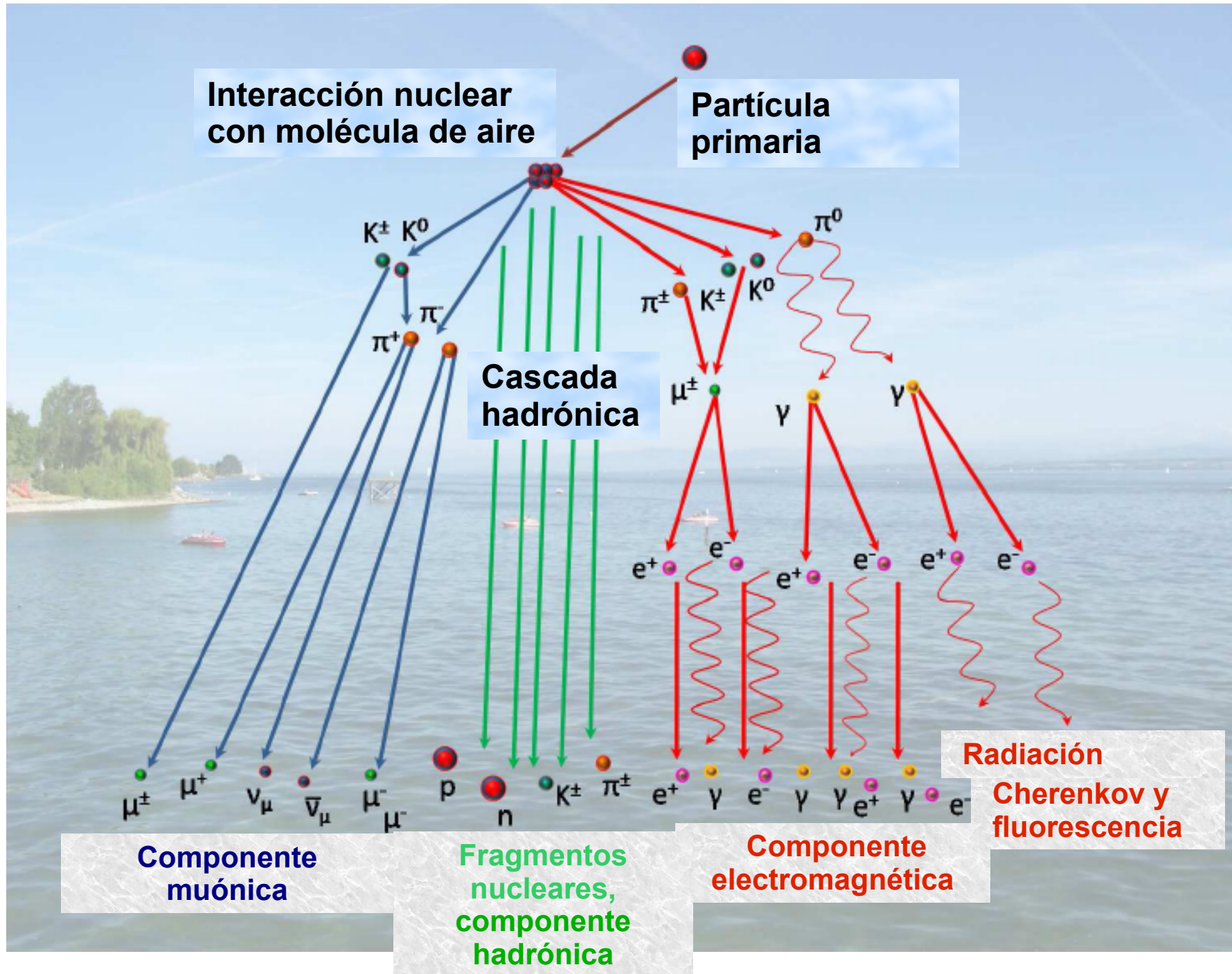
Cinvestav

Seminario conjunto de los
grupos de Altas Energías
del ICN y del IF
UNAM

Contenido

- Los Rayos C3smicos
- El Observatorio Pierre Auger
 - Composici3n de la masa de RCUE (X_{\max})
 - Resultados: X_{\max} obtenida de Δ_{1000} (X_{\max})
- El experimento IceCube
 - Discrepancia entre datos reales y simulaciones
 - Caracterizaci3n de la contribuci3n m3s significativa
- El experimento HAWC
 - Configuraci3n 3ptima de los PMT para mejorar el 3rea efectiva

Rayo cósmico

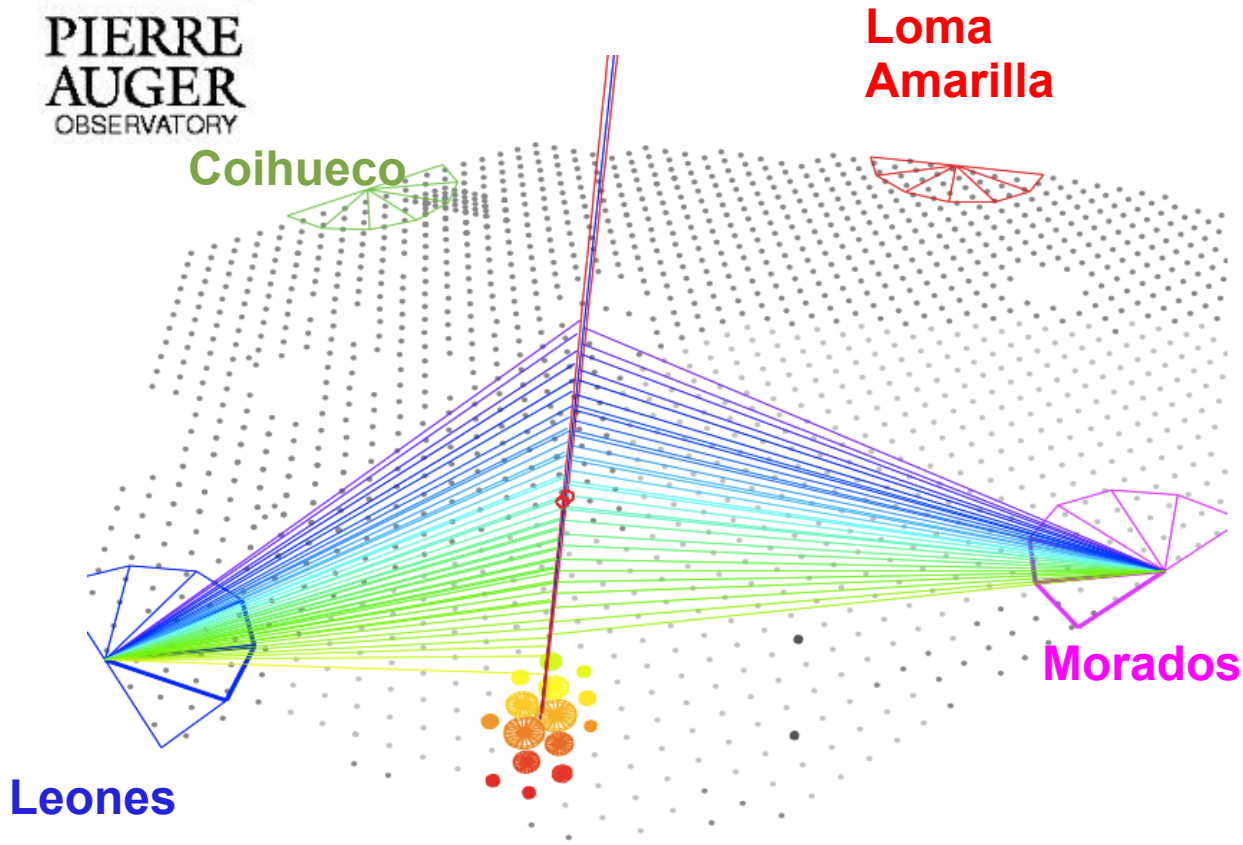


El Observatorio Pierre Auger

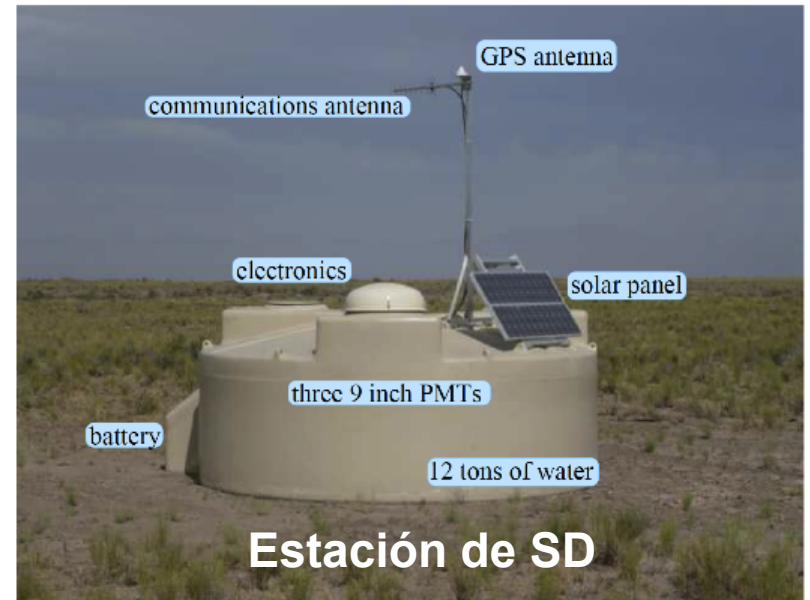


PIERRE
AUGER
OBSERVATORY

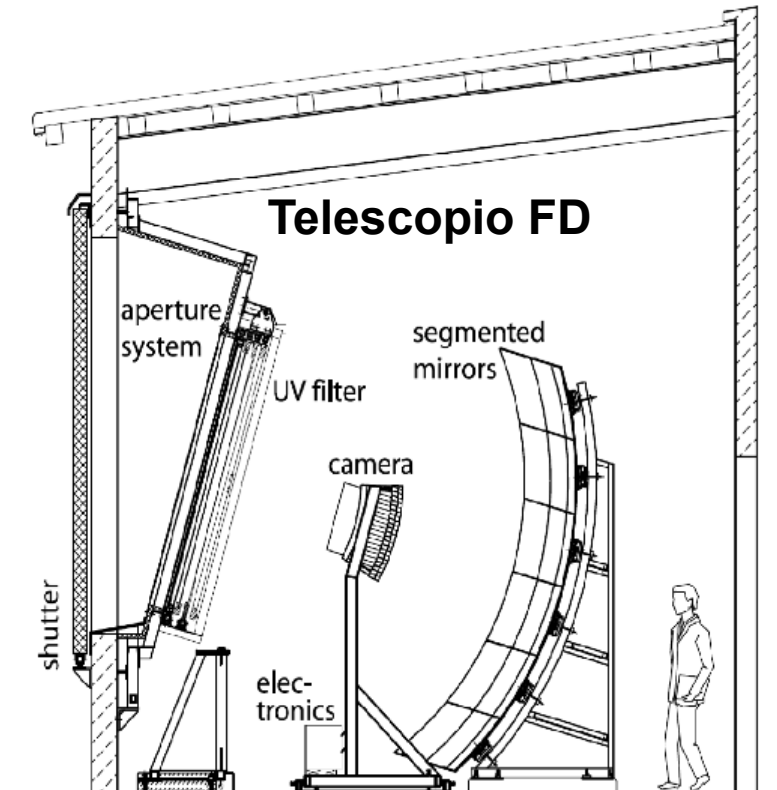
Experimento híbrido



- 1600 estaciones Cherenkov
- 4 detectores de fluorescencia



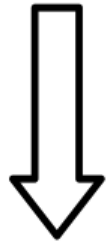
Estación de SD



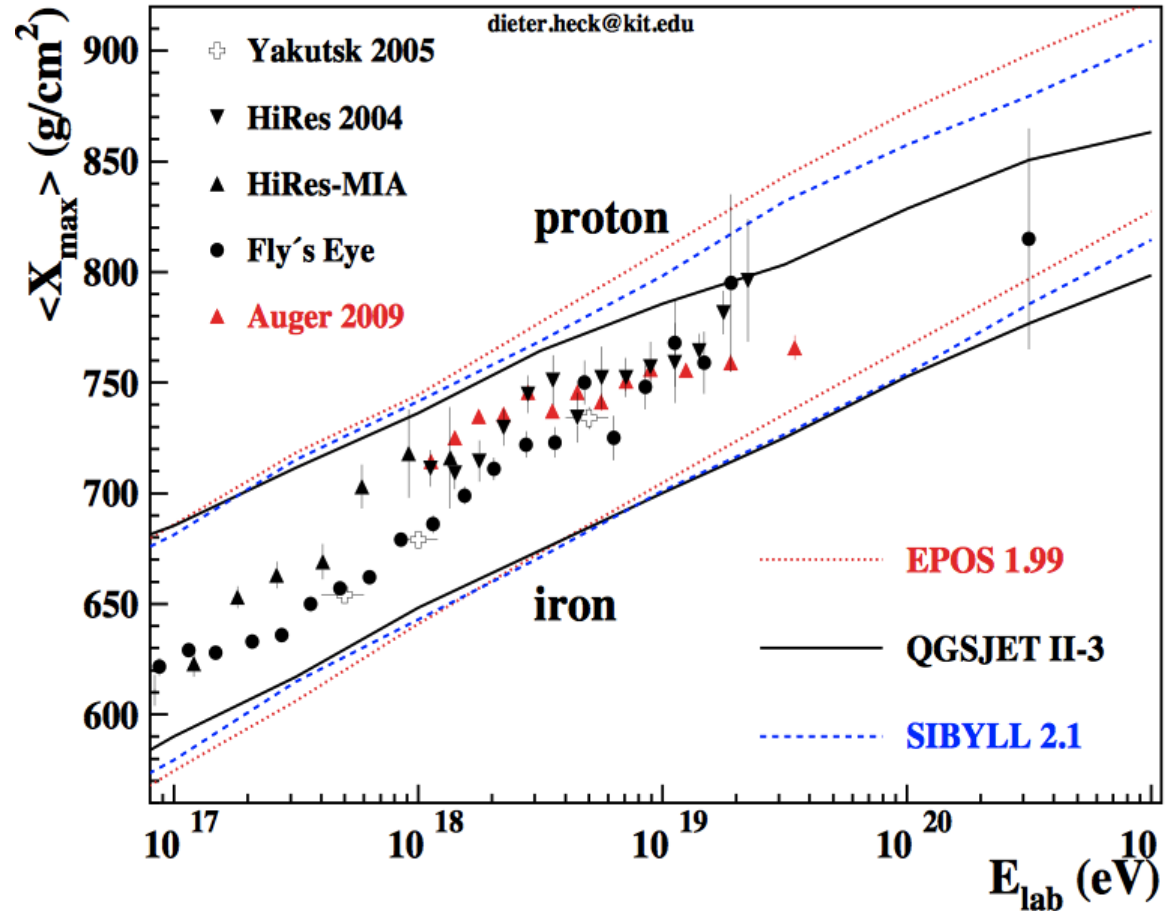
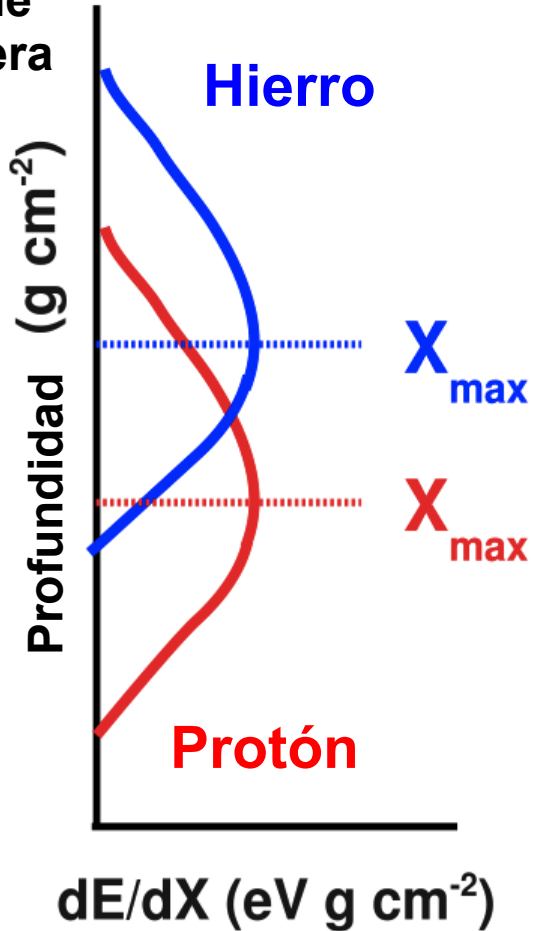
Composición de la masa de RCUE

Profundidad del máximo del chubasco X_{max}

Parte superior de la atmósfera



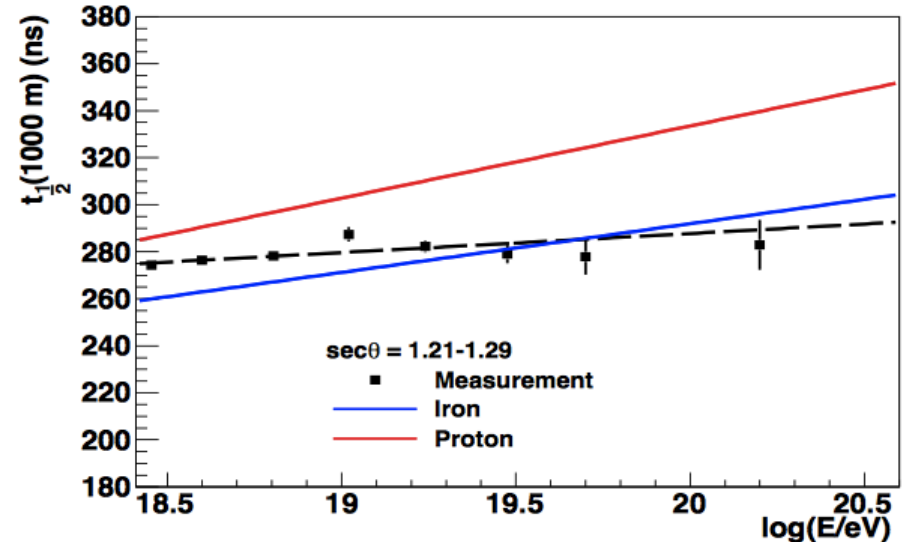
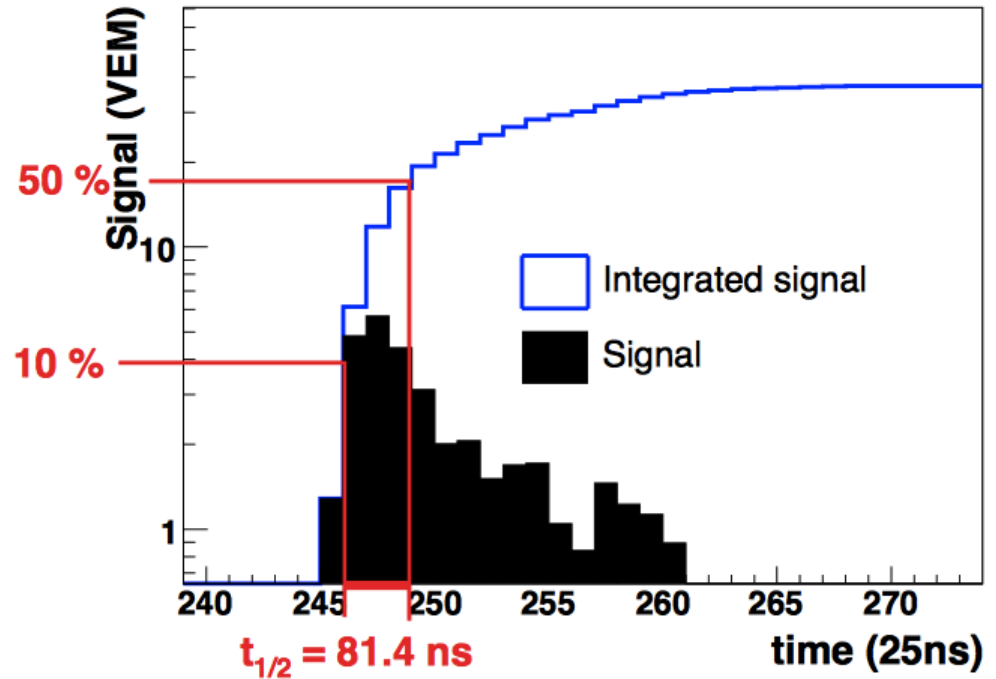
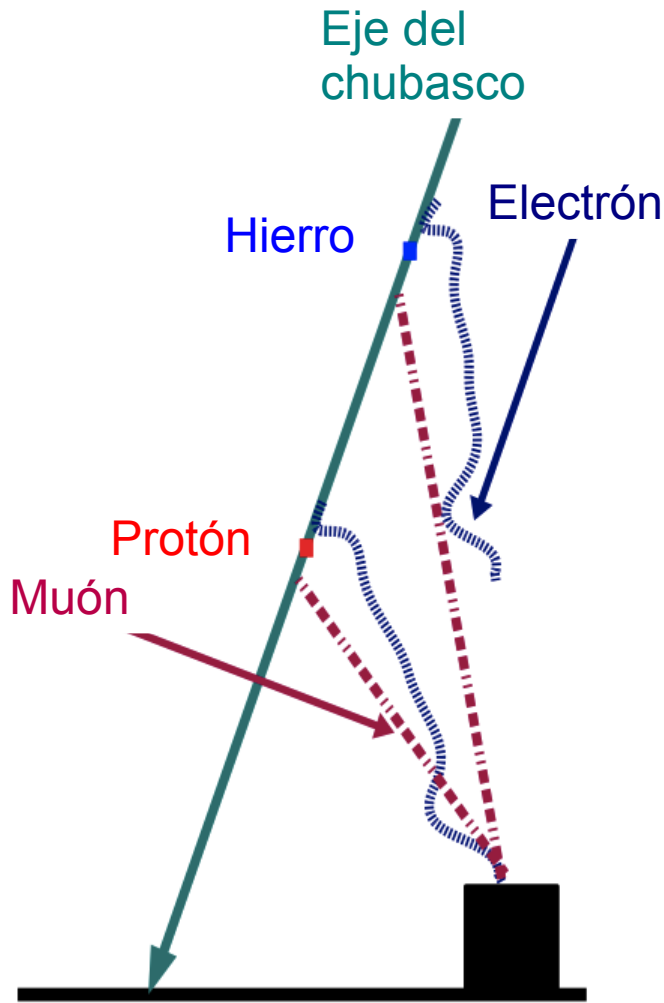
Suelo



Composición mixta
comparando con modelos de
interacción hadrónica

El parámetro de SD, $t_{1/2}$, sensitivo a la composición

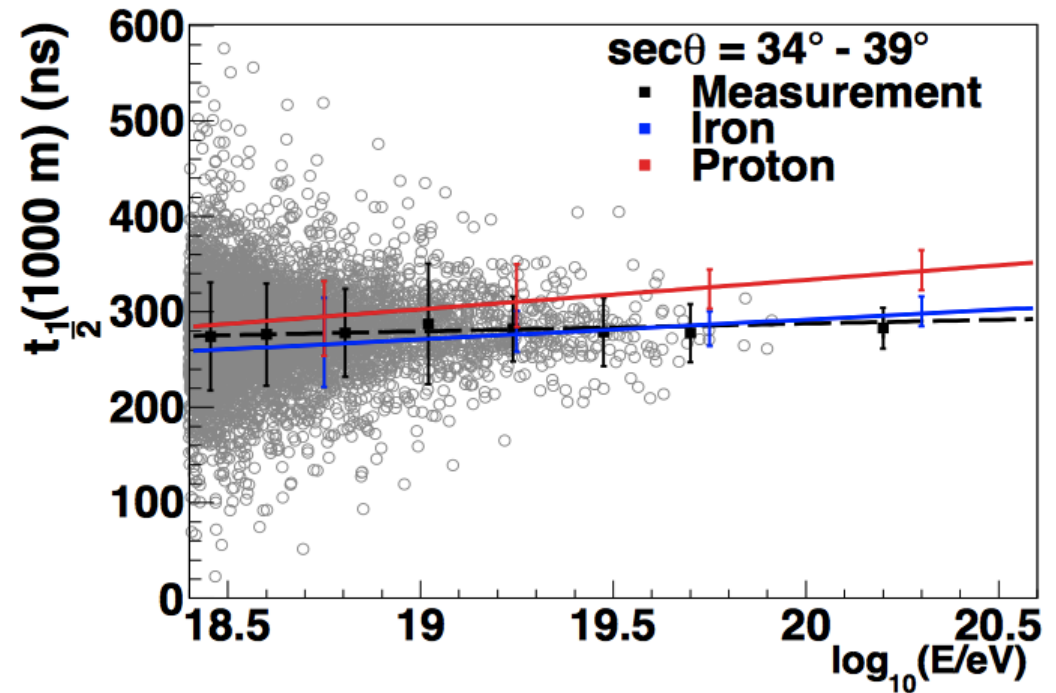
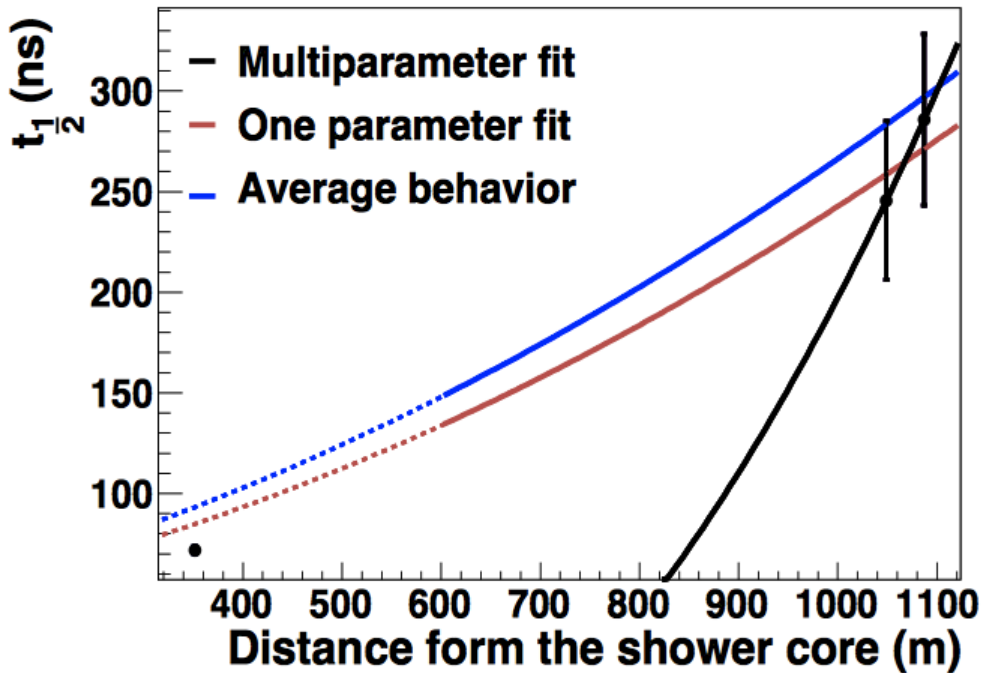
Traza FADC de una estación de SD



Partículas llegando al suelo

$t_{1/2}$ como parámetro sensitivo a la composición de la masa

$t_{1/2}(1000\text{ m})$ como parámetro sensible a la composición



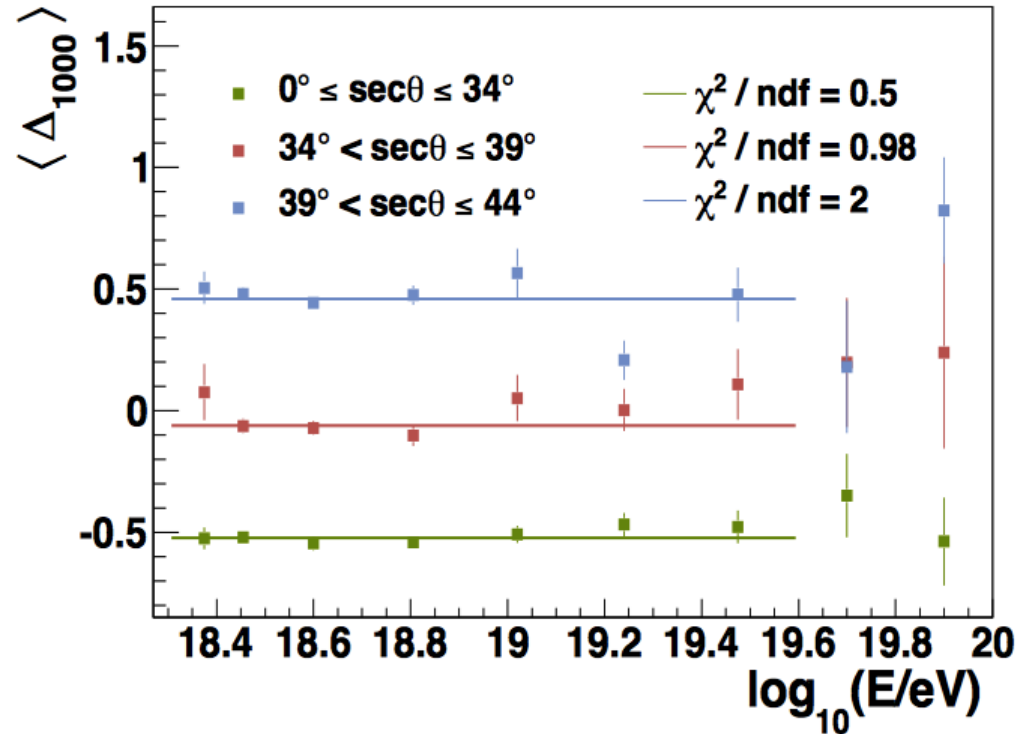
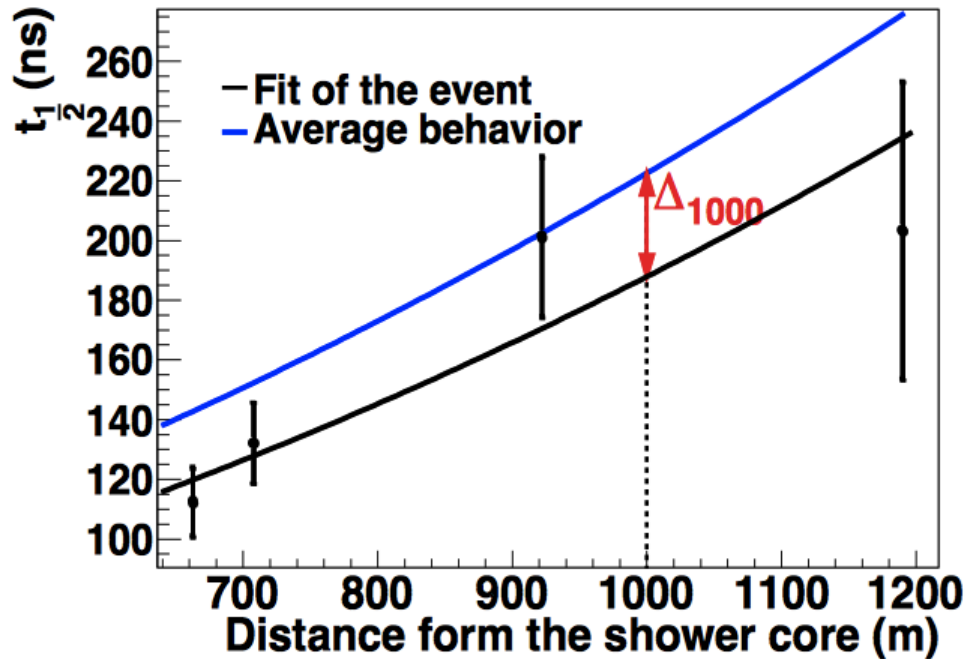
$$t_{1/2}(r, \theta, E) = 40 + a(E) \cdot \alpha(\theta) \cdot r + b(E) \cdot \beta(\theta) \cdot r^2 \text{ (ns)}$$

- Parámetros de *average behavior* fijos
- Buena parametrización con pocas estaciones
- Sólo se necesita una estación en [600m, 1200m]

No es un buen parámetro de composición:

- Depende del ángulo cenital
- Gran dispersión

Definición del parámetro Δ_{1000}

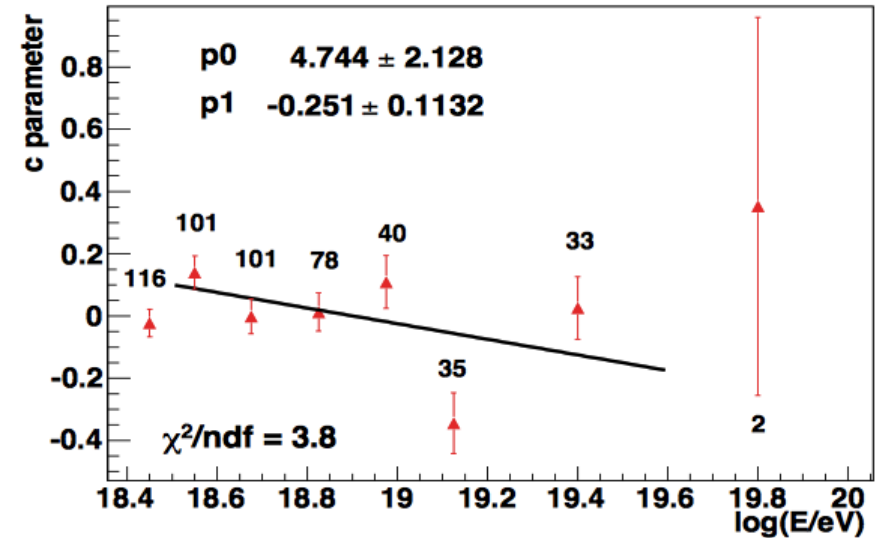
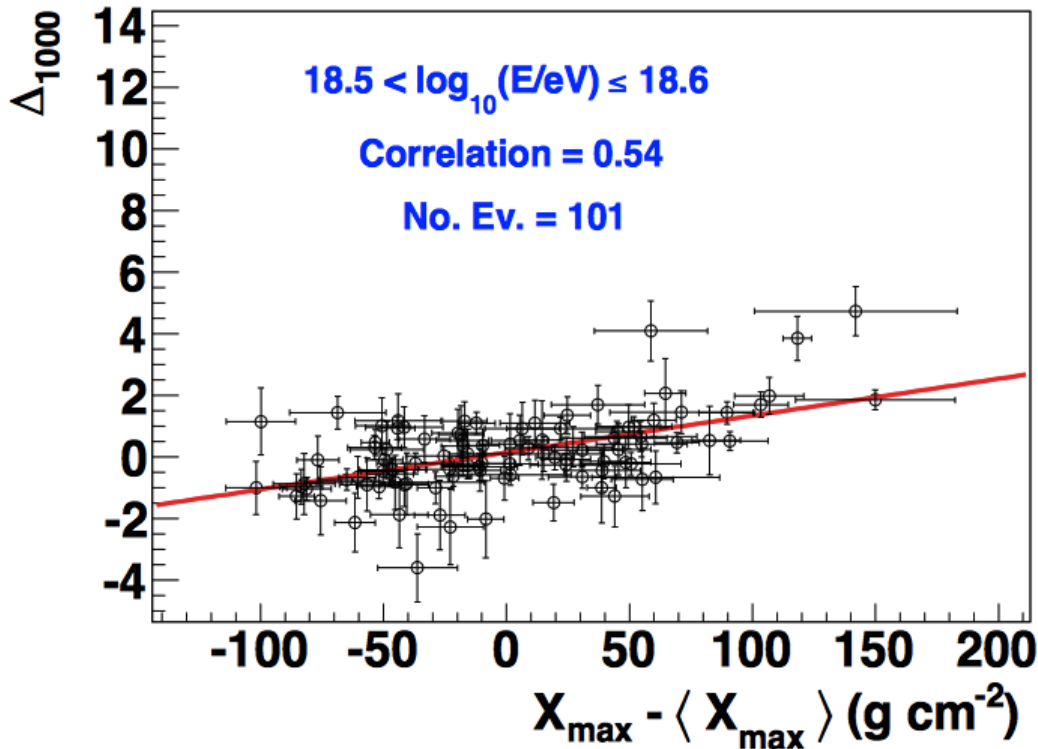


$$\Delta_{1000} (A) = \frac{(t_{1/2}(\mathbf{1000}) - t_{1/2}^{BM}(\mathbf{1000}))}{\sigma_{t_{1/2}}}$$

Una función promedio (BM: *Benchmark*) para cada uno de 5 rangos de energía

- No depende del ángulo cenital
- No tiene tendencias (bias) con la energía

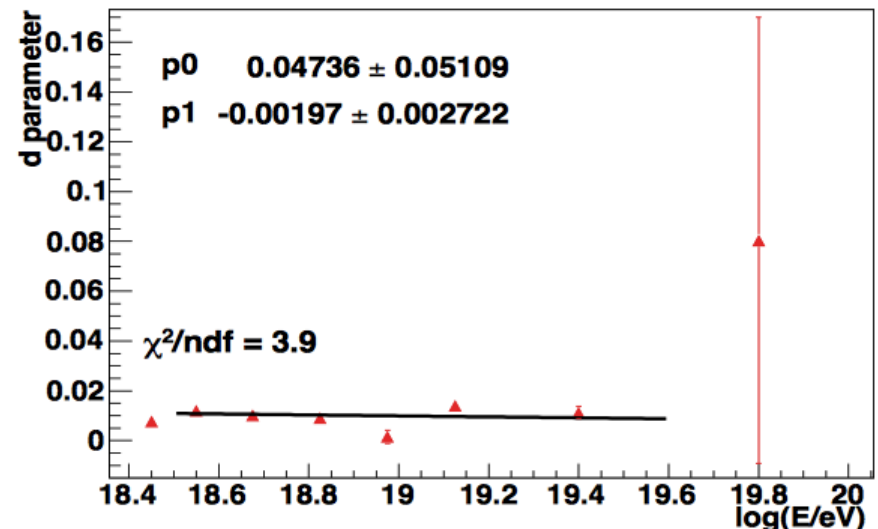
Calibración de Δ_{1000} con X_{\max}



$$\Delta_{1000}(E, X_{\max}) = c(E) + d(E) \cdot (X_{\max} - \langle X_{\max} \rangle)$$

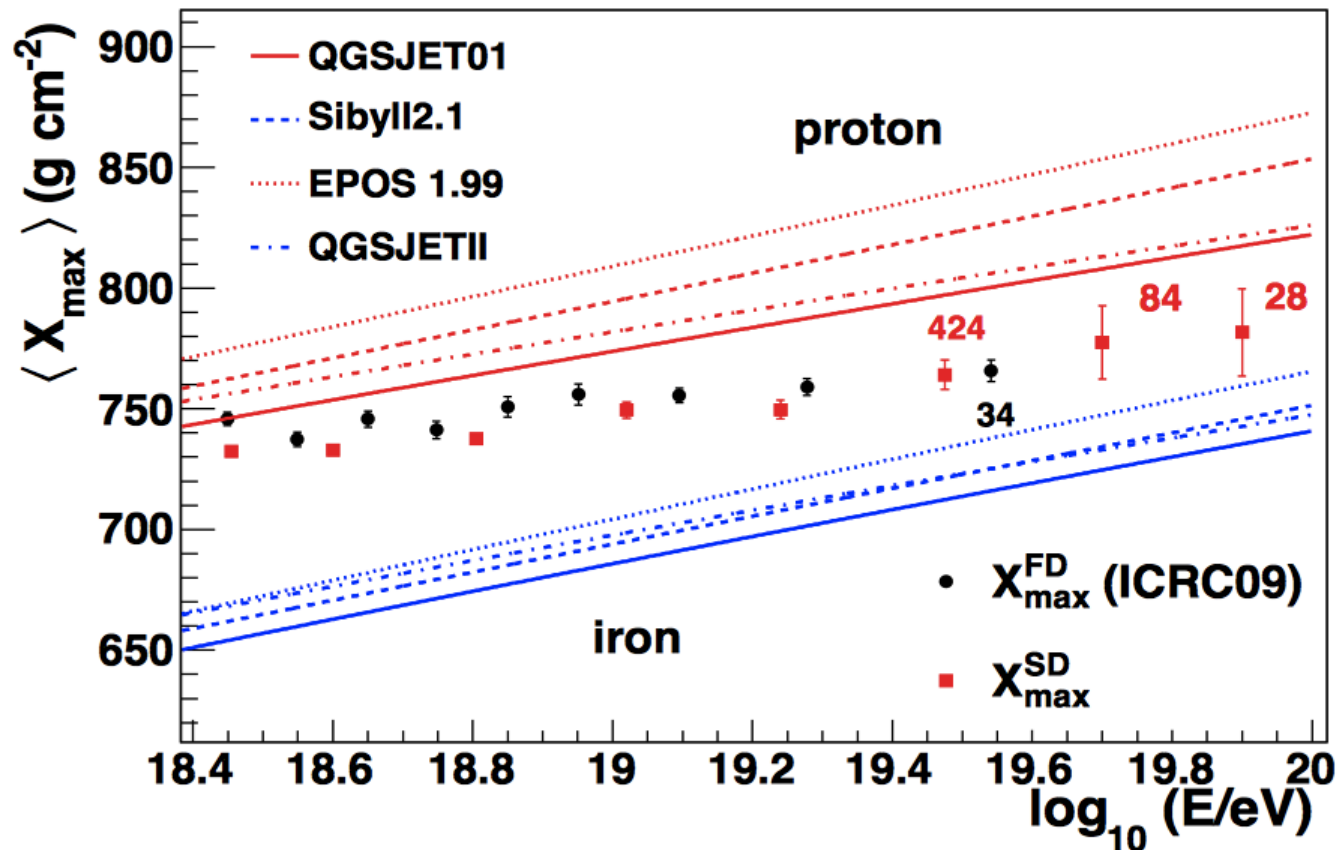
- Calibración hecha para 8 rangos de energía
- $c(E)$ y $d(E)$ parametrizada linealmente en el intervalo

$$18.5 < \log(E/eV) < 19.6$$



Primeros resultados: X_{\max} obtenida de Δ_{1000} (X_{\max}^{SD})

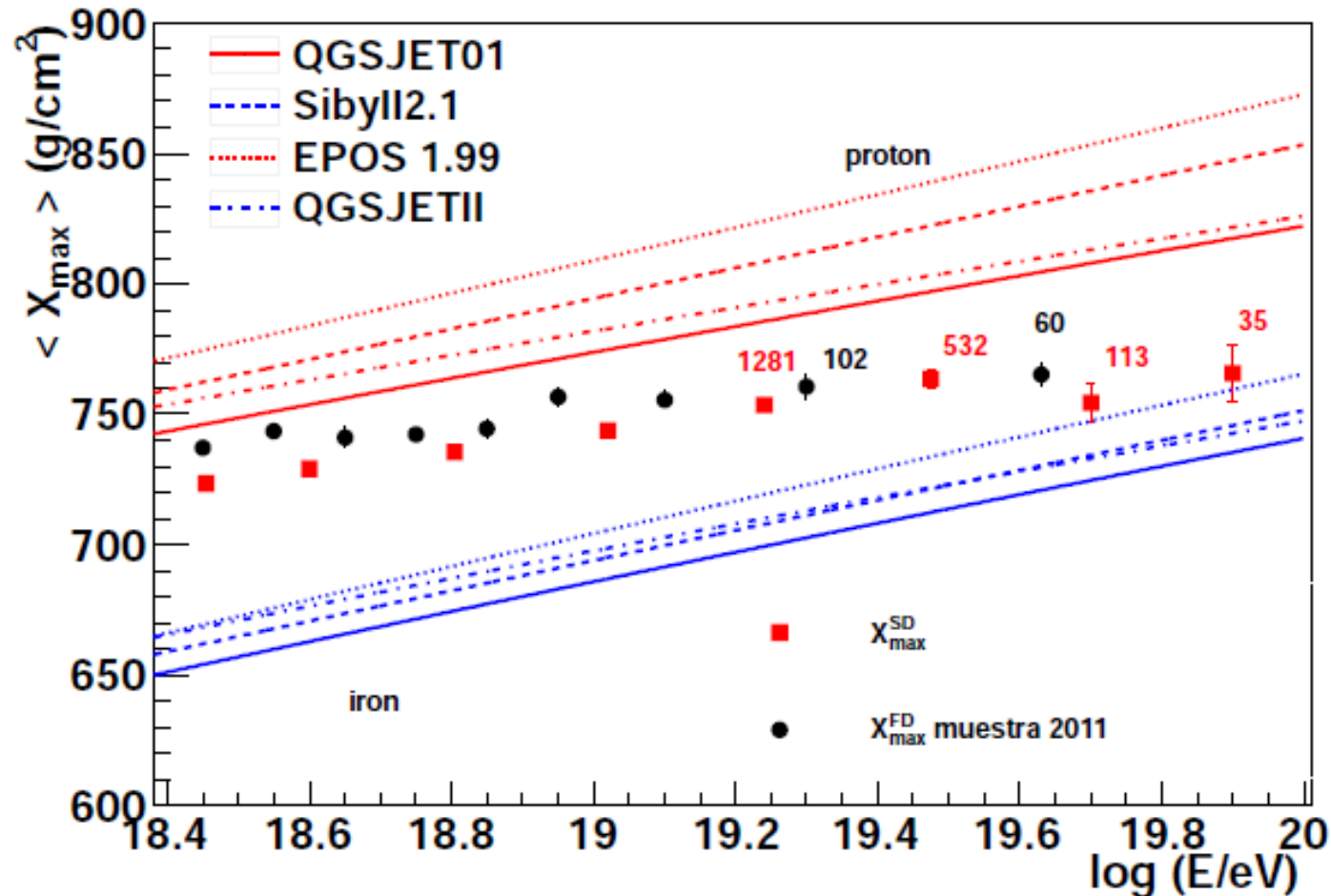
2004-Nov. 2009



- Concordancia con los resultados de FD
- Composición de la masa mixta para altas energías
- No es necesario depender de SD predicciones Monte Carlo
- La estadística se incrementó ~15 veces con respecto a FD

Actualización de resultados

Se agregaron condiciones de calidad sobre los eventos SD y sobre el parámetro Δ_{1000}
 Datos 2004-2010



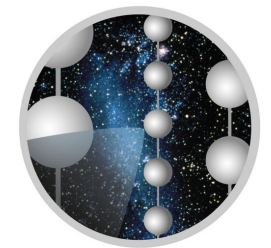
Estadística aumenta 11 veces con respecto a FD y las fluctuaciones de X_{\max} disminuyen 36% con respecto al estudio anterior *

Resumen

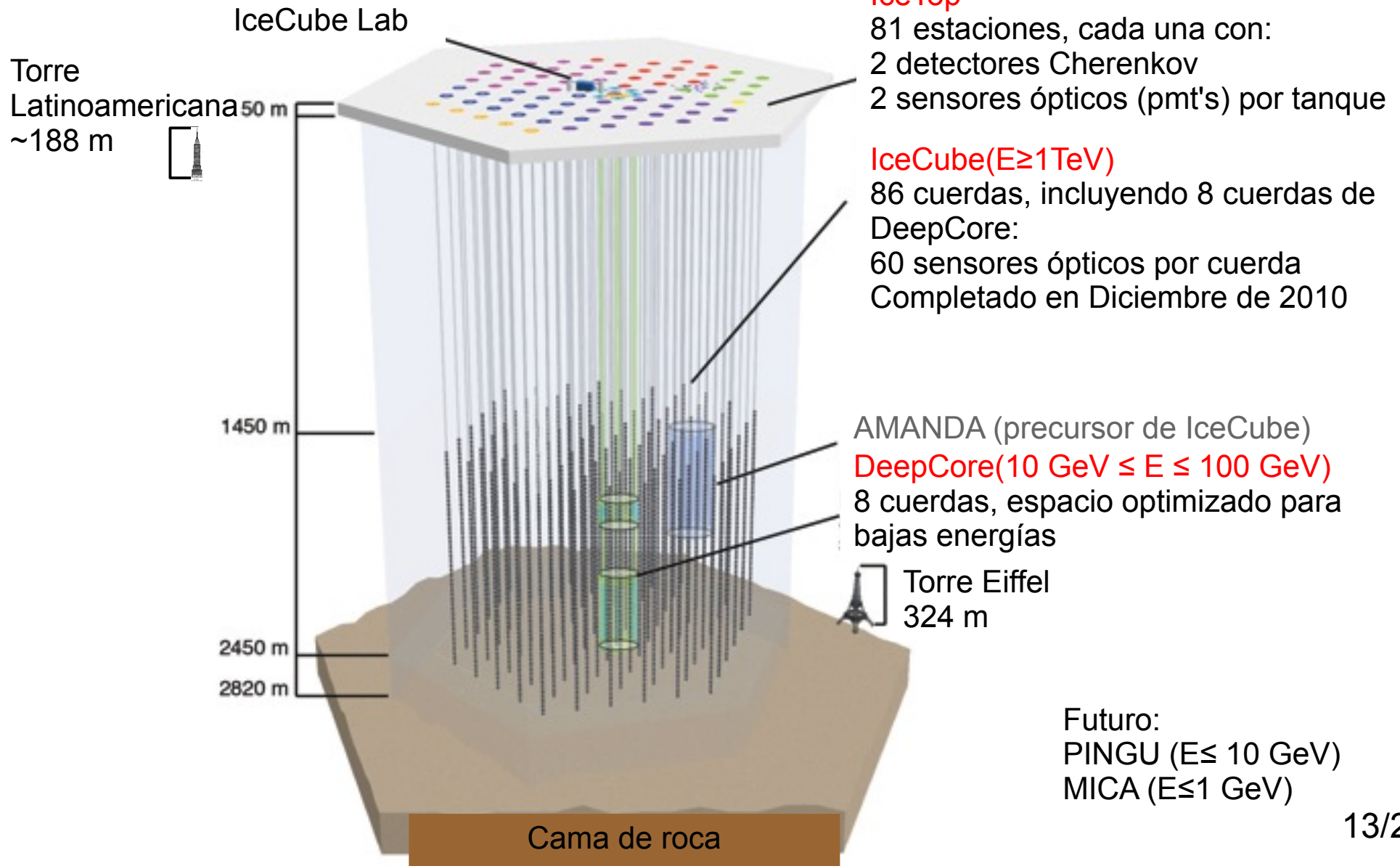
- Mayor estadística disponible de SD que de FD
- Δ_{1000} basada en trazas temporales de SD
- Calibración de Δ_{1000} con X_{\max} permite obtener X_{\max}^{SD}
- No es necesario usar simulaciones Monte Carlo
- Resultados de $\langle X_{\max}^{FD} \rangle$ en concordancia con $\langle X_{\max}^{SD} \rangle$
- Rango de medición para X_{\max} extendido de $10^{19.5}$
(X_{\max}^{FD}) a $10^{19.9}$ (X_{\max}^{SD})
- Incremento gradual de la masa promedio de RCUE con la energía
- No cambio dramático en composición química para altas energías

IceCube

Detector de neutrinos en el Polo Sur

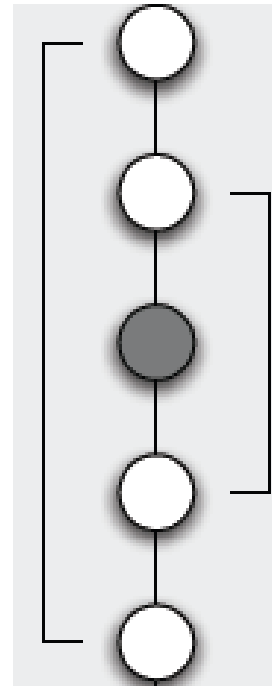
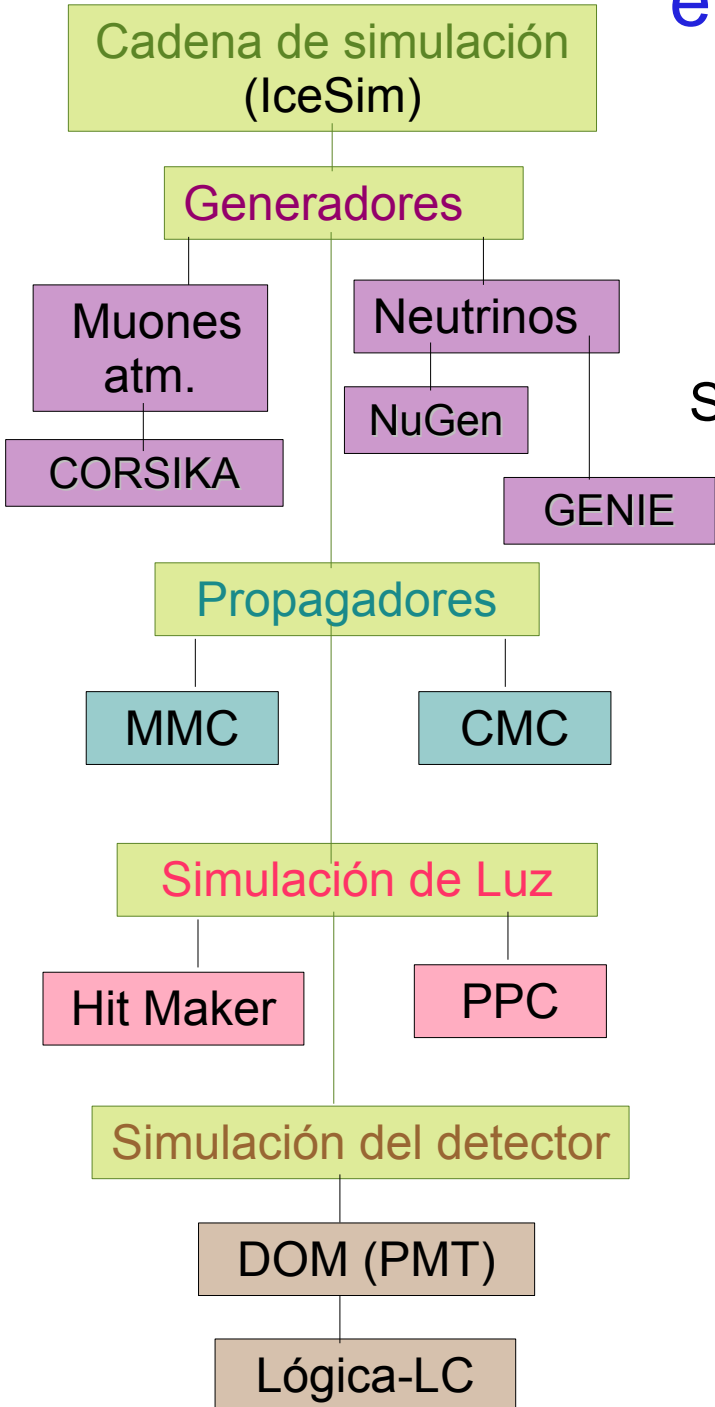


ICECUBE



Caracterización de una deficiencia en las simulaciones en el rango de DeepCore

*NChannel=Domo o PMT
LC=Local Coincidence



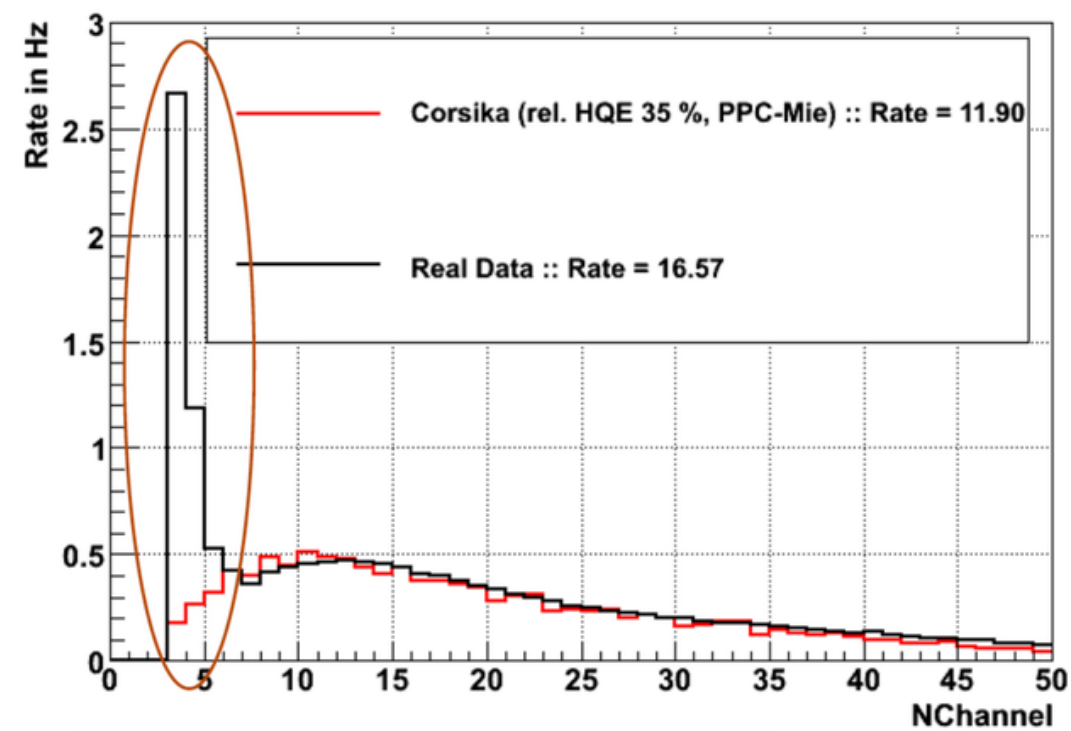
HLC (hard LC):
Tiene que cumplir cualquiera de los dos Spans

SLC (soft LC):
No tiene que cumplir los dos Spans, solamente registrar señal (excediendo 0.25 PE)

En una ventana de tiempo de $1\mu\text{s}$

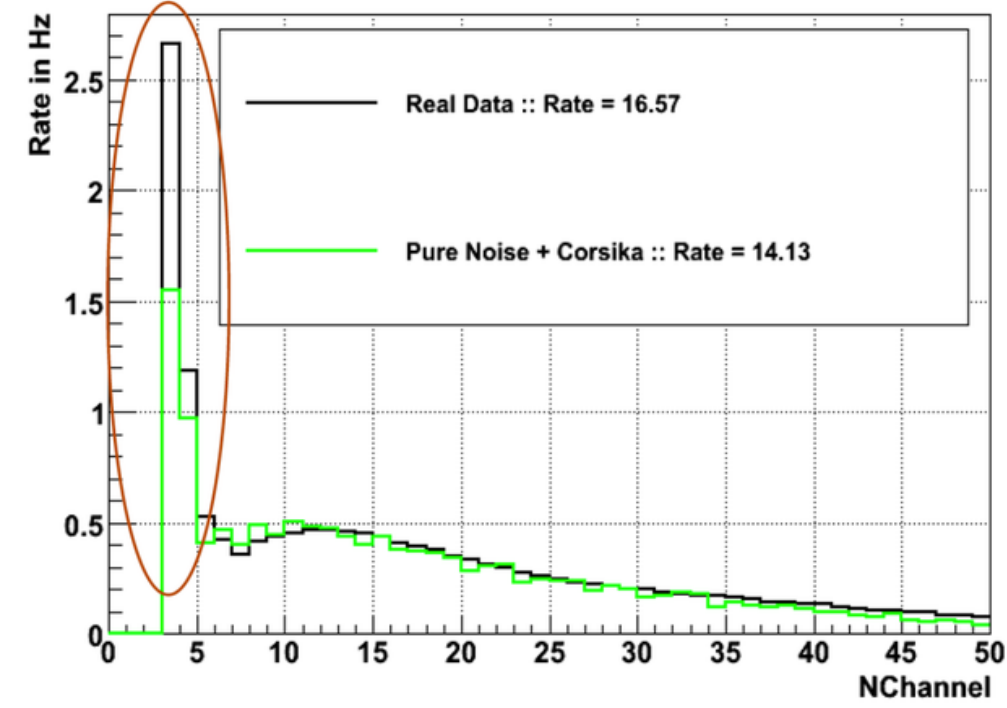
Las mediciones no siempre siguen la lógica LC, al contrario de las simulaciones

NChannel DeepCore Filter (HLC==NDOM)



La discrepancia disminuye añadiendo ruido puro poissoniano

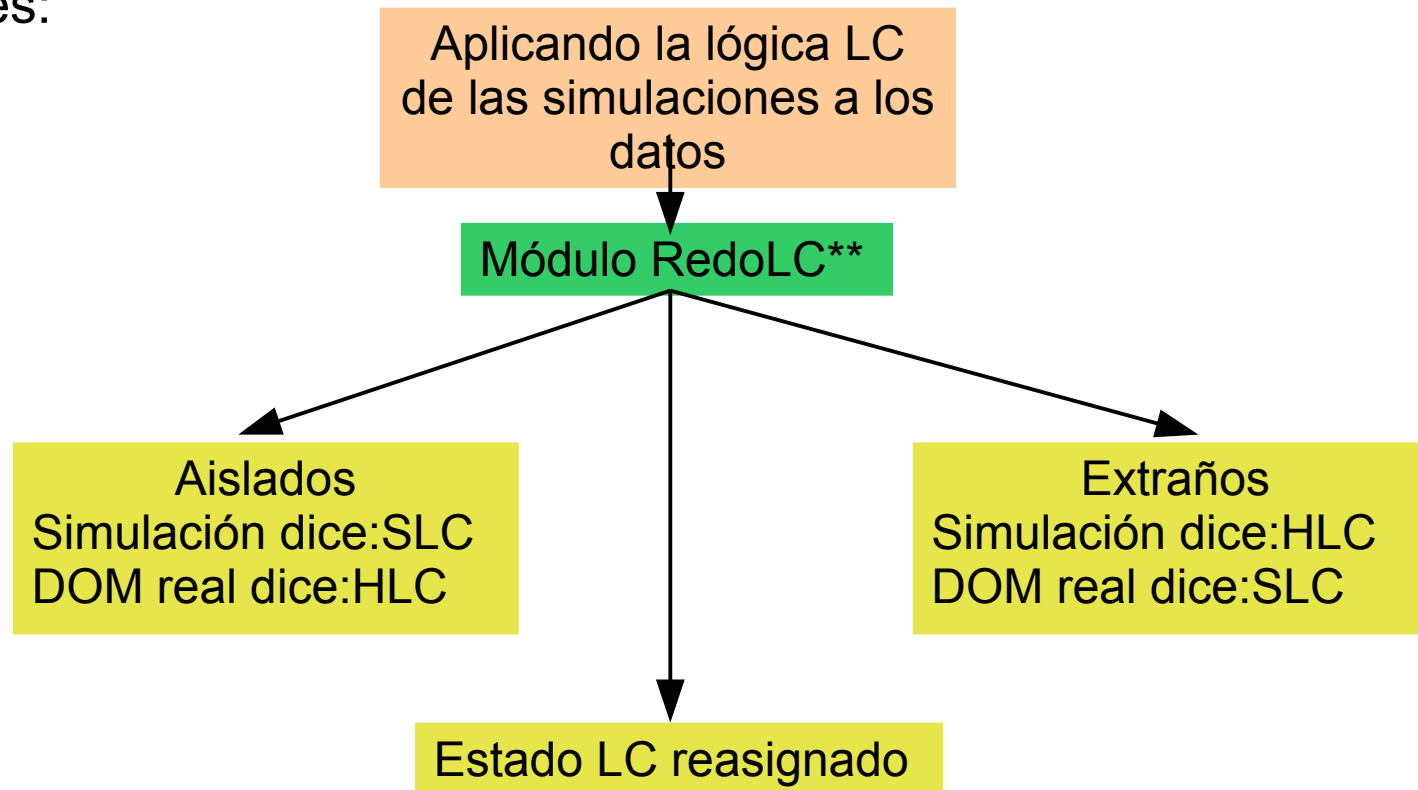
NChannel DeepCore Filter (HLC==NDOM)



Pero esto no explica la diferencia totalmente

Se explora cómo el estado de LC dado por los DOMs contribuye a la discrepancia

Se compara el estado LC asignado en las mediciones con el que se asigna en las simulaciones:



~1.2 Hz para NChannel = 3 viene de DOMs aislados y extraños

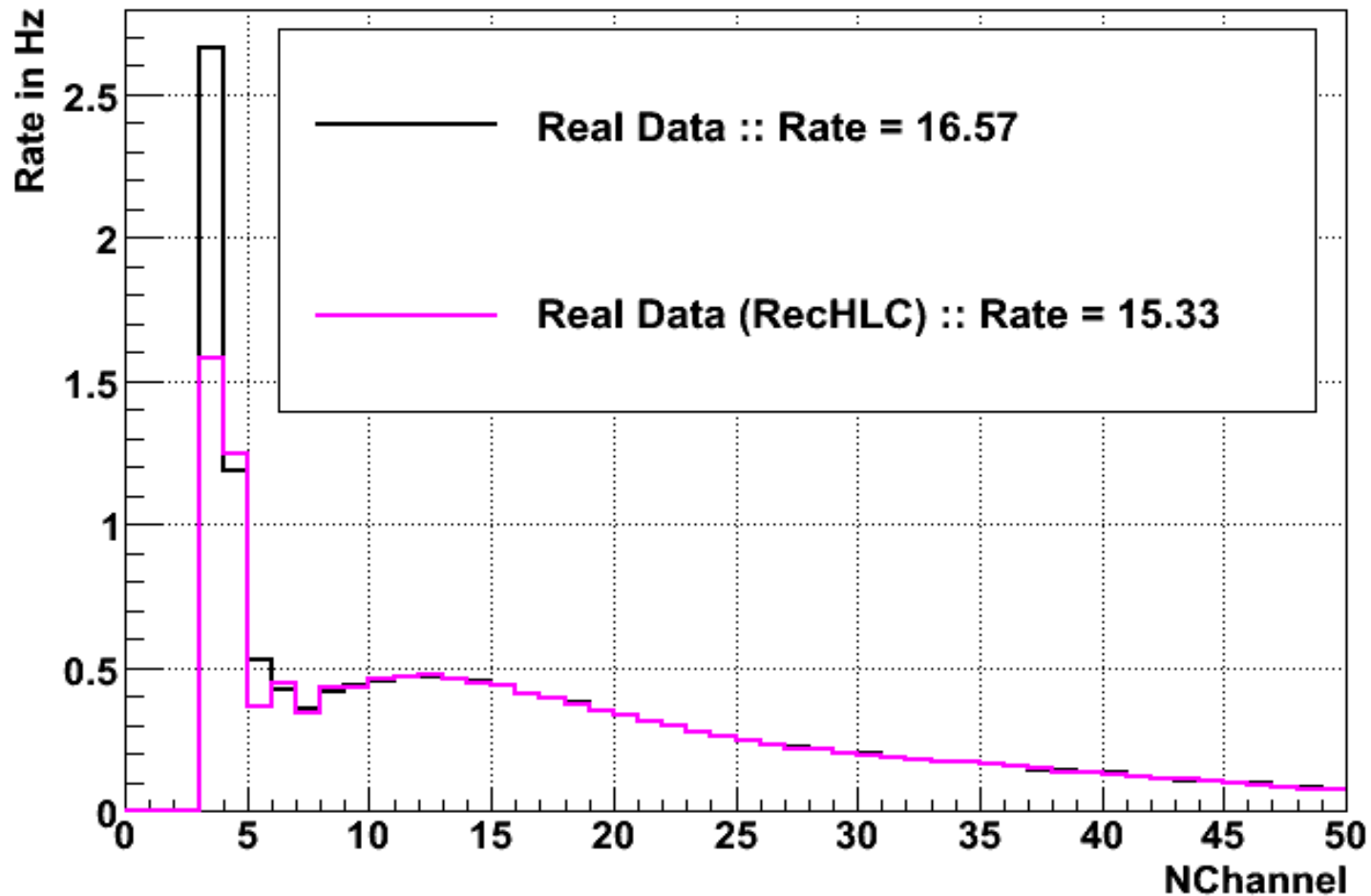
*DOMsimulator version V02-03-09

** <http://code.icecube.wisc.edu/projects/icecube/browser/sandbox/kscm/LClogic-offline/trunk>

Distribución NChannel con estado LC reasignado

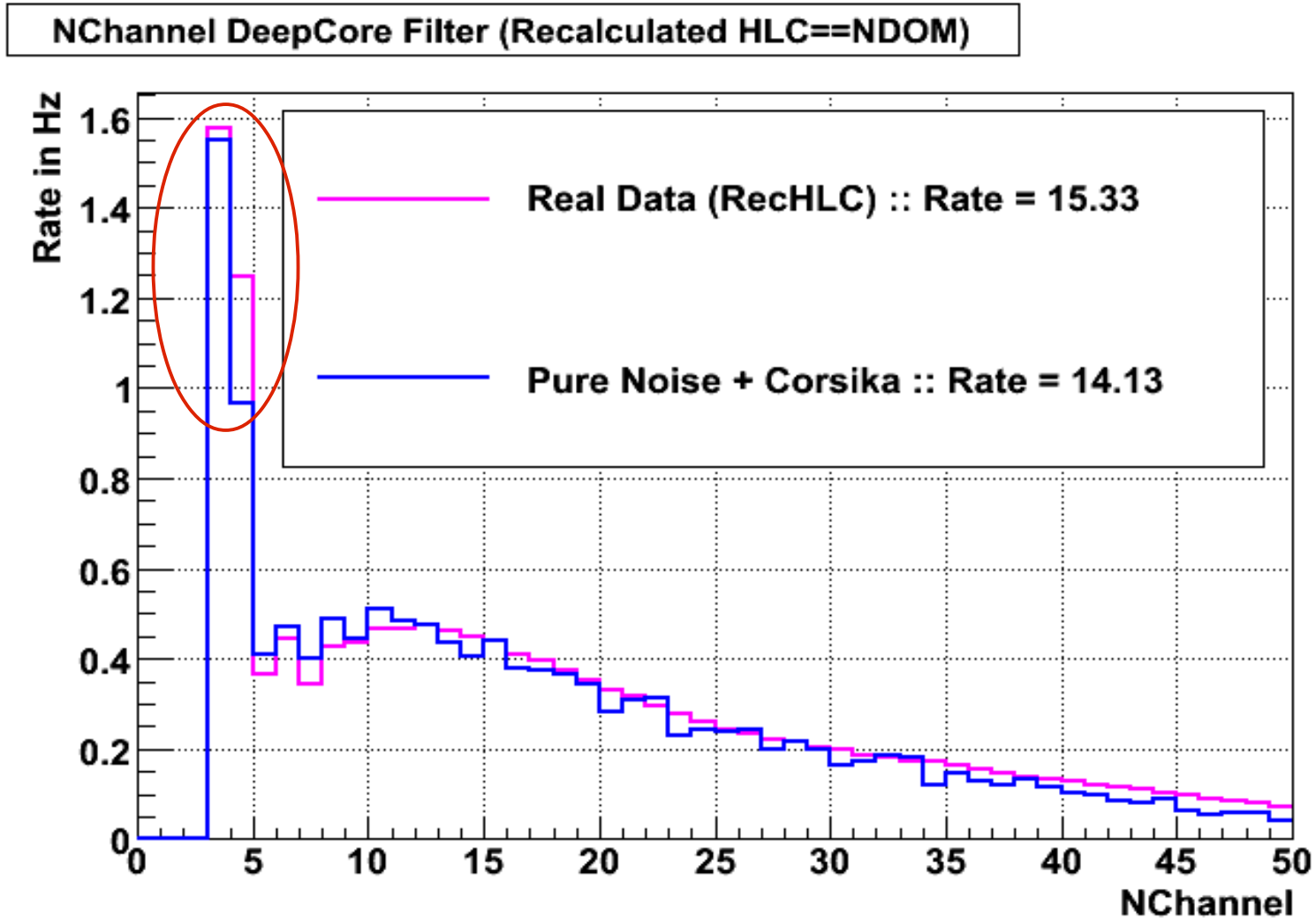
El ~ 1.1 Hz restante para NChannel = 3 no se reproduce siguiendo la lógica LC definida y usada en las simulaciones, pero puede explicarse con los DOMs aislados y extraños

NChannel DeepCore Filter (HLC==NDOM)



¿Qué hace falta a las simulaciones para producir DOMs aislados y extraños?

Agregando ruido puro a las simulaciones



Todavía hay una diferencia pequeña para reproducir HLC de los datos

Resumen

Las simulaciones no consideraban:

- Ruido puro poissoniano
- Comportamiento anómalo de los DOMs ante la lógica LC

Simulaciones recientes ya consideran el ruido y se intenta tratar LC correctamente para describir lo que está pasando en los DOMs reales

HAWC (High Altitude Water Cherenkov Detector)

Gamma-ray observatory



300 tanques 7.3 m diámetro
y 5m alto
4 PMT al fondo
Agua dentro de una bolsa
oscura
20 000 m² área

100 GeV-100 TeV

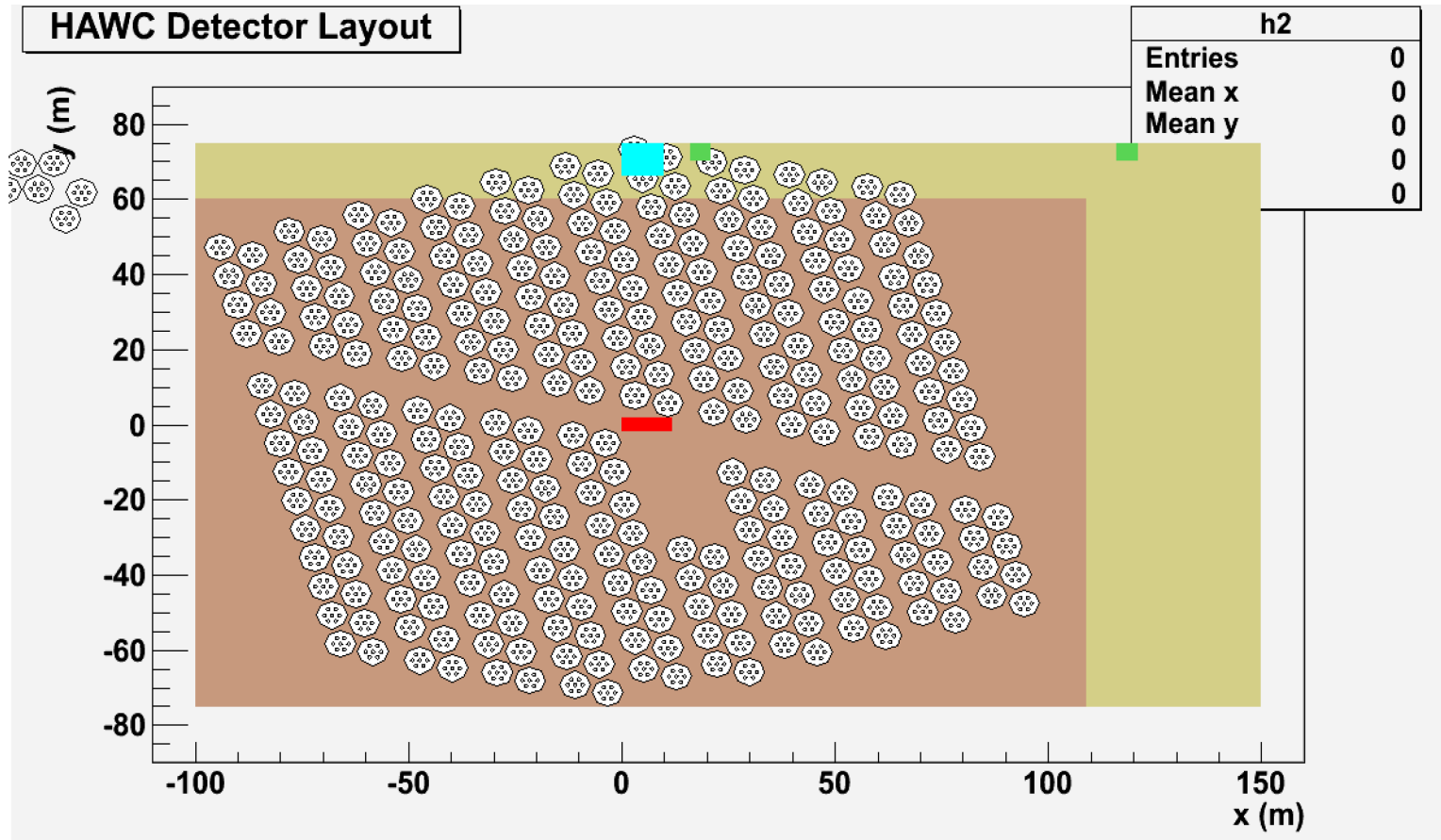
Actualmente se han
instalado 100
tanques



Sierra Negra, Puebla, México

Explorar diferentes configuraciones para 300 HQE PMTs adicionales y encontrar la mejor área efectiva para $E < 1\text{TeV}$ (con simulaciones)

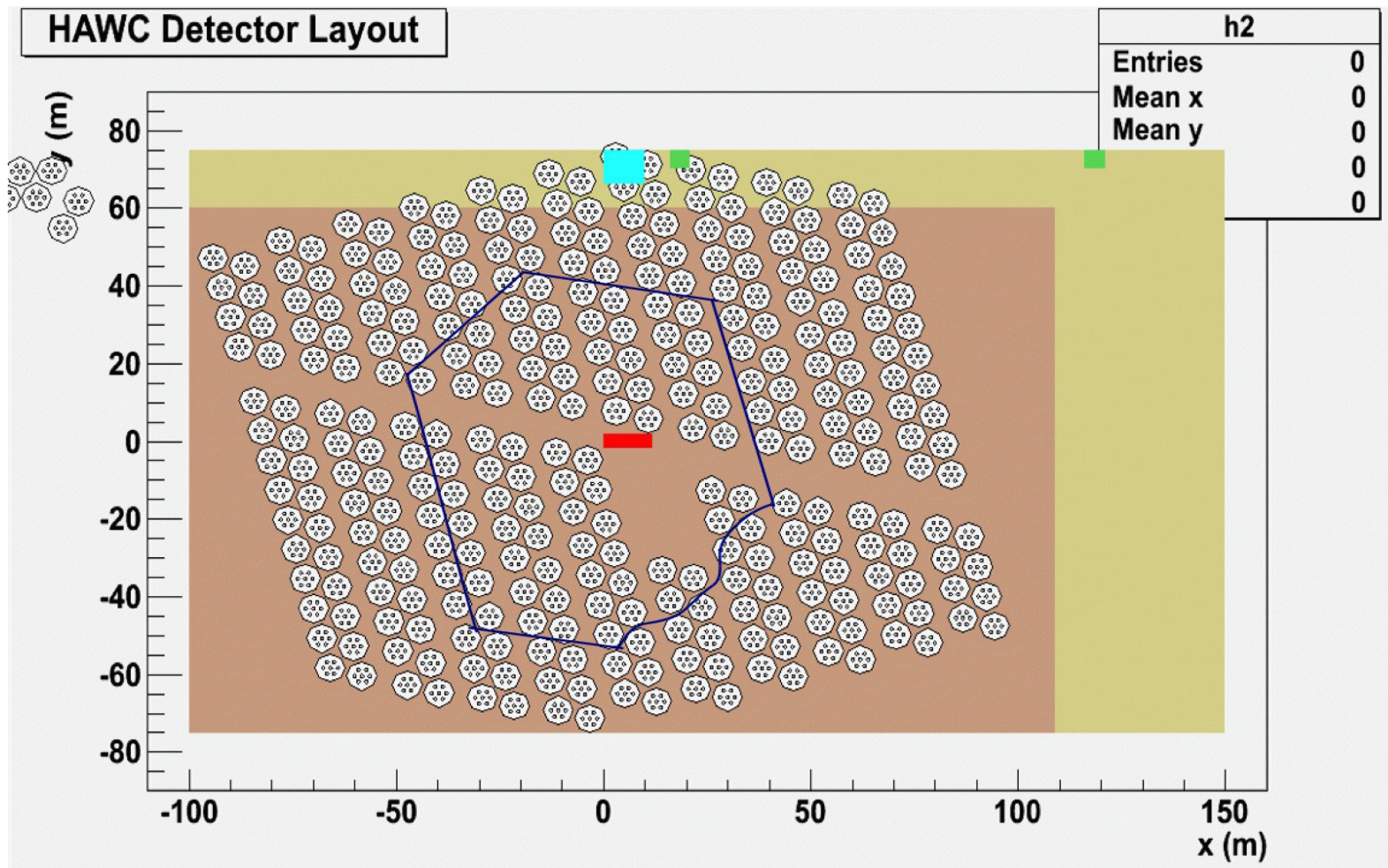
- Simulaciones de gamma:



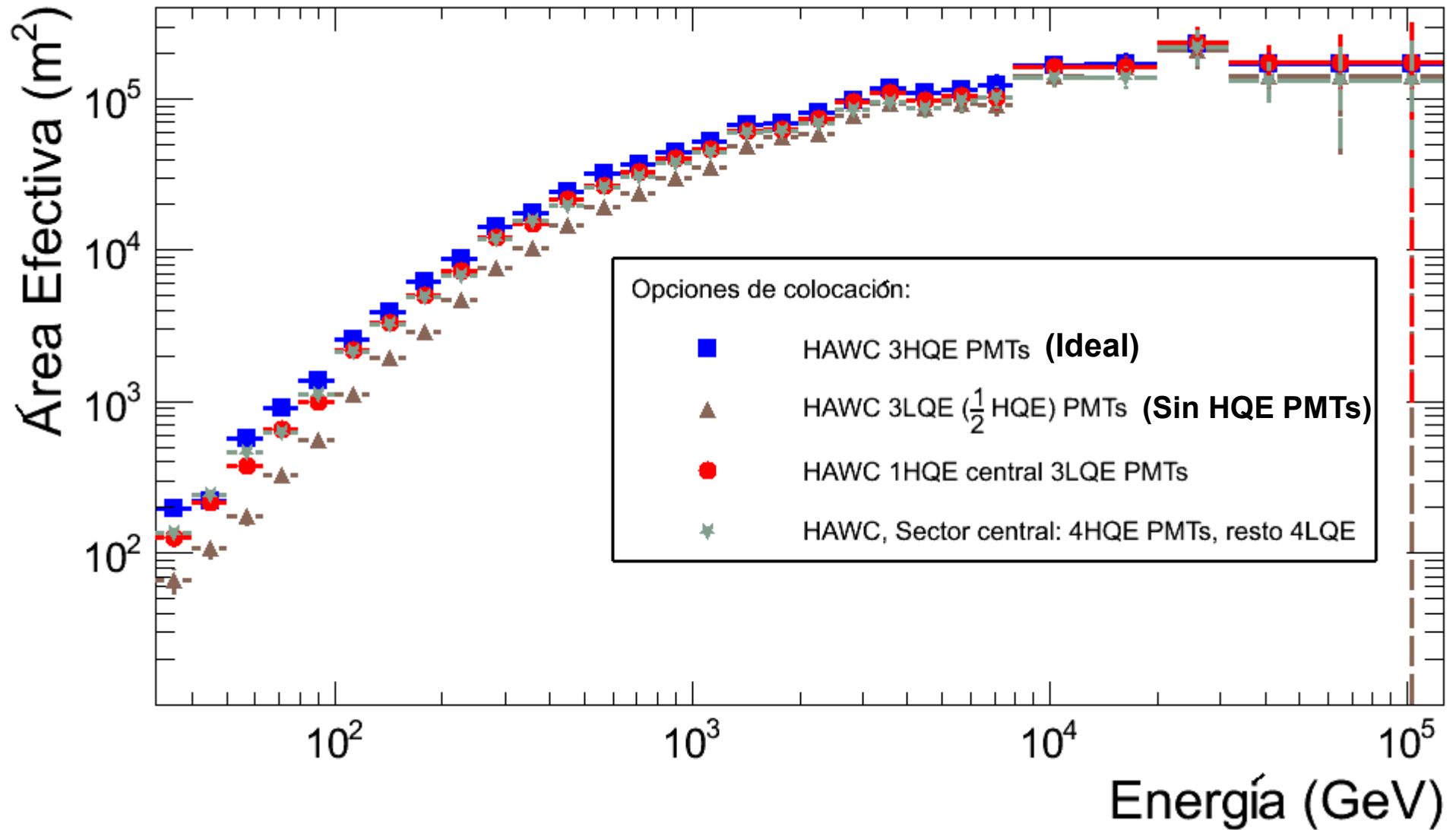
- Todos los 7 PMT's son HQE
- Se eliminan los PE's extra para algunos PMT's
- Se combinan eficiencias altas y bajas

Opciones exploradas:

1. Todos los tanques con 3 HQE PMT's
2. Todos los tanques con 3 LQE PMT's
3. Todos los tanques con 1 HQE PMT (el central) y 3 LQE PMT's
4. Un sector central de la red de tanques con 4 HQE PMT's y el resto de los tanques con 4 LQE PMT's



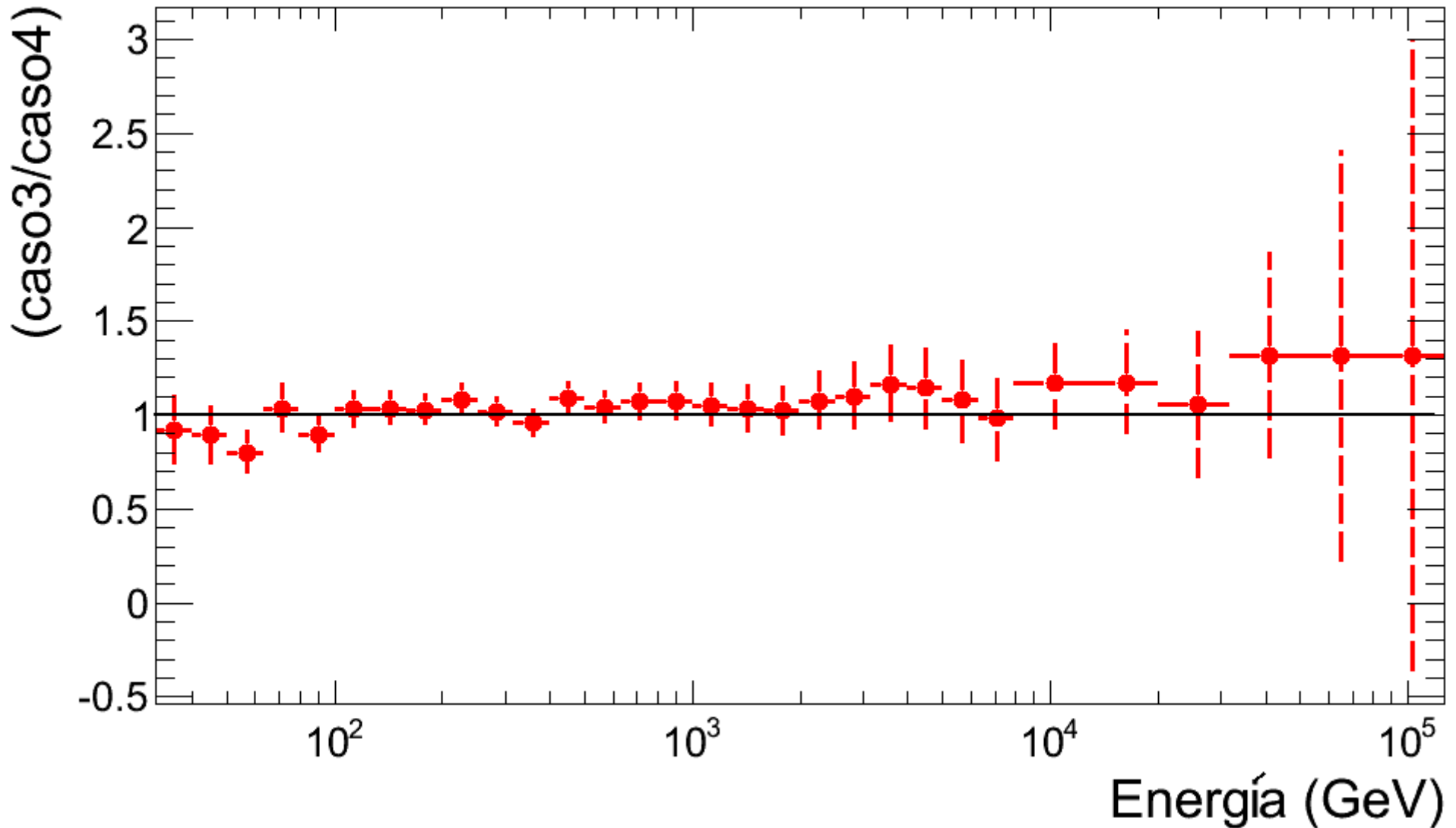
Comparación de las áreas efectivas obtenidas:



- Rojo y verde (3 y 4) incrementan el área efectiva a baja E
- Rojo incrementa el área para todo el rango de E

Razón entre opciones 3 y 4:

Todos los tanques con 1 HQE PMT (central) y 3 LQE PMT's
Un sector central de la red de tanques con 4 HQE PMT's y el resto de los tanques con 4 LQE PMT's



Resumen

- Aunque la opción 4 incrementa ligeramente más que la opción 3 el área efectiva para <100 GeVs, para altas energías no hay mejora
- La Opción 3 incrementa el área efectiva en todo el rango de energías

iGracias!

Láminas de respaldo

Condiciones para SD

Para eventos:

- T5
- $44^\circ < \theta < 60^\circ$
- Eventos con al menos 1 estación con $S \geq 15$ VEM
- Localizadas en:
 $600\text{m} < r < 1200\text{m}$

Para *benchmarks*

(*parametrización promedio*):

- 5 rangos de energía \Rightarrow 5 benchmarks

Para estaciones:

- Candidata
- No saturada
- No relámpago
- $t_{1/2} > 50$ ns
- Error de $t_{1/2} < 60$ ns
- $0 < t_{1/2} \text{ (corregido)} < 594$ ns
- $S \geq 15$ VEM

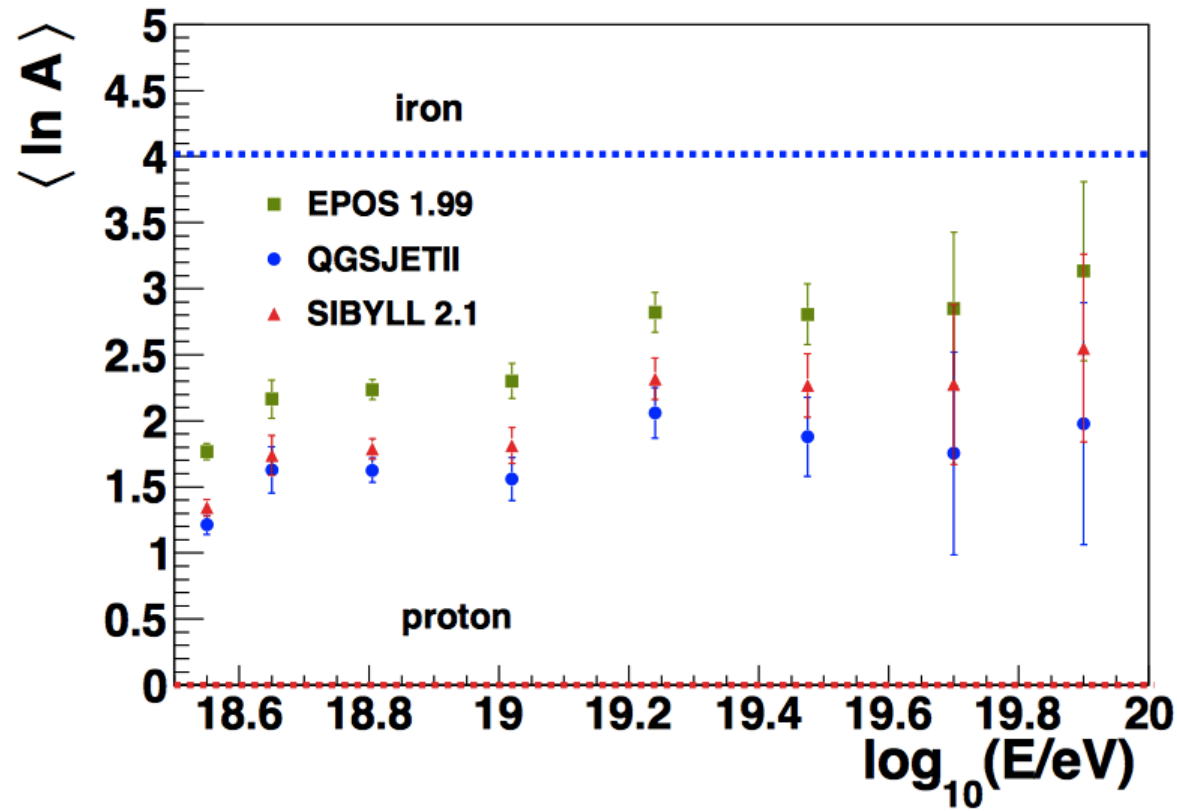
Con respecto a Δ_{1000} :

- $|t_{1/2}(1000\text{m}) - t_{1/2}^{BM}(1000\text{m})| < 2\sigma_{t_{1/2}}$
- $\chi^2 < 30$

Condiciones para FD

- σX_{\max} de rec. ~ fluctuaciones esperadas para Fe (20 g/cm²)
- No periodos con nubes
- Mediciones confiables de la profundidad óptica vertical de aerosoles
- Calidad de parametrización de perfil $\chi^2/Ndf < 2.5$
- $E > 10^{18}$ eV
- Ángulo de emisión de luz $> 20^\circ$
 - Asegurar sincronización de FD-SD
 - Remover eventos con fracción alta de luz Cherenkov
- X_{\max} en el campo de vista de los telescopios (1.5° a 30° de elevación)
- Incertidumbre estadística de la rec. < 40 g/cm²
- Cuts del volumen fiduciario (fiducial cuts) basados en la geometría del chubasco para asegurar que el rango visible de la X_{\max} para cada chubasco es suficientemente grande para acomodar la distribución total de X_{\max}

Deducciones de composición de masa usando X_{max}^{SD}

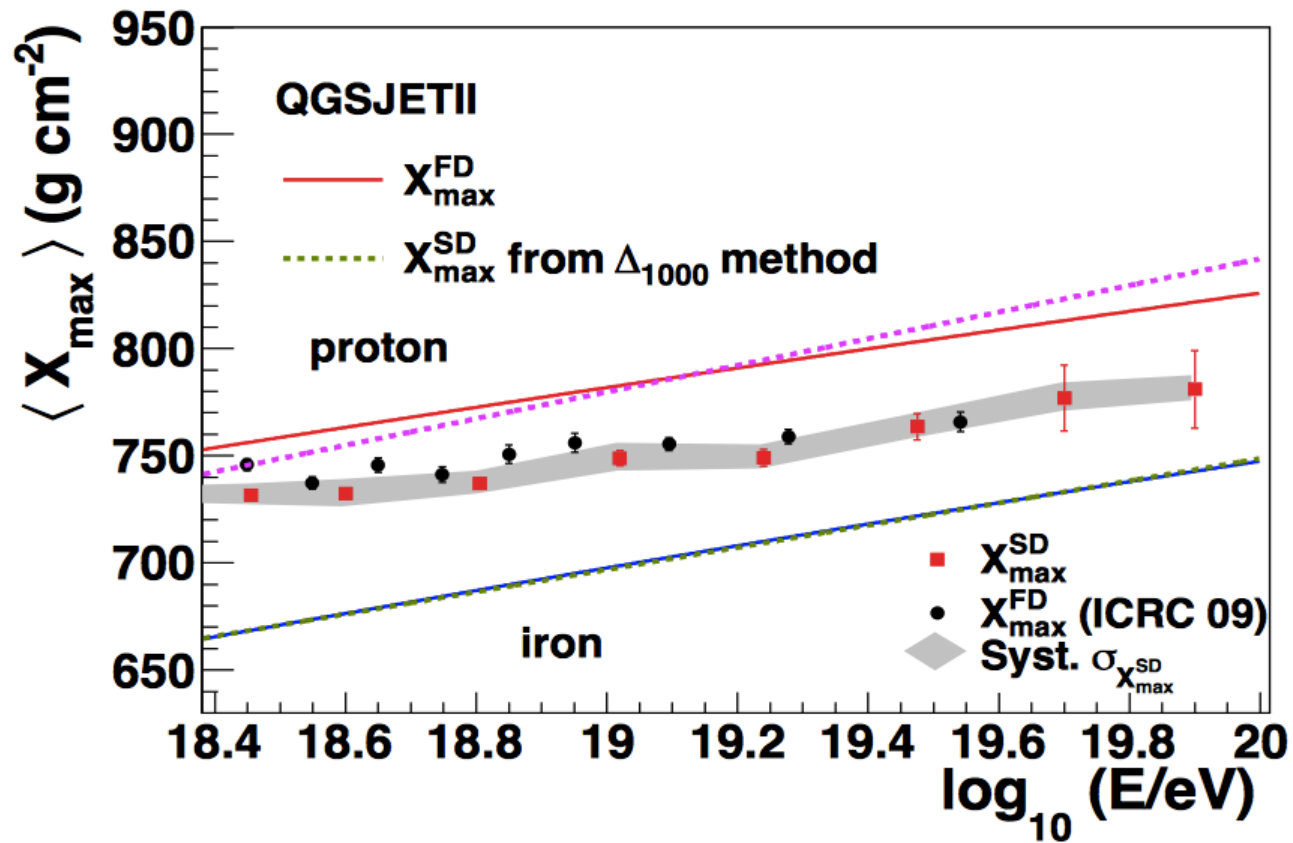


La masa logarítmica media:

$$\langle \ln A \rangle = \ln A_{Fe} \cdot \frac{X_{max}^{meas} - X_{max}^p}{X_{max}^{Fe} - X_{max}^p}$$

- Incremento de la masa hasta $\log_{10}(E/eV) = 19.6$
- La masa está entre protón y hierro
- No se puede llegar a conclusiones para altas energías

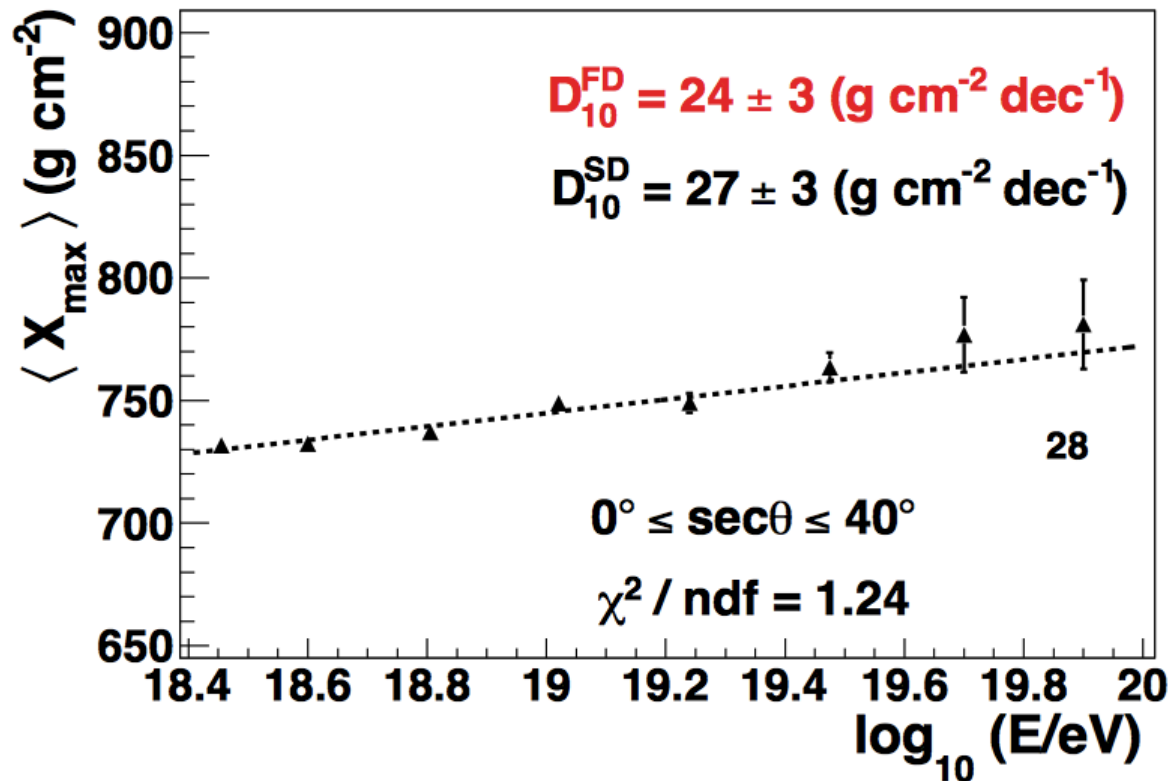
Deducciones de composición de masa usando X_{\max}^{SD}



Prueba del método Δ_{1000} con simulaciones:

X_{\max}^p y X_{\max}^{Fe} , composición pura en concordancia con simulaciones Monte Carlo

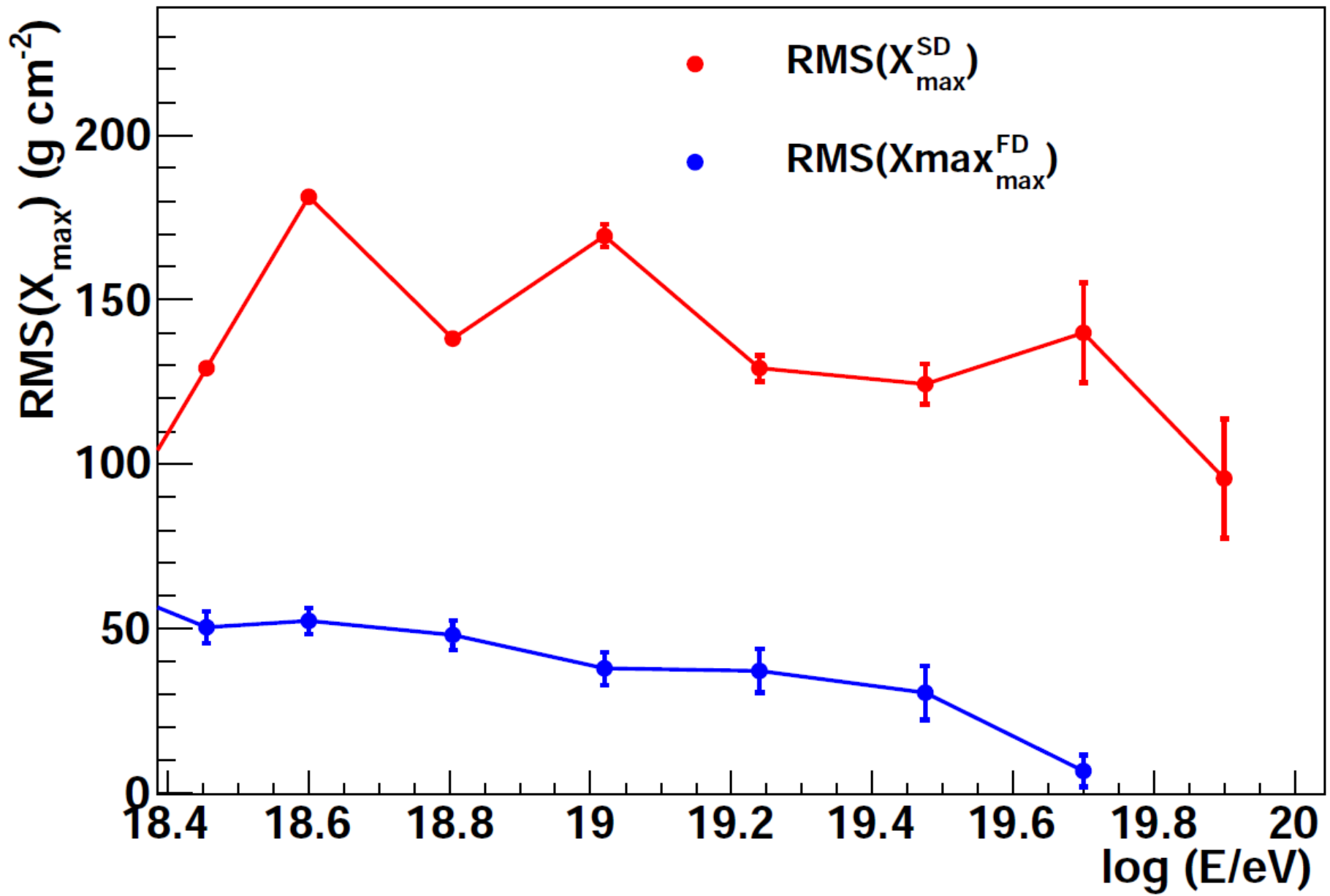
Deducciones de composición de masa usando X_{\max}^{SD}



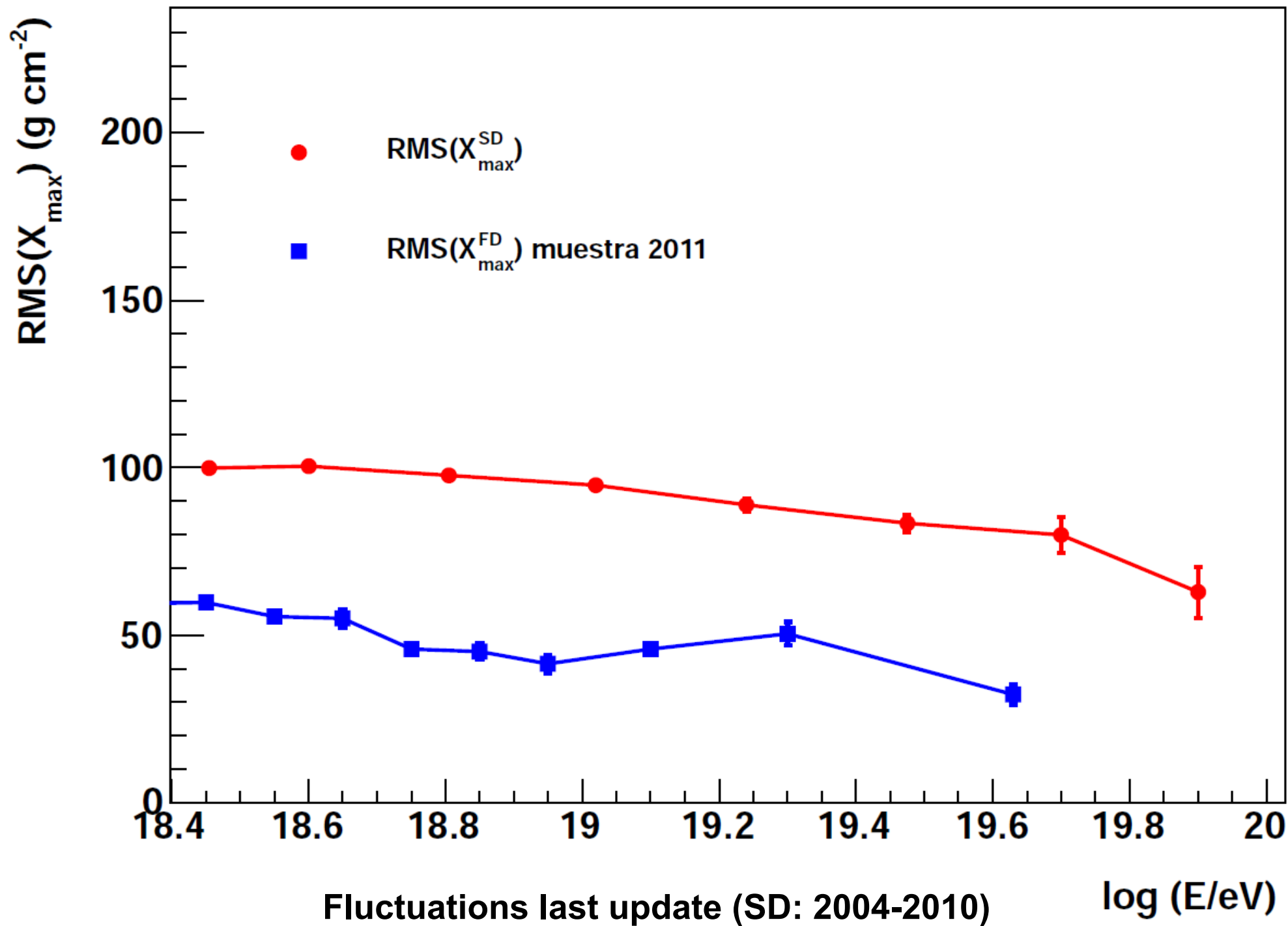
La razón de elongación:

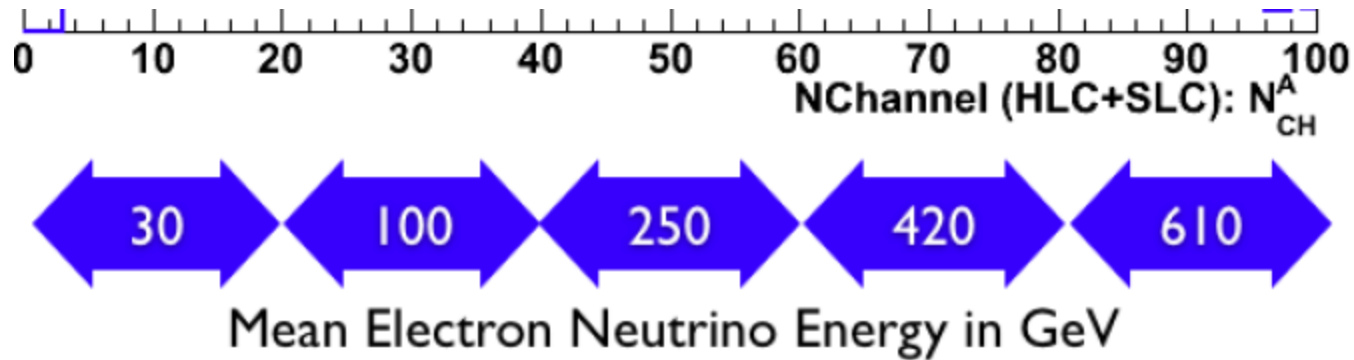
$$D_{10} = \frac{d \langle X_{\max} \rangle}{d \log_{10} E} = \frac{d \langle X_{\max} \rangle_p}{d \log_{10} E} \left(1 - \frac{d \langle \log_{10} A \rangle}{d \log_{10} E} \right)$$

- Concordancia con los resultados de FD
- Incremento gradual de la masa con la energía



Fluctuations first results (SD: 2004-2009)





Otras posibles fuentes de discrepancia:

- Bursty noise: Se presenta un LC pero no hay un trigger relacionado
- Dead time: Cada DOM tiene dos triggers, puede ser que mientras uno funciona, hay un tiempo perdido en el que el otro no lo hace y por lo tanto no registra una señal valiosa
- Trigger doble por DOM que no se reproduce igual que en la realidad

*For NChannel = 3

Multiple launches in a single DOM

- 57% of the hits are due to multiple launches in a single DOM while simulations reproduces only 10 %

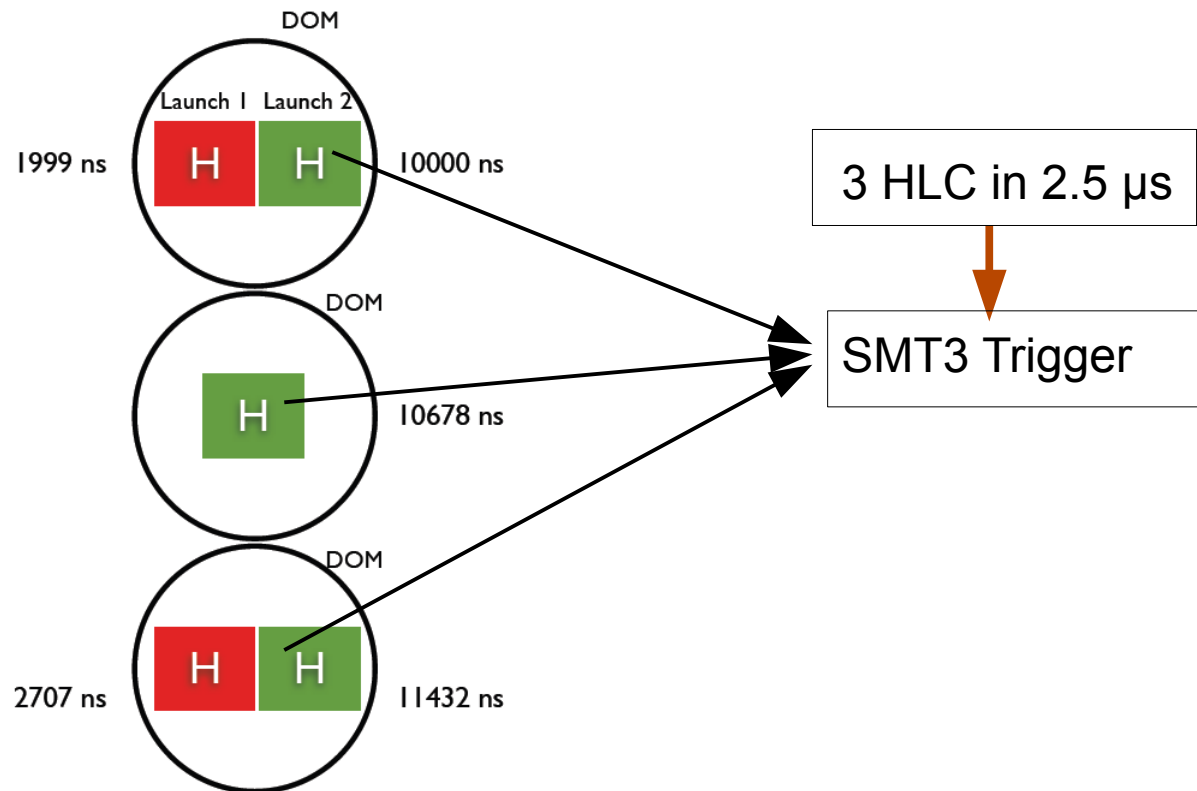


Lámina de respaldo

Simulaciones reconstruidas usando:

Trigger threshold ≥ 12 (número de “hits” en cierta ventana de tiempo ~ 190 ns)
Prescale factor 10 (peso dado a uno de los eventos, cada 10 eventos)
20kHz noise (ruido no correlacionado simulado)
nHit ≥ 30 (Número de “hits” en el evento entero)
nfit ≥ 5 (# de PMTs considerados por Angular Fitter para asegurar una buena reconstrucción)
nHit/CxPE > 8.0 (Parámetro para distinguir entre chubascos hadrónicos y gamma)
CxPE Carga más grande que tenga un PMT fuera de un círculo de 40 m con centro en el core, mientras mayor sea nHit/CxPE, más probable es que sea un gamma
delAngle $< 2^\circ$ (diferencia entre el ángulo reconstruido y el MC)
 $0^\circ < \text{Ángulo cenital} < 30^\circ$

Simulaciones usadas se encuentran en (en 2011):

/lustre/hawc01/hawcroot/sim/hawcsim/corsika6970Linux_QGSII_fluka_curved/highqe