

Método para estimar la composición de Rayos Cósmicos Ultraenergéticos medidos con el detector de superficie del Observatorio Pierre Auger

Karen Salomé Caballero Mora

Seminario conjunto

ICN-IF

Altas energías

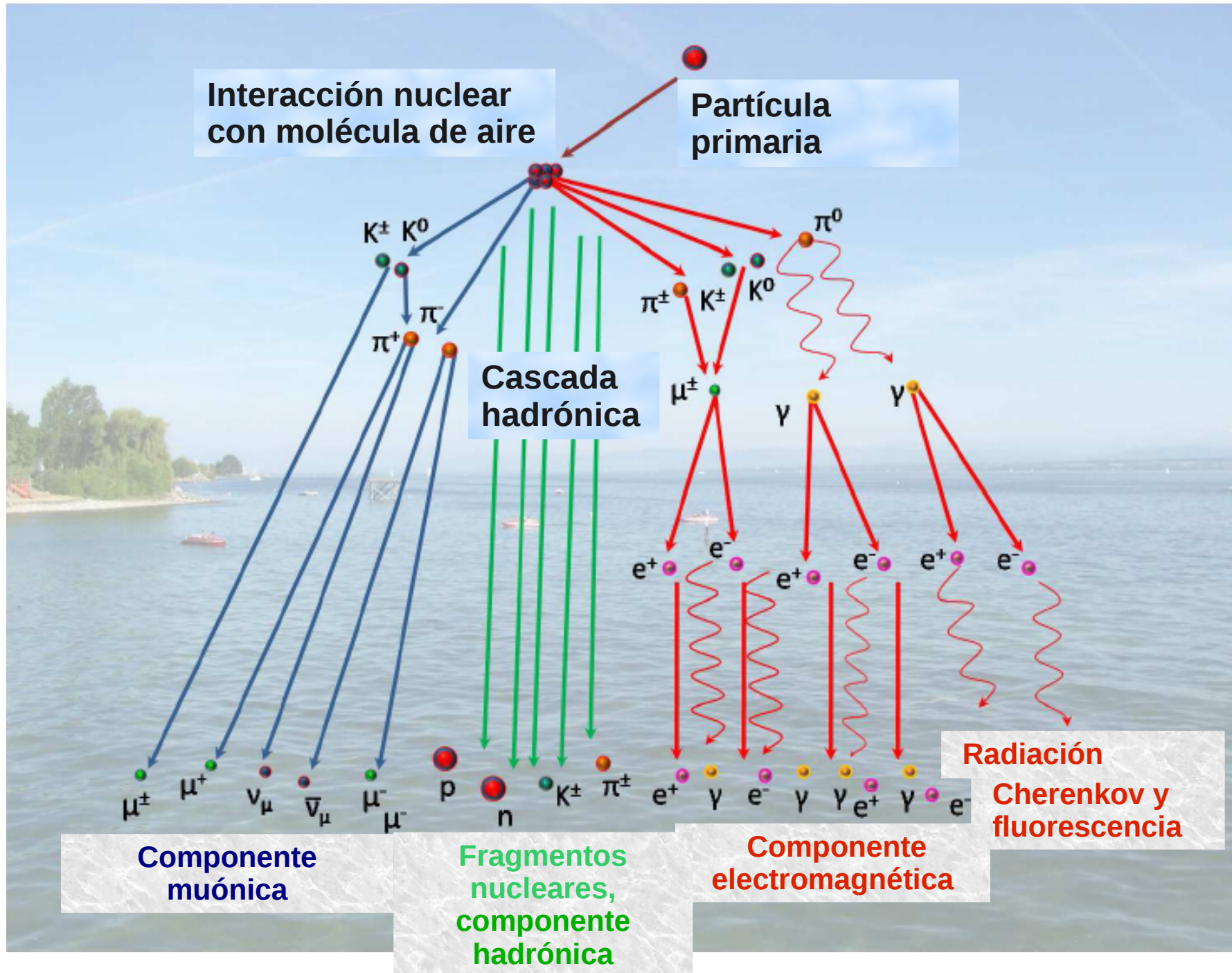
UNAM

28 de Septiembre de 2011

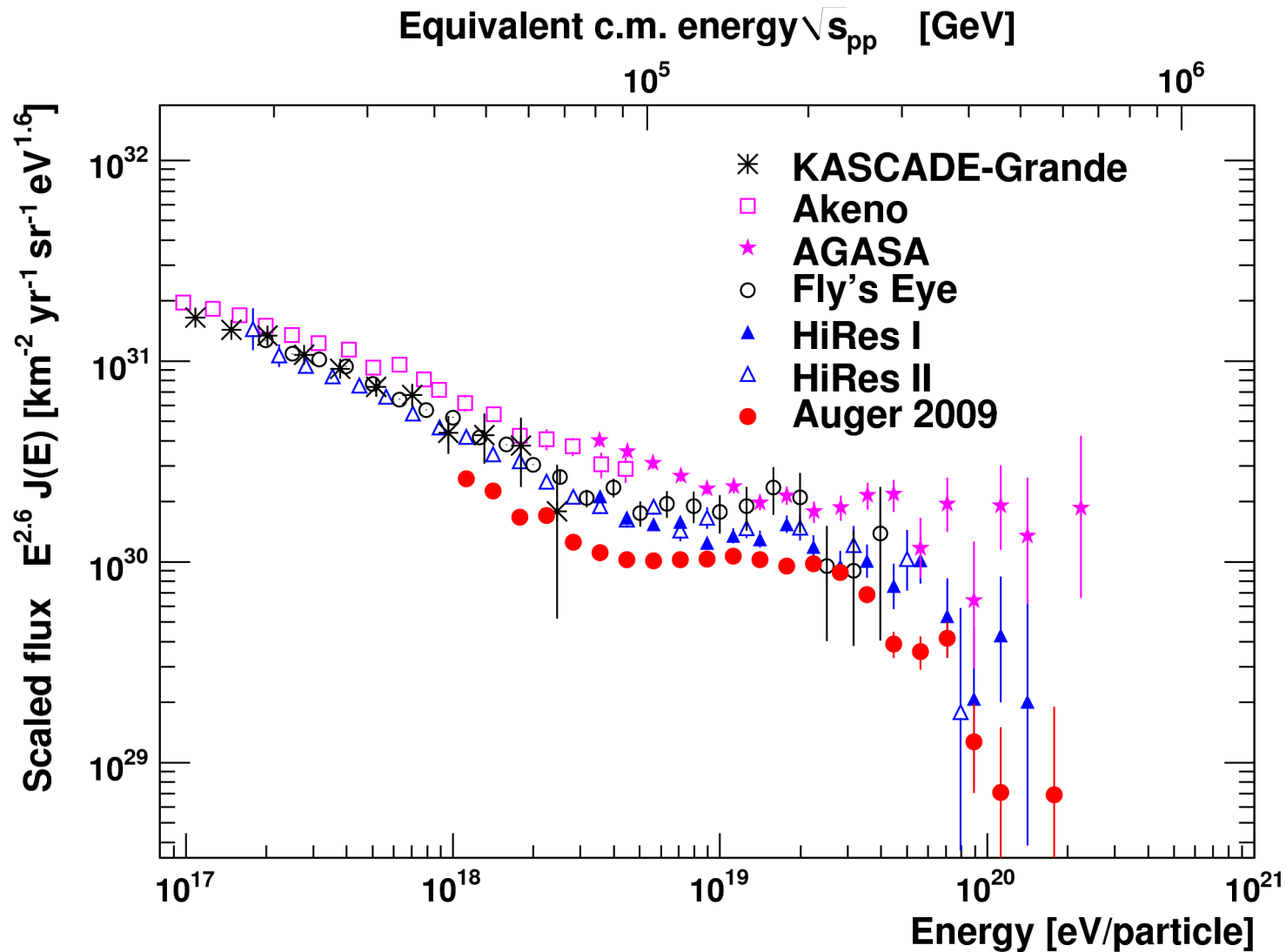
Contenido

- Rayos C3smicos y el espectro de energa
- El Observatorio Pierre Auger
- Composici3n de la masa de RCUE (X_{\max})
- El par3metro de SD, $t_{1/2}$, sensitivo a composici3n
 - Incertidumbre del *rissetime* $\sigma_{t_{1/2}}$
 - Correcci3n de la asimetría azimutal
- $t_{1/2}$ (1000 m) como par3metro de composici3n
- Defini3n del par3metro Δ_{1000}
- Calibraci3n de Δ_{1000} con X_{\max}
- Primeros resultados: X_{\max} obtenida de Δ_{1000}^{SD} (X_{\max}^{SD})
 - Deducciones de composici3n usando X_{\max}
- Actualizaci3n de resultados
- Resumen
- Trabajo por hacer

Rayo cósmico



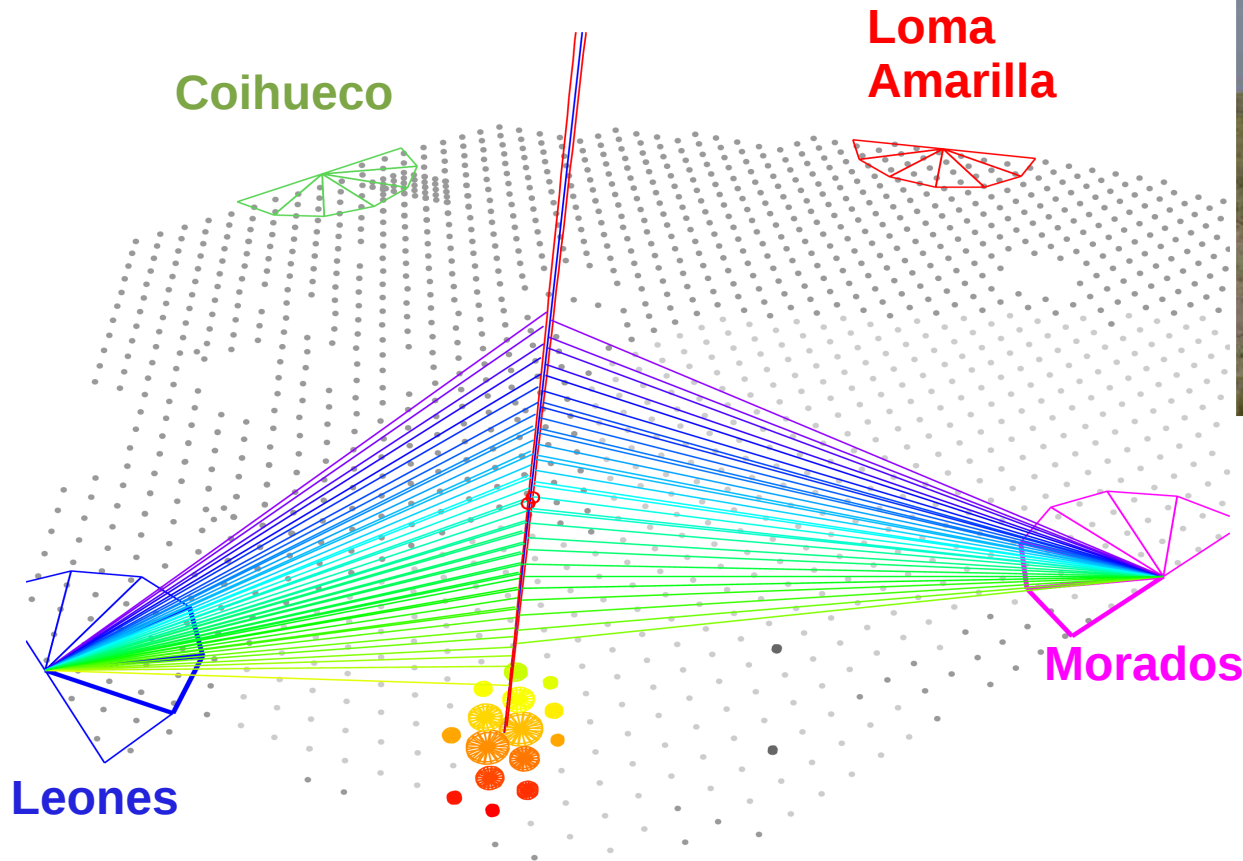
El espectro de energía de los rayos cósmicos



Flujo para altas energías -> 1 km⁻² siglo⁻¹

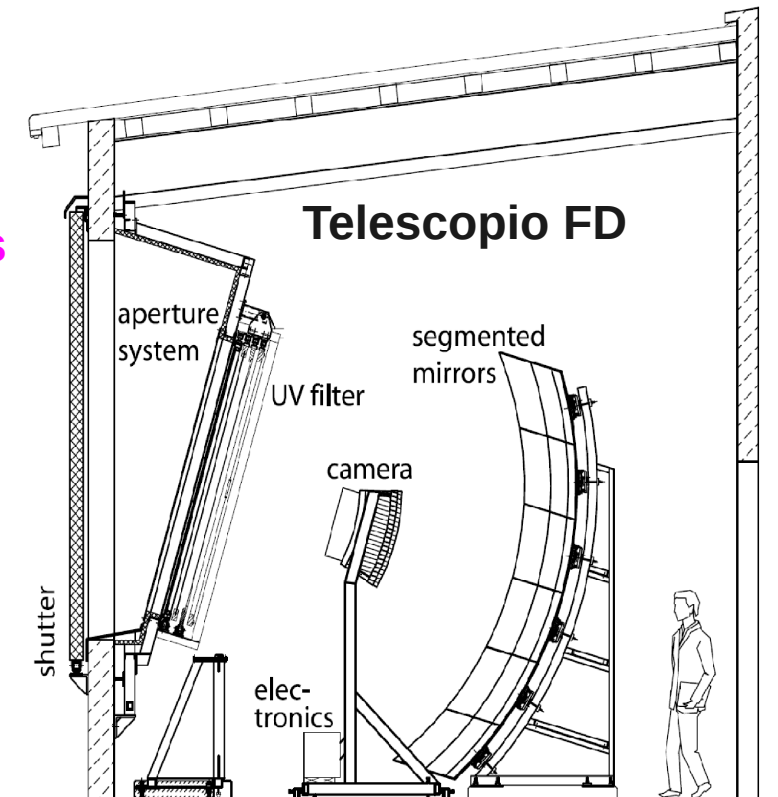
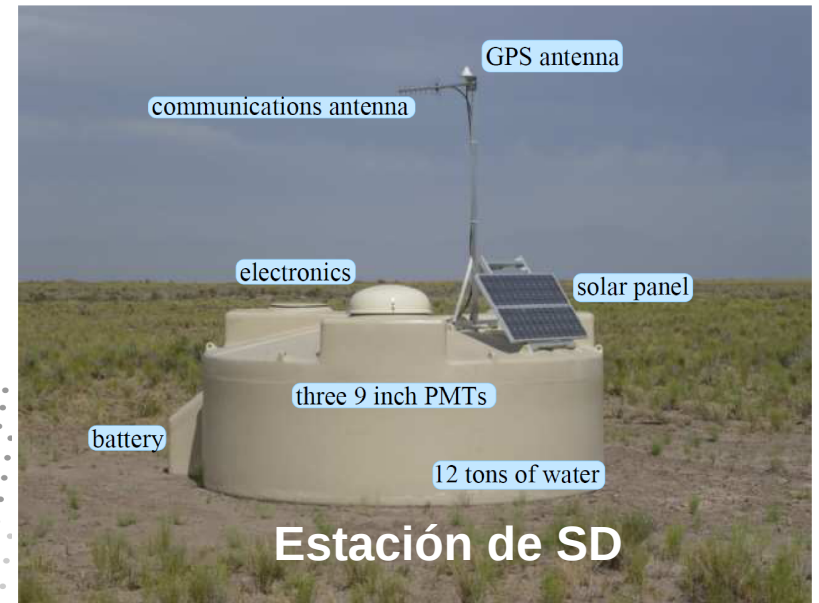
El Observatorio Pierre Auger

Experimento híbrido



Área de 3000 km²

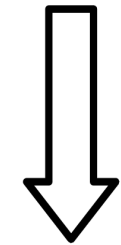
- 1600 estaciones Cherenkov
- 4 detectores de fluorescencia



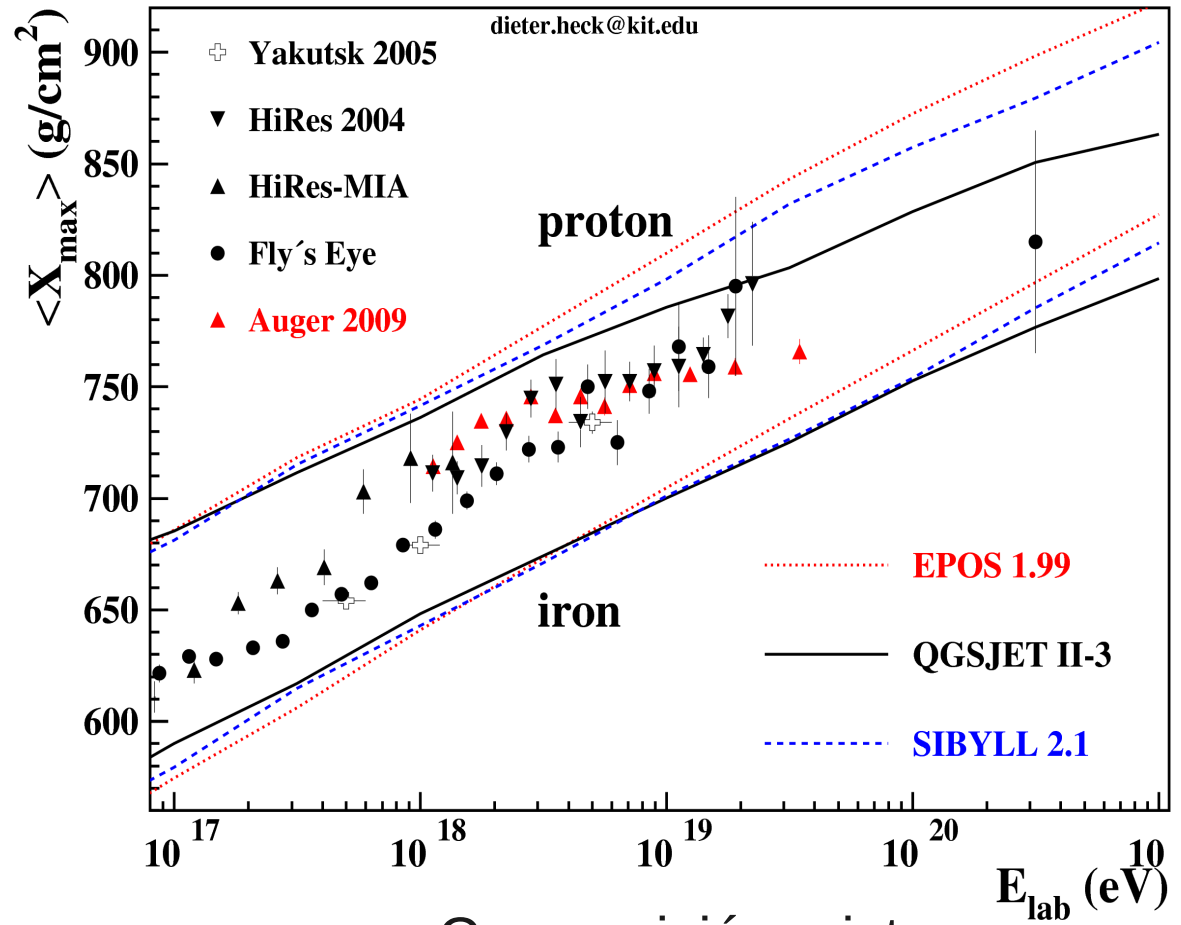
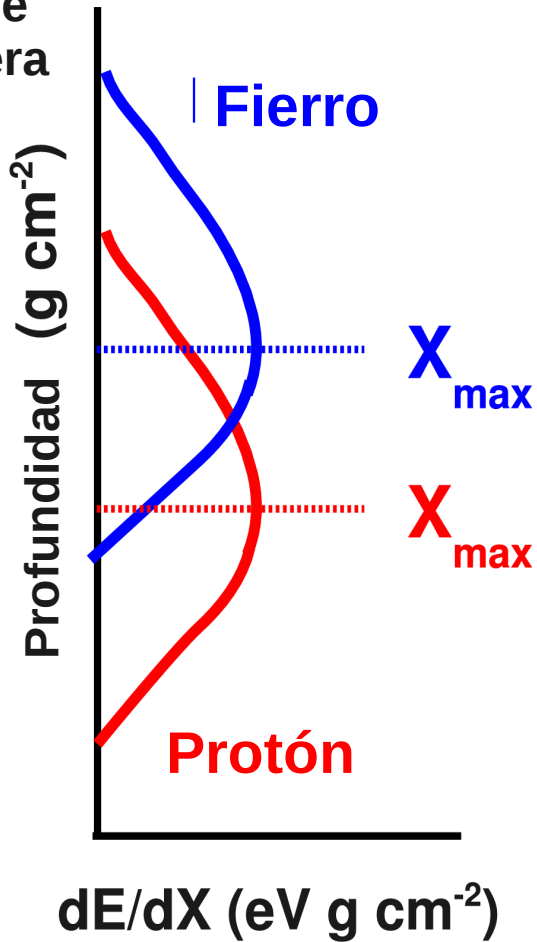
Composición de la masa de RCUE

Profundidad del máximo del chubasco X_{\max}

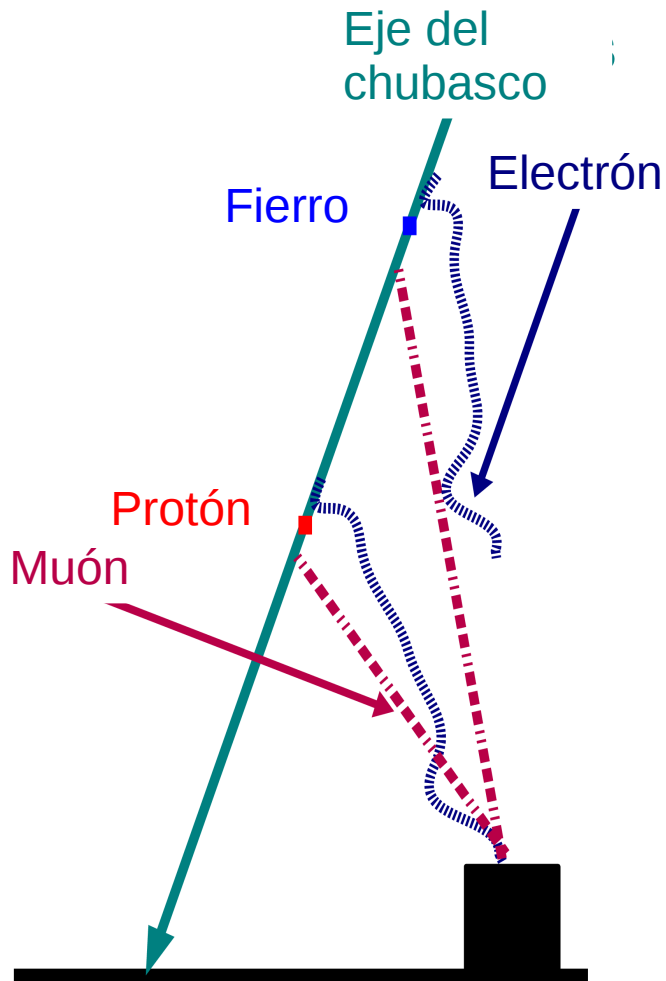
Parte superior de la atmósfera



Suelo

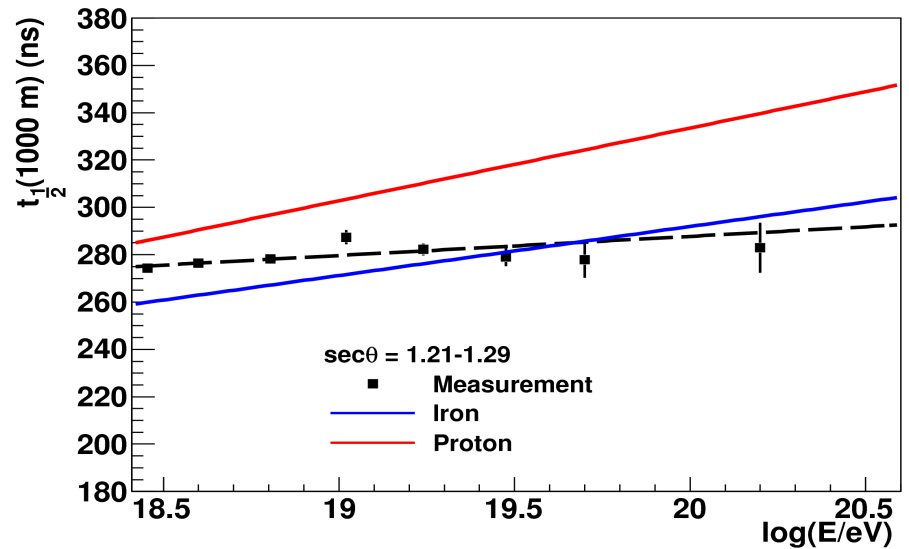
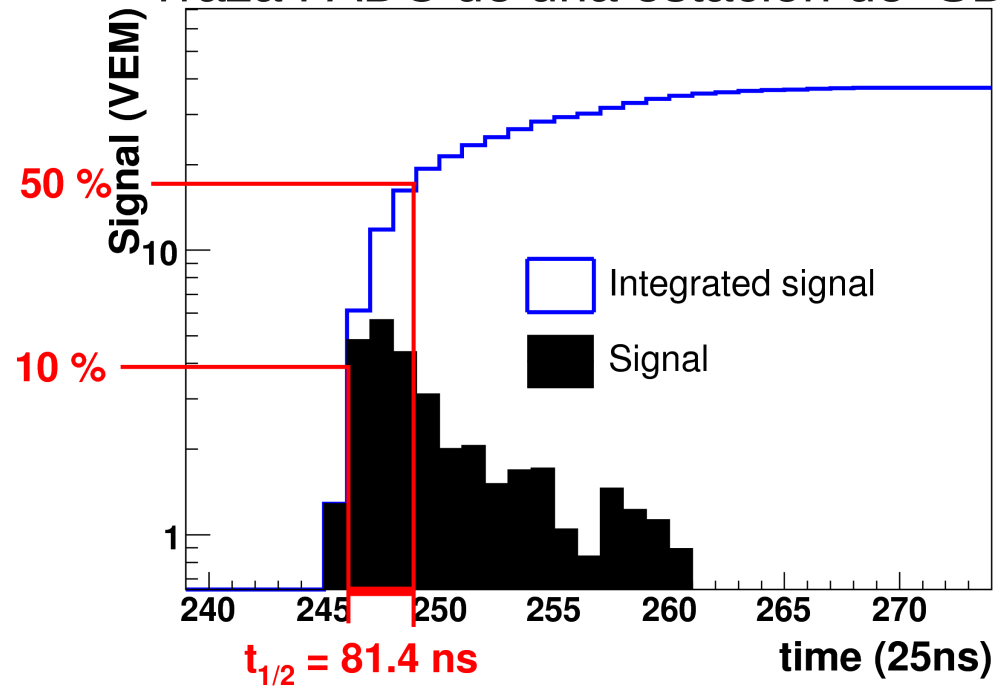


El parámetro de SD, $t_{1/2}$, sensitivo a la composición



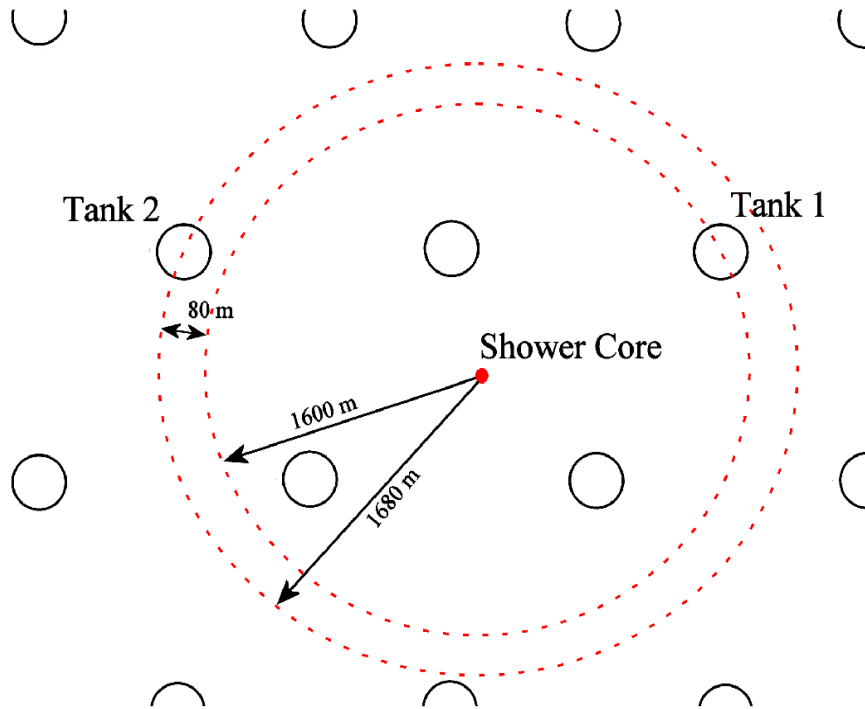
Partículas llegando al suelo

Traza FADC de una estación de SD



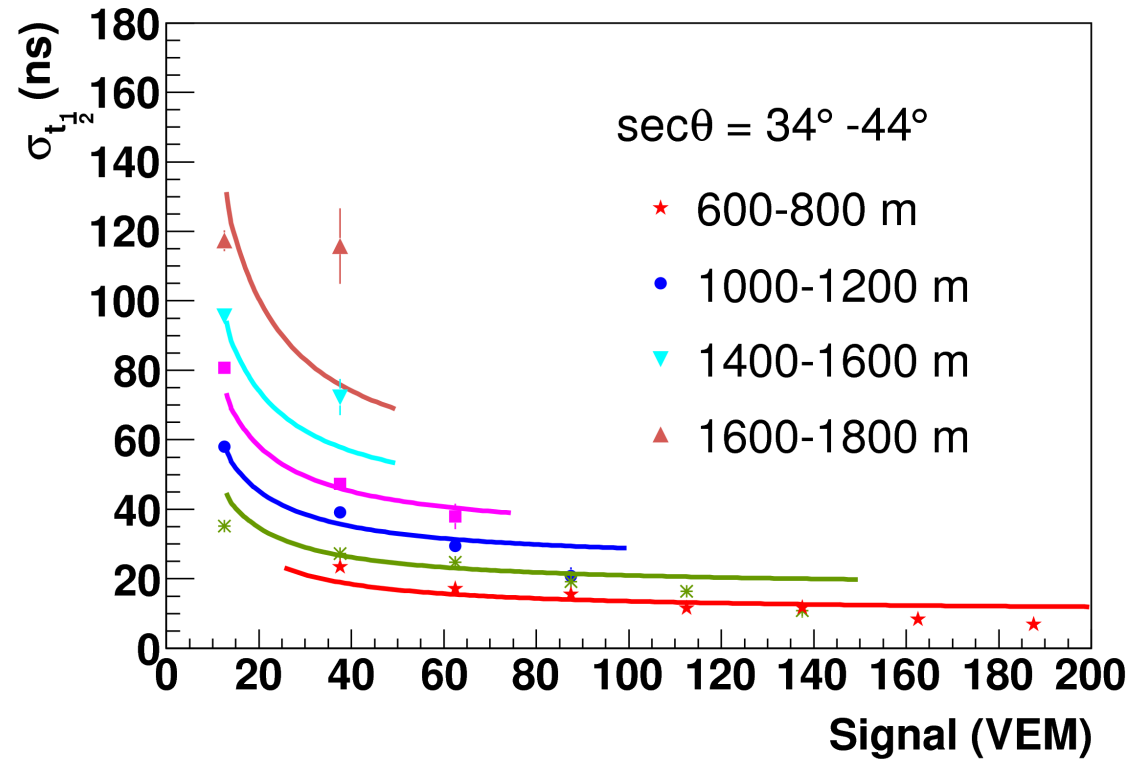
$t_{1/2}$ como parámetro sensitivo a la composición de la masa

Incertidumbre del risetime $\sigma_{t_{1/2}}$



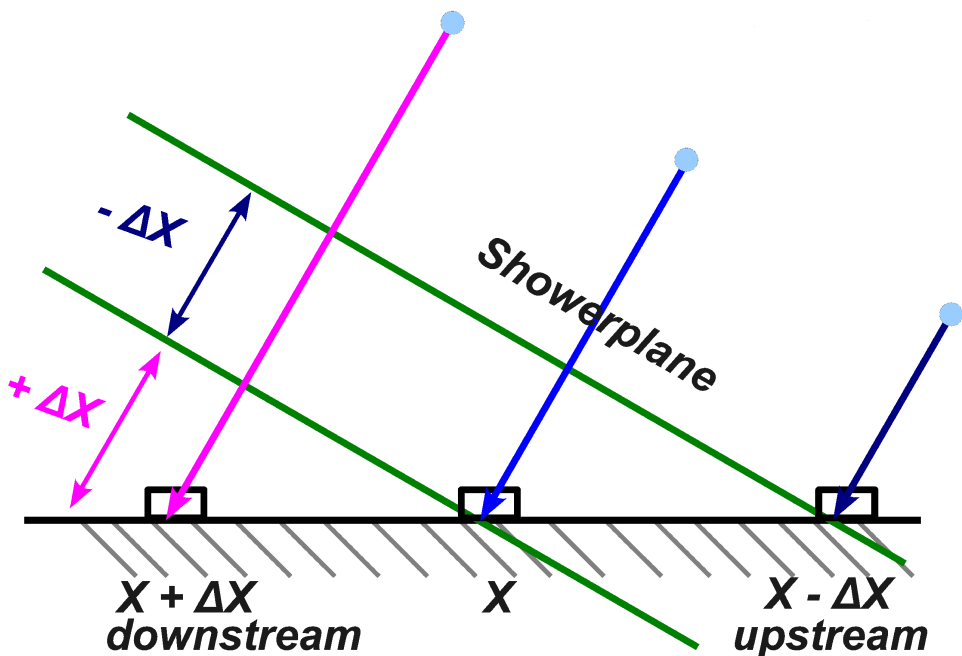
Pares de estaciones

Diferencia en distancia al centro del chubasco < 100 m

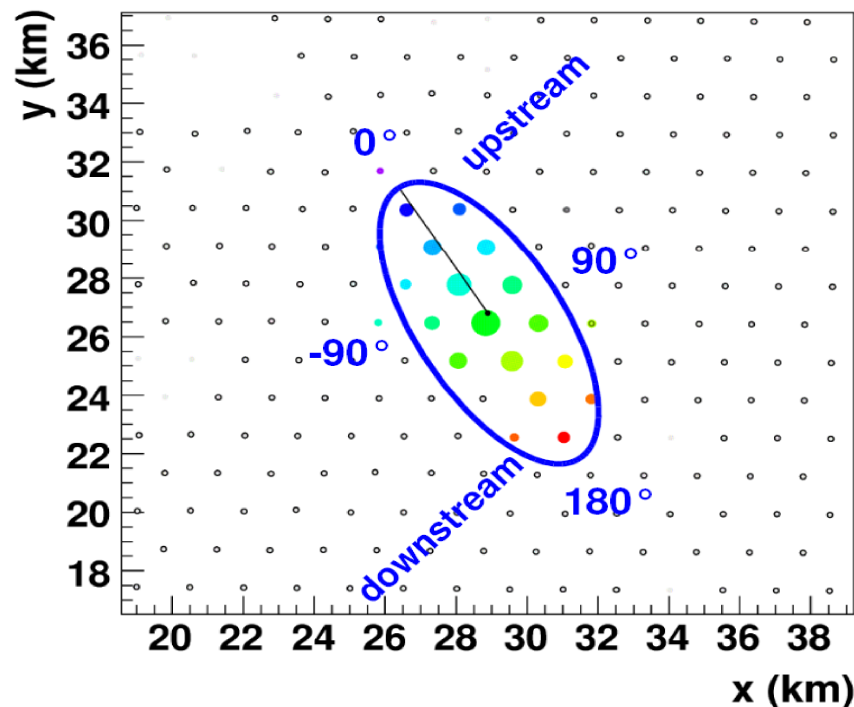


$\sigma_{t_{1/2}}$ como función de la señal

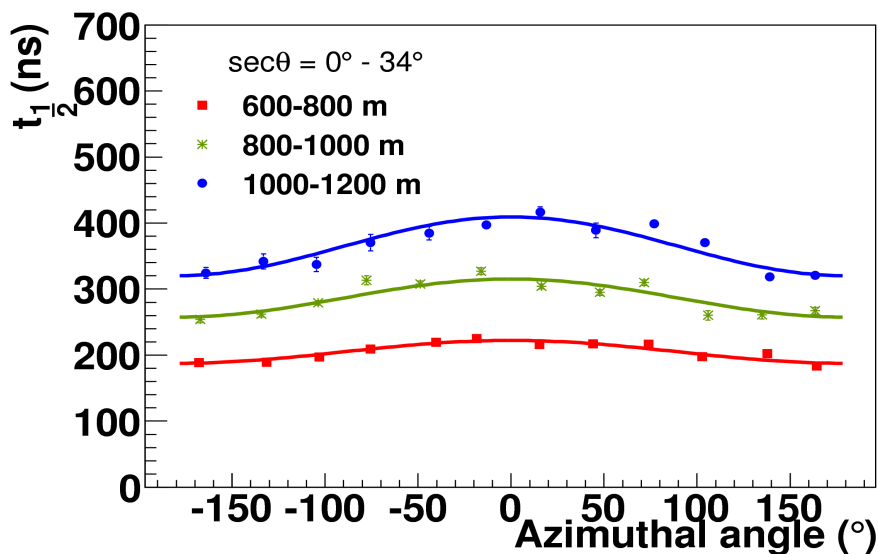
Corrección de la asimetría azimutal



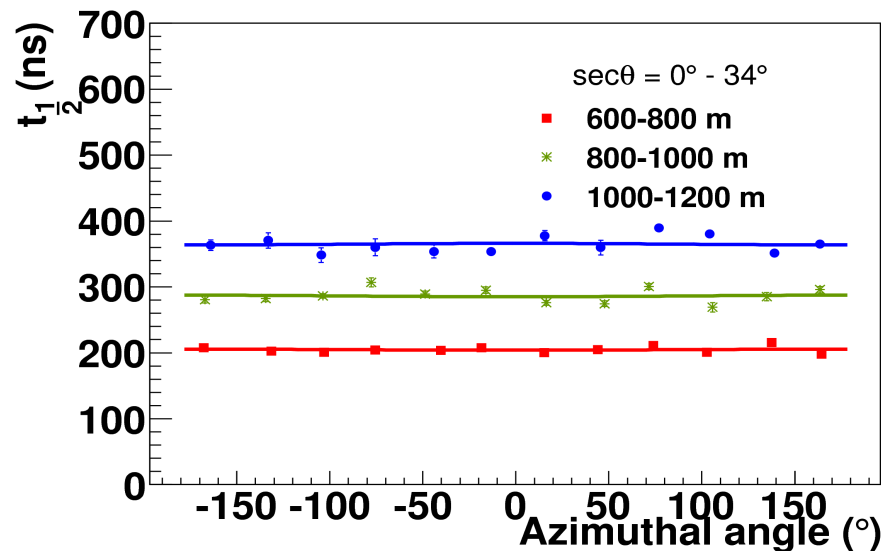
Estado del chubasco en el suelo



Huella del chubasco en risetime

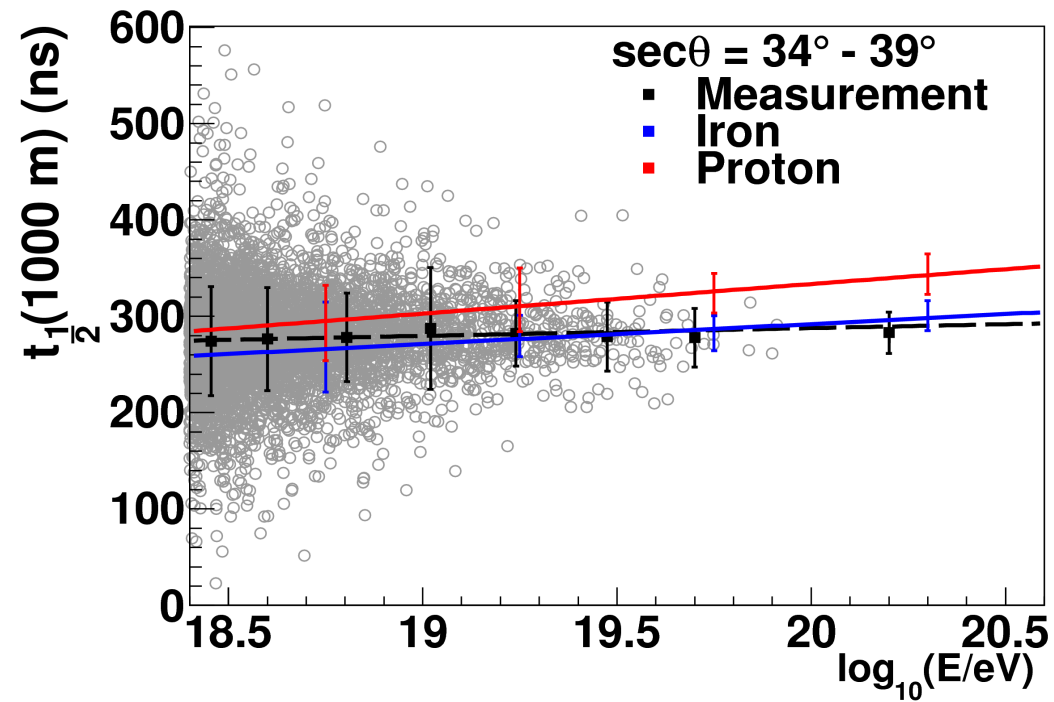
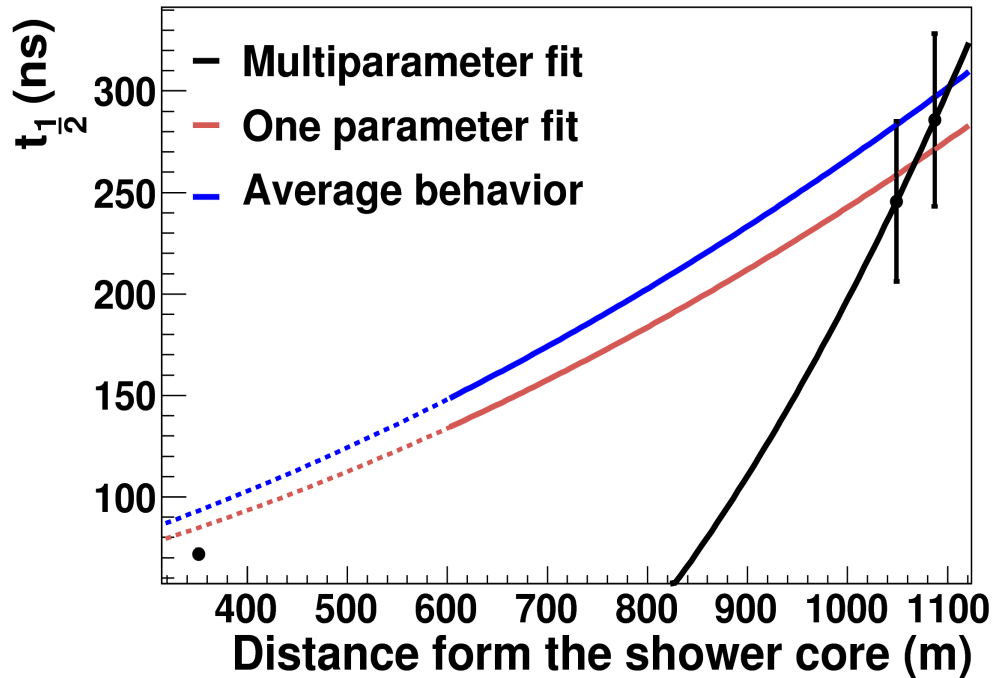


$t_{1/2}$ cambiando con el ángulo azimutal



$t_{1/2}$ después de la corrección de asimetría

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



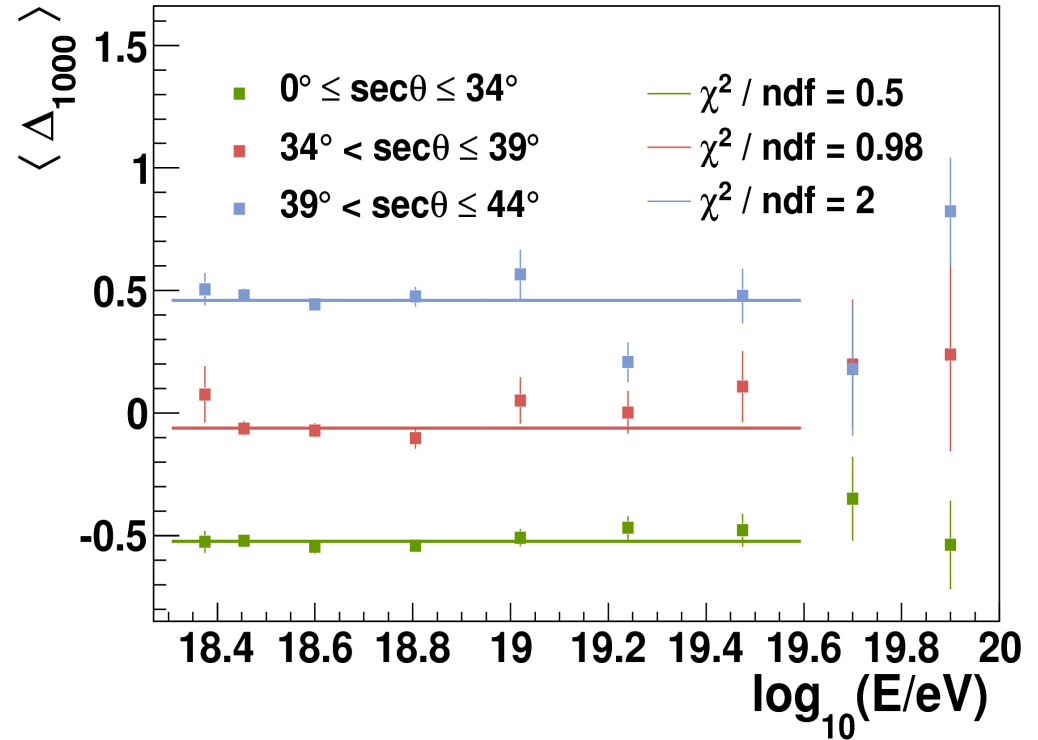
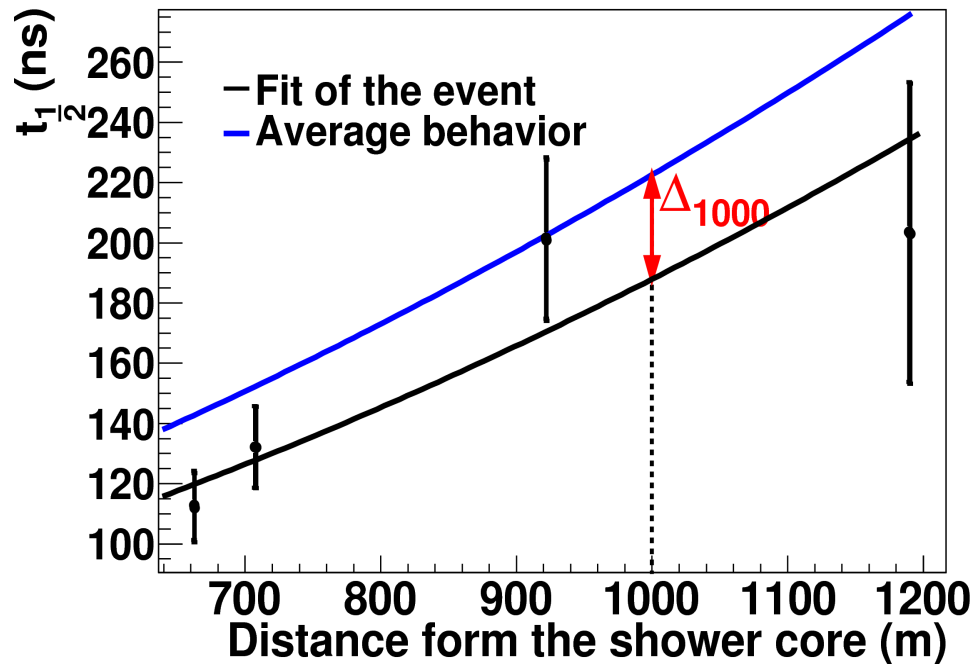
$$t_{1/2}(r, \theta, E) = 40 + a(E) \cdot \alpha(\theta) \cdot r + b(E) \cdot \beta(\theta) \cdot r^2 \text{ (ns)}$$

- 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}

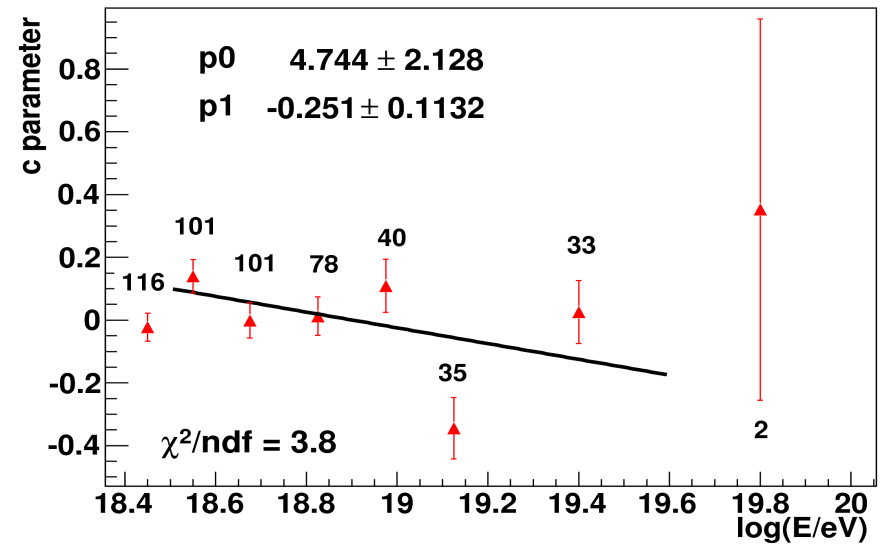
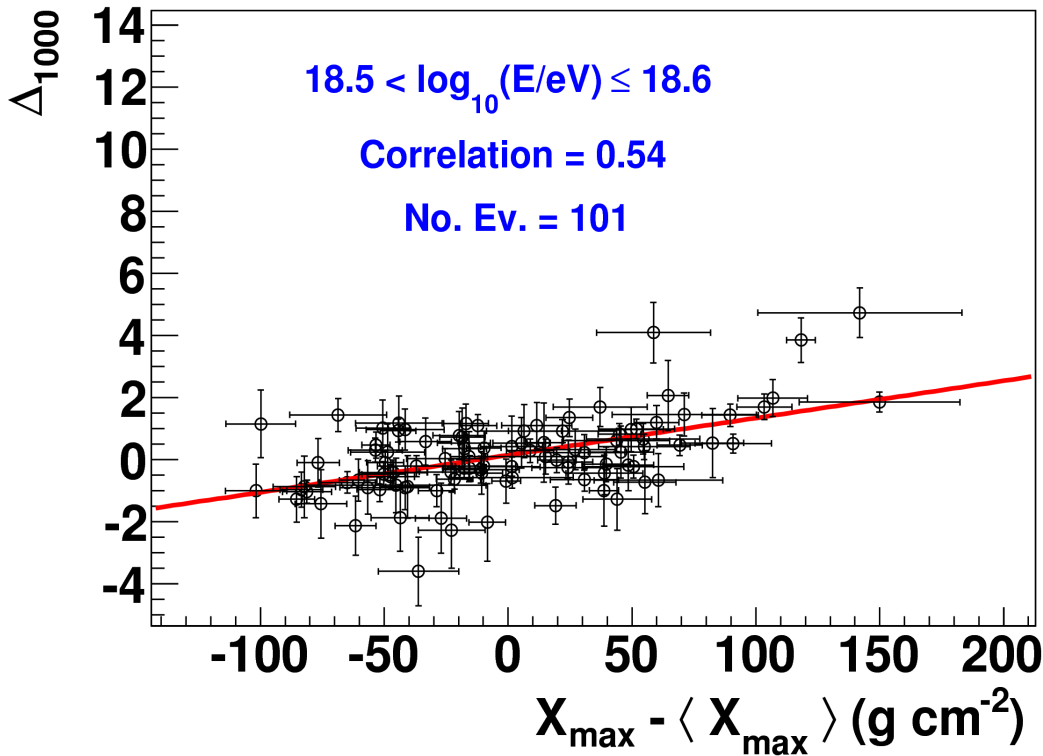


$$\Delta_{1000} (A) = \frac{(t_{1/2}(\mathbf{1000}) - t_{1/2}^{BM}(\mathbf{1000}))}{\sigma_{t_{1/2}}}$$

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

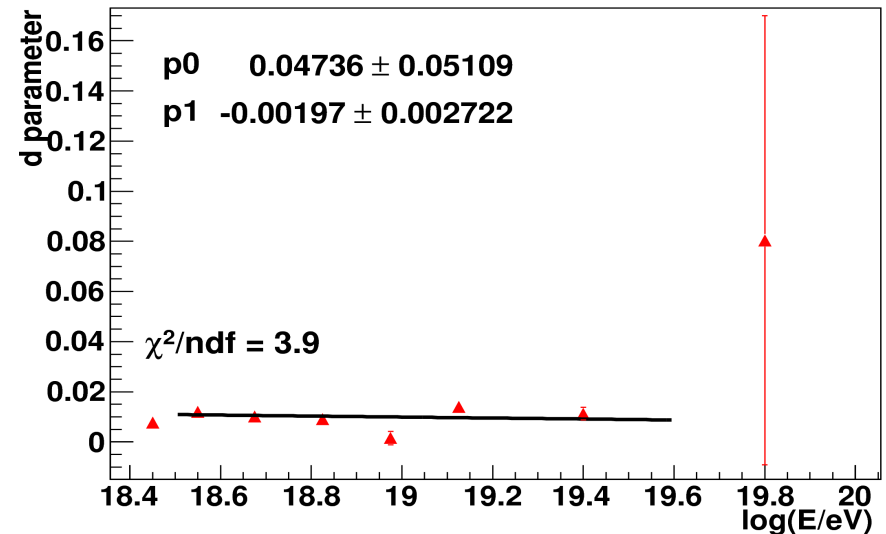
Calibración de Δ_{1000} con X_{max}



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

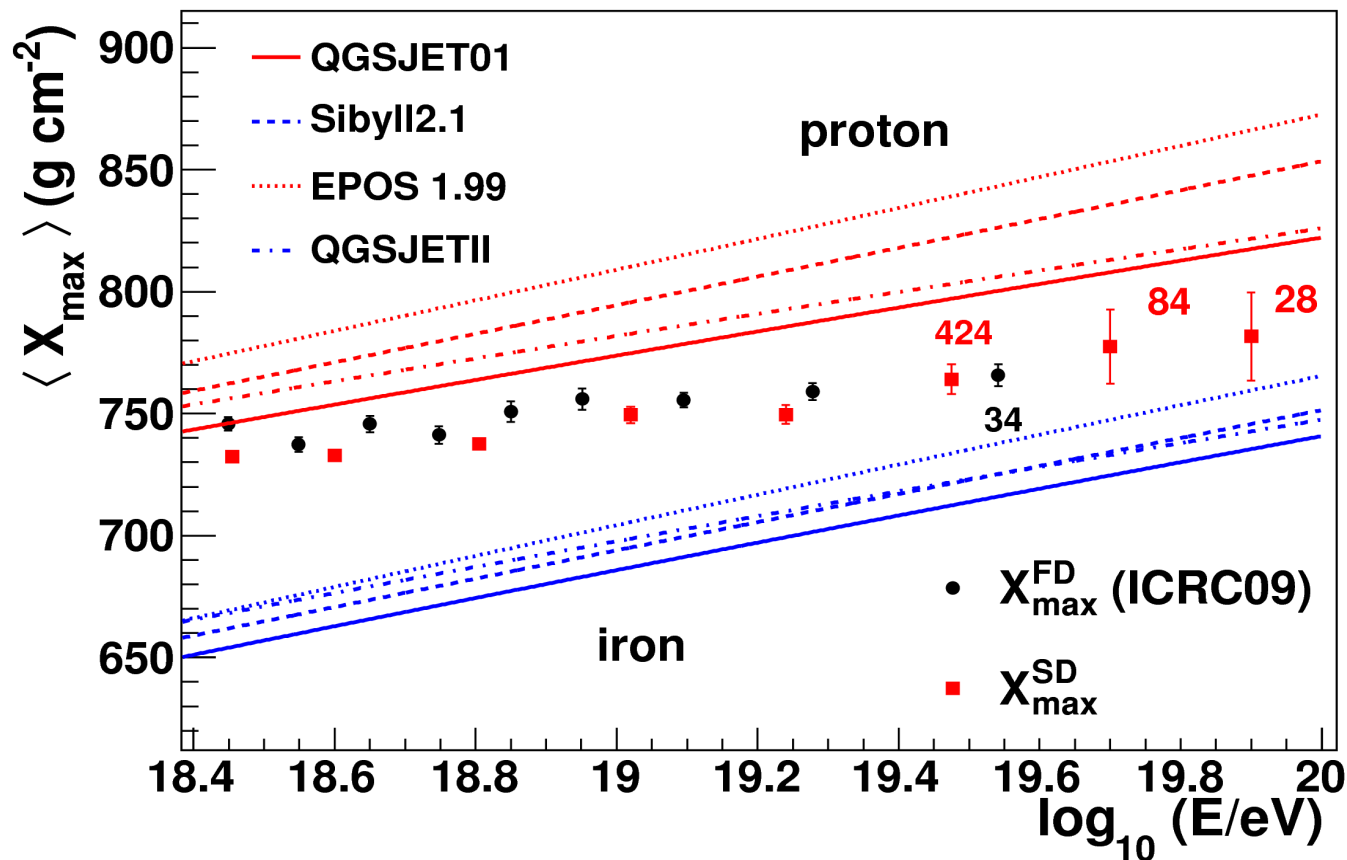
- Calibración hecha para 8 rangos de energía
- $c(E)$ y $d(E)$ parametrizada linealmente en el intervalo

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



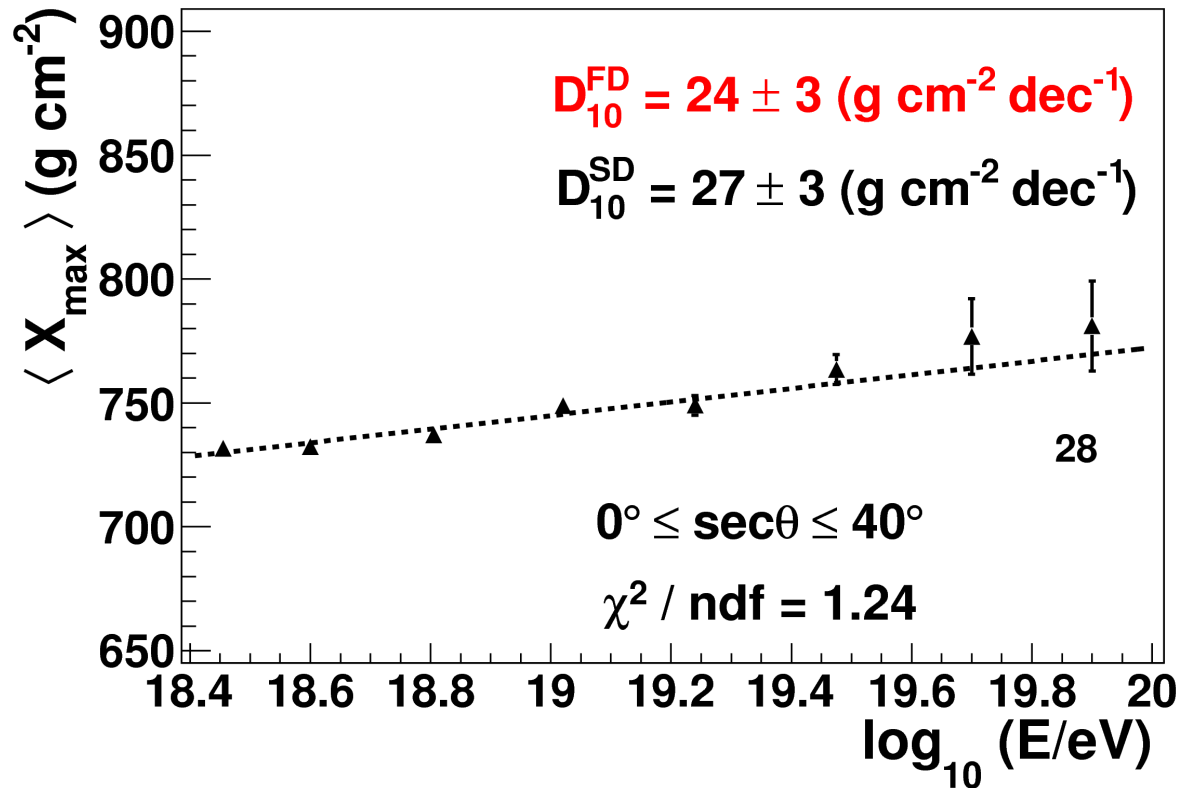
Primeros resultados: X_{\max} obtenida de Δ_{1000} (X_{\max}^{SD})

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

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

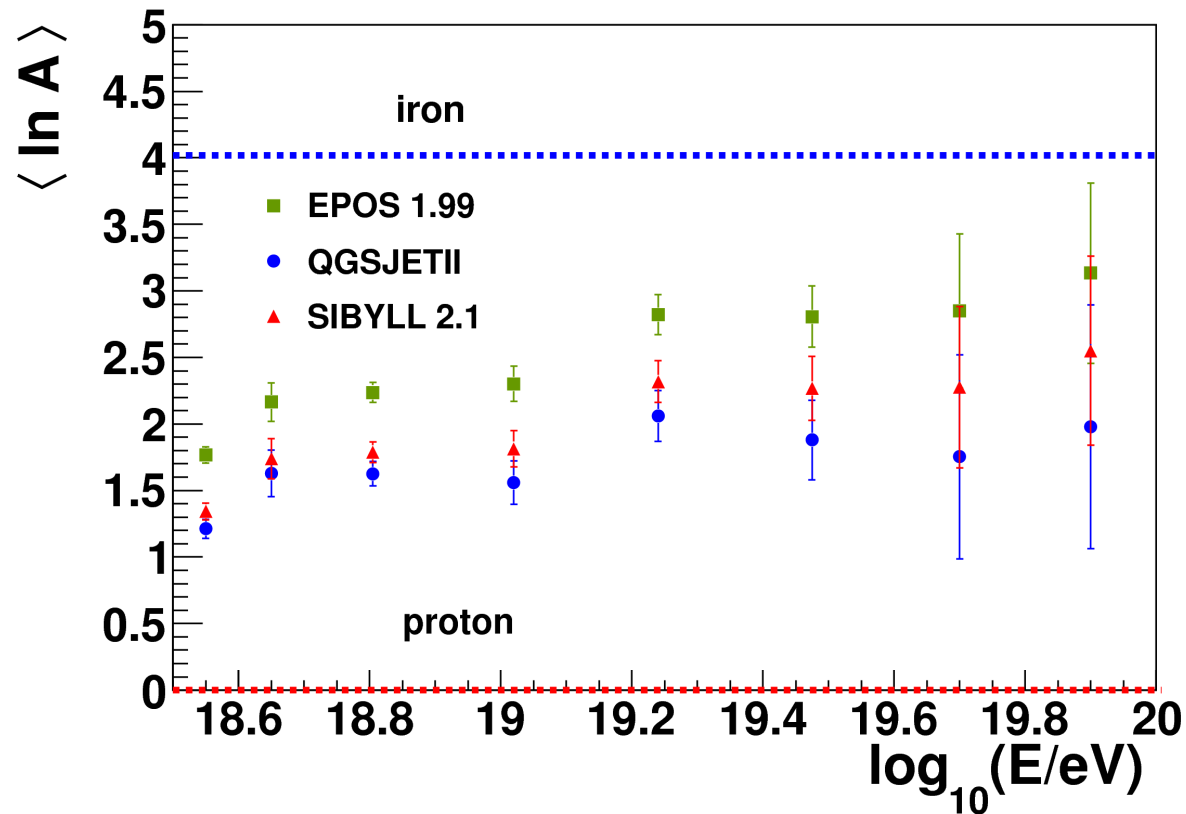


La razón de elongación:

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

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

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

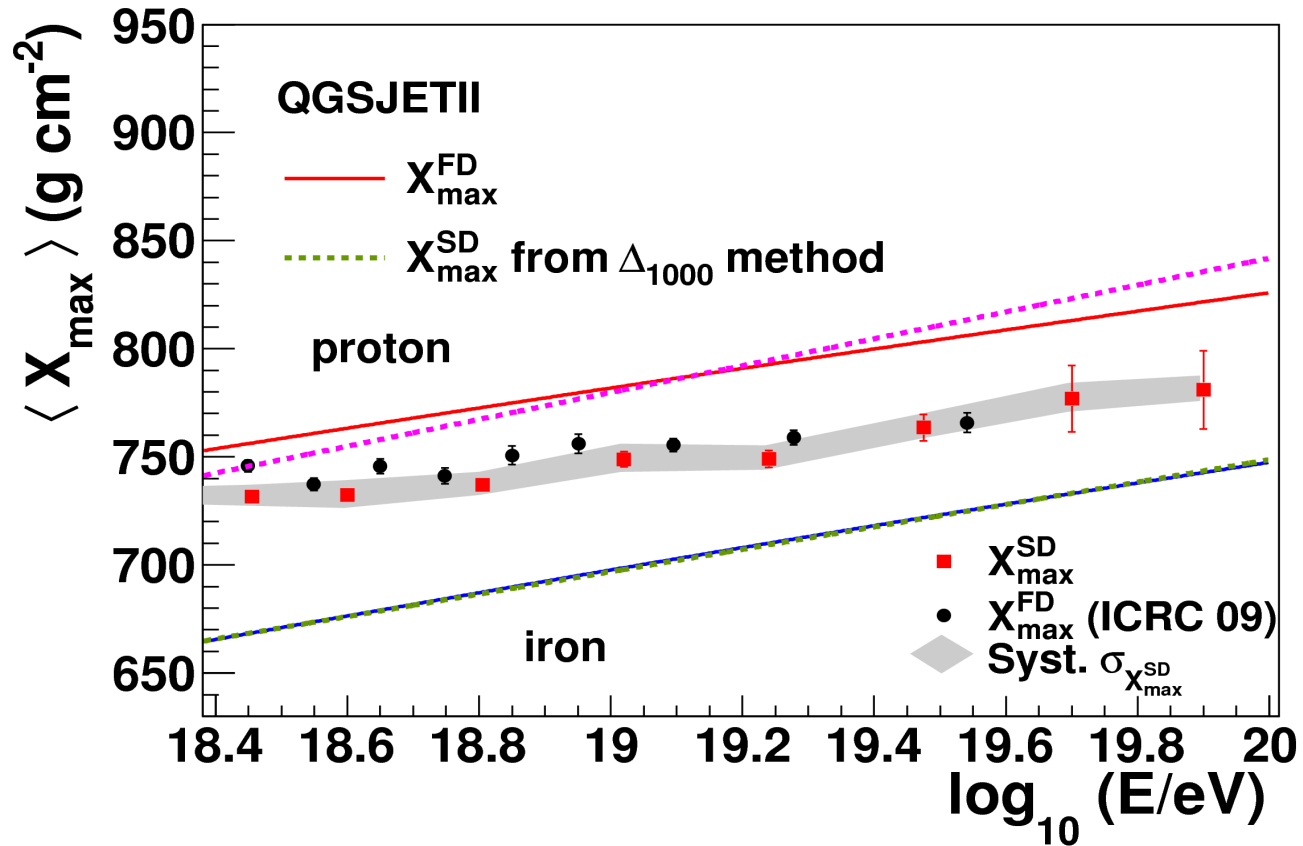


La masa logarítmica media:

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

- 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

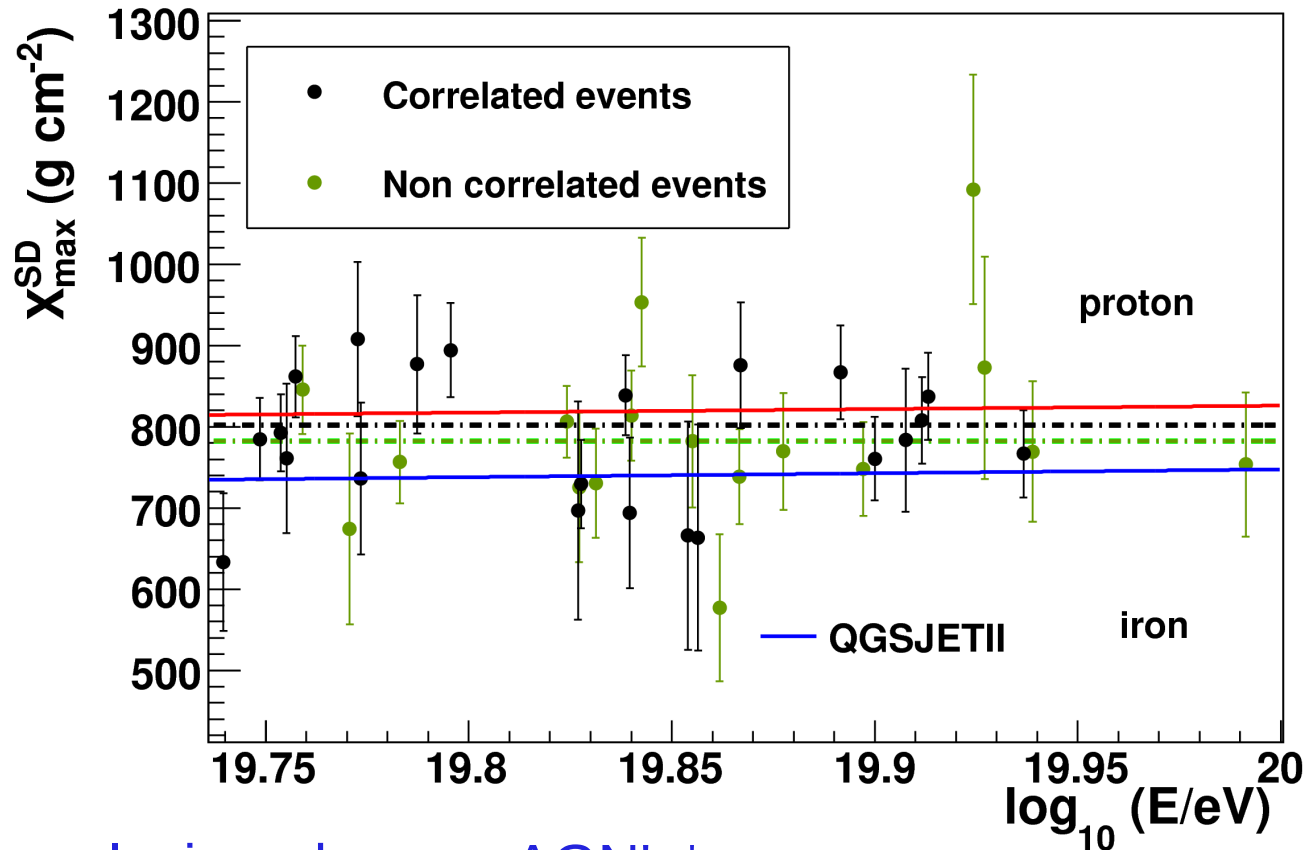
Deducciones de composición de masa usando X_{\max}^{SD}



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}



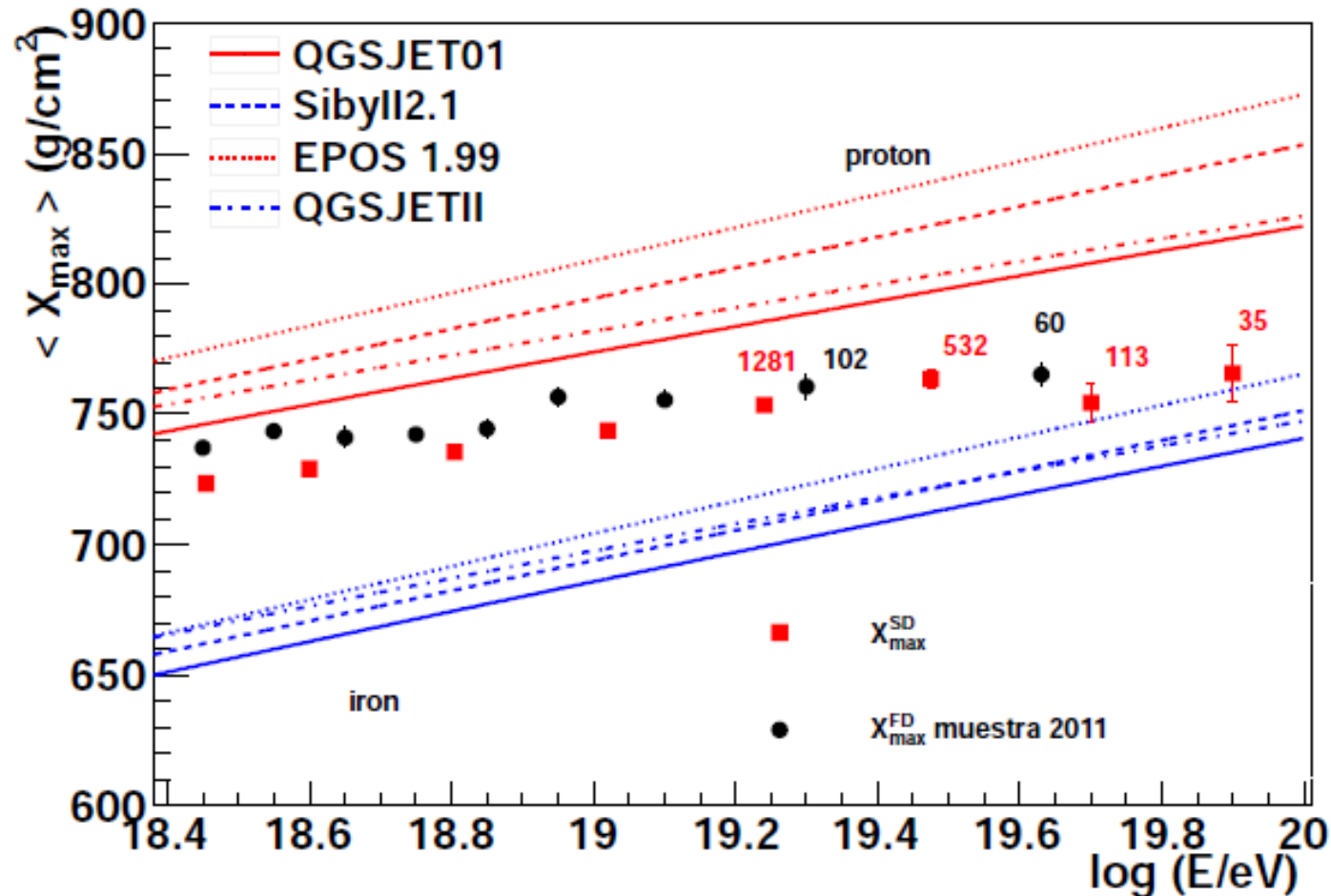
Eventos correlacionados con AGN's*:

No se puede obtener información acerca de la composición de la masa debio a los grandes errores

*Correlation with the highest energy cosmic rays with nearby extragalactic objects, Science 318:938-943,2007

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

Trabajo por hacer

Realizar el mismo estudio con los datos más actuales:

- Mejor estadística (~3 años SD completo)
- Nueva calibración de la energía SD
- Nuevas estimaciones de la masa
- Cálculo de errores sistemáticos
- Comparación con simulaciones

iGracias!

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
- $0 < t_{1/2}$ (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}