

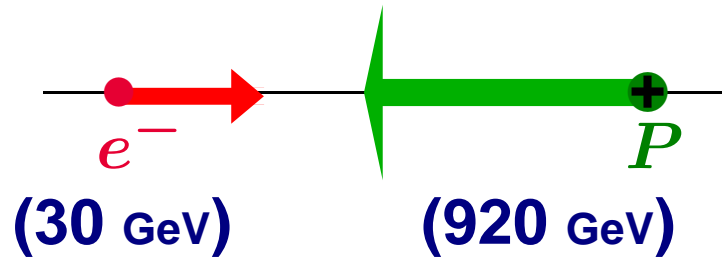
Pruebas de QCD Perturbativa vía Electroproducción de Charm en HERA

Luis A. Labarga Echeverría

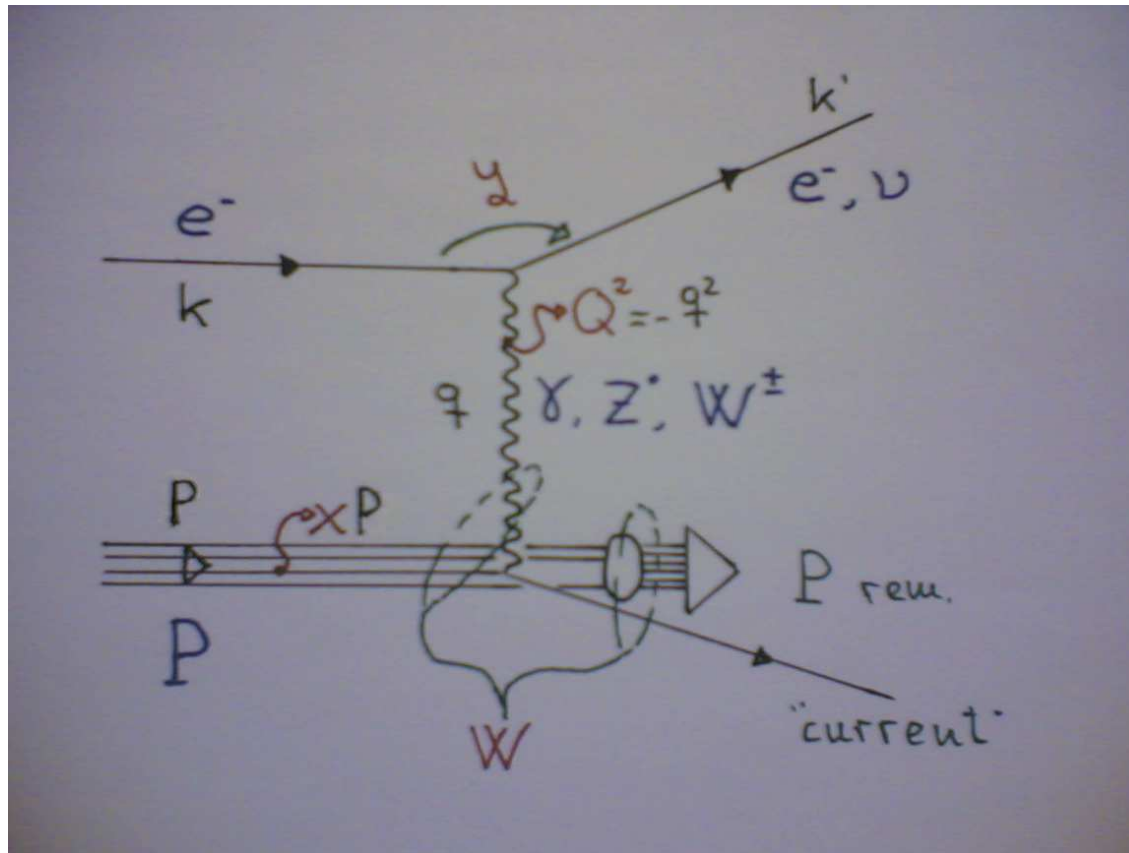
- Producción de **charm** en **eP** y **QCD**
- **Medida** de charm con **ZEUS**; canal $D^{*\pm} \rightarrow D^0 \pi^\pm \rightarrow K^\mp \pi^\pm \pi^\pm$
- Secciones eficaces, extracción de $F_2^{c\bar{c}}$, discusión **QCD**
- Canales $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$, $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$,
 $D_s^+ \rightarrow \Phi \pi^+ \rightarrow [K^+ K^-] \pi^+$
- **Resumen y Conclusiones**

- Tesis J.P. Fernández (feb. 1998); *premio extr. doctorado*
- Tesis I. Redondo (jul. 2001); *premio extr. doctorado*
- Tesis M. Zambrana (próxima defensa, \approx mayo 2007)
- ZEUS, Phys.Lett.B407:402-418,1997
- ZEUS, Eur.Phys.J.C12:35-52,2000
- ZEUS, Phys.Rev.D69:012004,2004
- ZEUS-prel-05-007-plus, contributed paper to ICHEP06

HERA y ZEUS



Cinemática de la Interacción Inelástica electrón-Protón



Diferentes reacciones:

- según *carga* bosón interc.
CN: γ, Z^0 ; **CC:** W^\pm
- según su *virtualidad*
interacción γP : $Q^2 \approx 0$
IPI: $Q^2 > 2(?) \text{ GeV}^2$

CN-IPI óptima para estudio

Cinemática reacción determinada por **dos** variables p.ej.:

$Q^2 = -q^2$ cuadrado de 4-momento transferido (x -1.0)

x fracción de p portado por partón

$y = \frac{p \cdot (k - k')}{p \cdot k}$ transferencia energía vértice leptónico

$W = \sqrt{p^2 + q^2}$ masa sistema hadrónico

$\theta_{e'}, E_{e'}$ ángulo y energía del e'^-

Producción de charm en eP y QCD

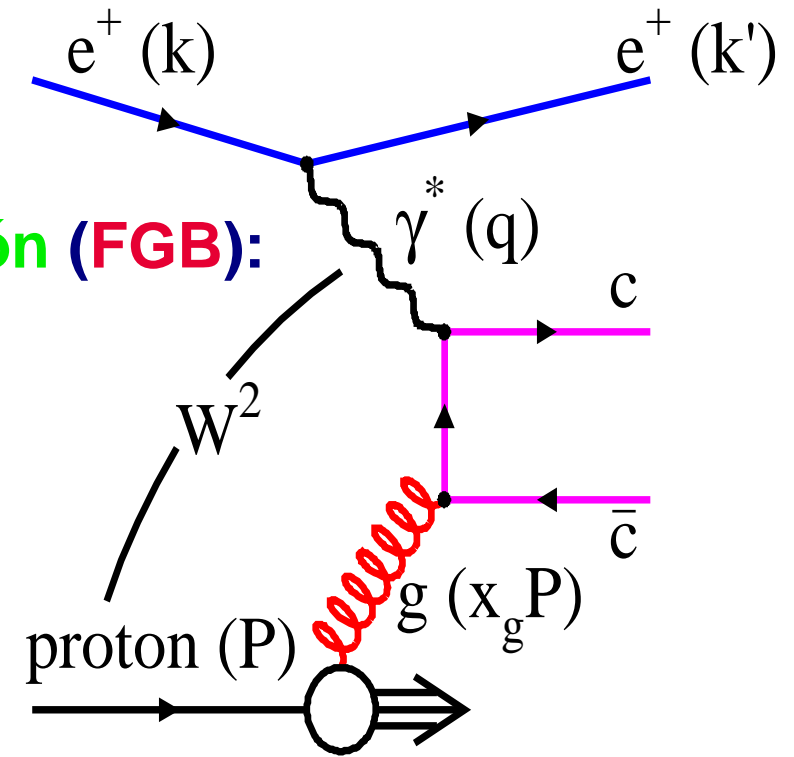
Principalmente **Fusión Gluón Boson-fotón (FGB)**:

acceso directo al **gluón**
dentro del **Protón**

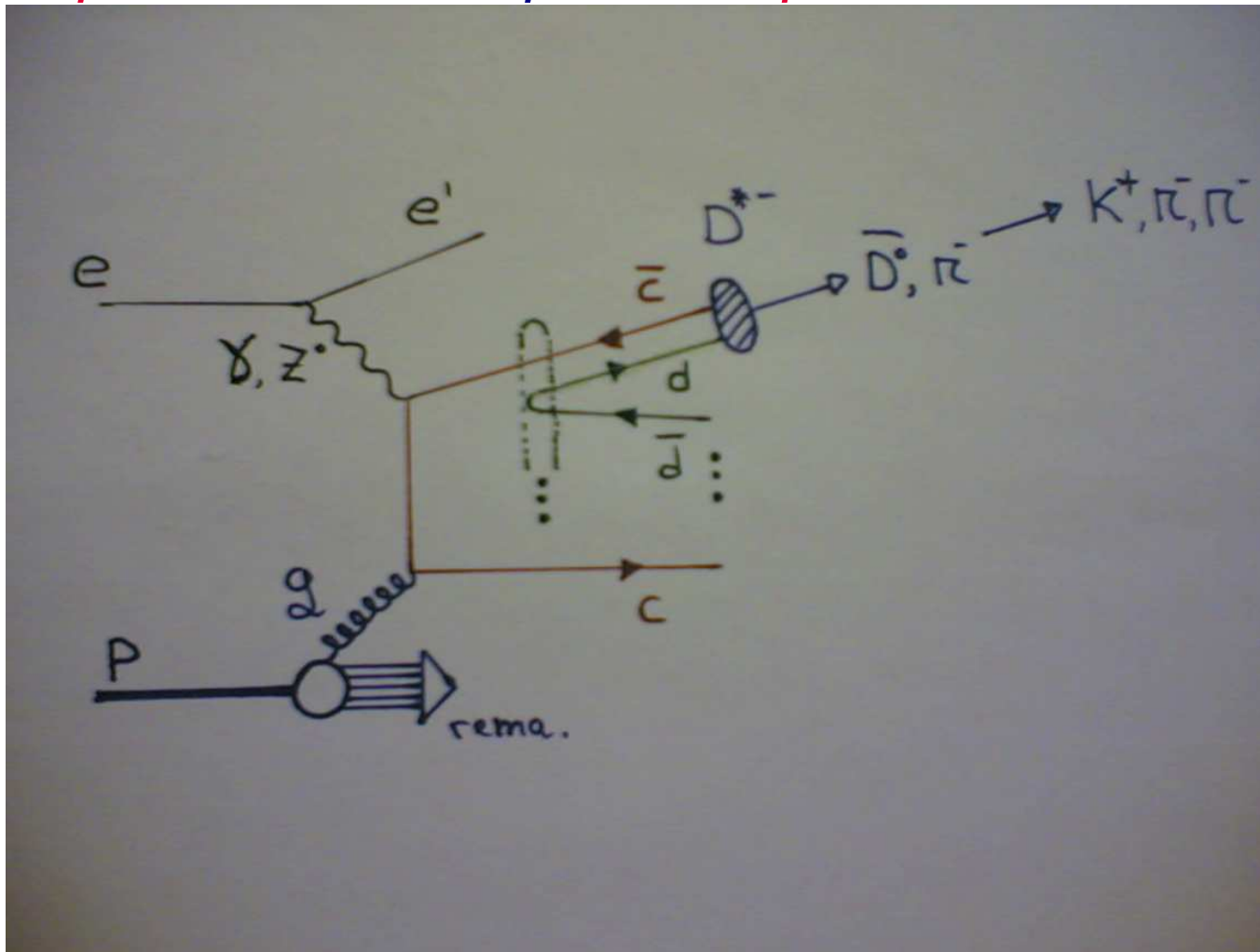
Factorización:

σ = estructura **Protón** \otimes
elementos matriz **QCD**
 \otimes fragmen. y desintegraciones

- Explorar el P :
 - contribución de F_2^c a F_2
 - $g(x, Q^2)$
- Probar **QCD**:
 - universalidad de $g(x, Q^2)$
 - test secciones eficaces a **NLO**



Ejemplo reacción completa con producción de charm



σ = estructura $P \otimes$ e.m. $QCD \otimes$ fragmentación y desintegraciones

$$\sigma^{c\bar{c}}(x, Q^2) \propto e_c^2 \alpha_s(\mu_r) \int_{x_g^{min}}^1 \frac{dx_g}{x_g} g(x_g, \mu_f) \hat{\sigma}(x_g, \mu_f, \mu_r)$$

$$x_g^{min} = x \frac{4m_c^2 + Q^2}{Q^2}; \quad \mu_f, \mu_r \text{ tomadas: } \sqrt{Q^2 + 4m_c^2}$$

Cálculos QCD-p para producción de charm (*beauty*) en eP

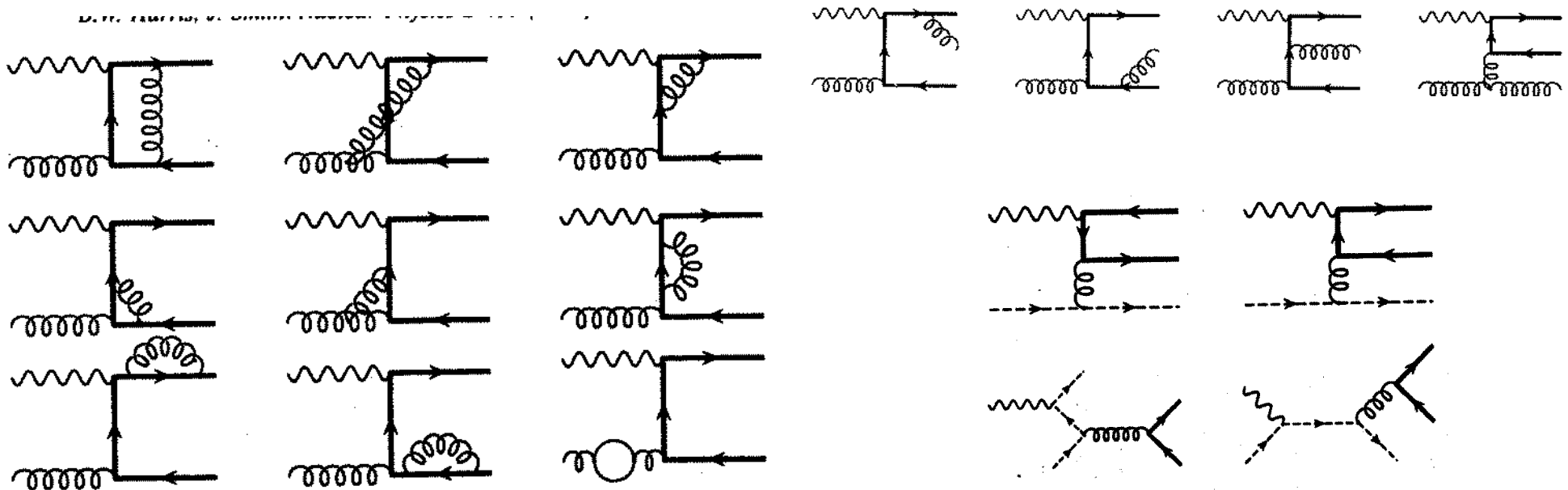
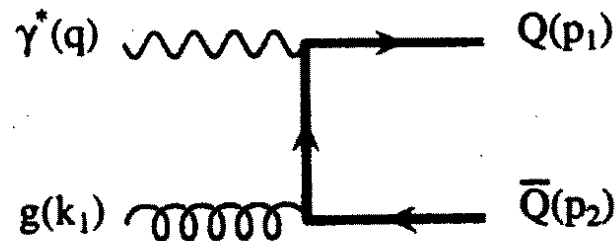
Distingamos varios regímenes cinemáticos:

- $(\sim m_c^2) \leq Q^2 \leq (\sim 10m_c^2)$ (\approx rango cubierto por datos)
 - m_c ha de ser incluida en cálculos
 - sólo u, d, s en el **P (FFNS)**
 - producción de c dominada por FGB
- $Q^2 \gg m_c^2$
 - cuando $Q^2 \gg m_c^2$ cálculo perturbativo pierde convergencia debido a $\log(Q^2/m_c^2)$ en términos superiores no calculados
 - producción de c insensible a efectos de masa
 - quarks tratados como partones sin masa:
P compuesto de u, d, s, c (**ZM-VFNS**)
 - producción de c dominada por QPM (LO) y FGB y QCDC (NLO)
- $Q^2 \sim 10m_c^2$
 - región de transición (**VFNS**)

Cálculo NLO: Harris,Smith;N.P.B452(1995)109

Laenen,Riemersma,Smith, Van Neerven; N.P.B392(1993)162,229

- Validez de **Factorización**
- Esquema **FFNS**
- Cálculo a orden fijo en α_s con $m_c \neq 0$
 - El quark **c** **no** forma parte del protón
 - Evolución de las densidades de **quarks** (u,d,s) y **gluones** según DGLAP



gluón del estado inicial

de parametrización NLO de la medida ZEUS de $F_2(x, Q^2)$:

$$F_2^p(x, Q^2)_{\text{ZEUS}} =$$

$$\left. \frac{d^2\sigma(e^+p)}{dx dQ^2} \right|_{\text{ZEUS}} \cdot \frac{Q^4 x}{2\pi\alpha^2(1+(1-y)^2)}$$

y, también, de medidas $\mu p, \mu d$ (BCDMS, E665, NMC) y νFe (CCFR) a baja energía

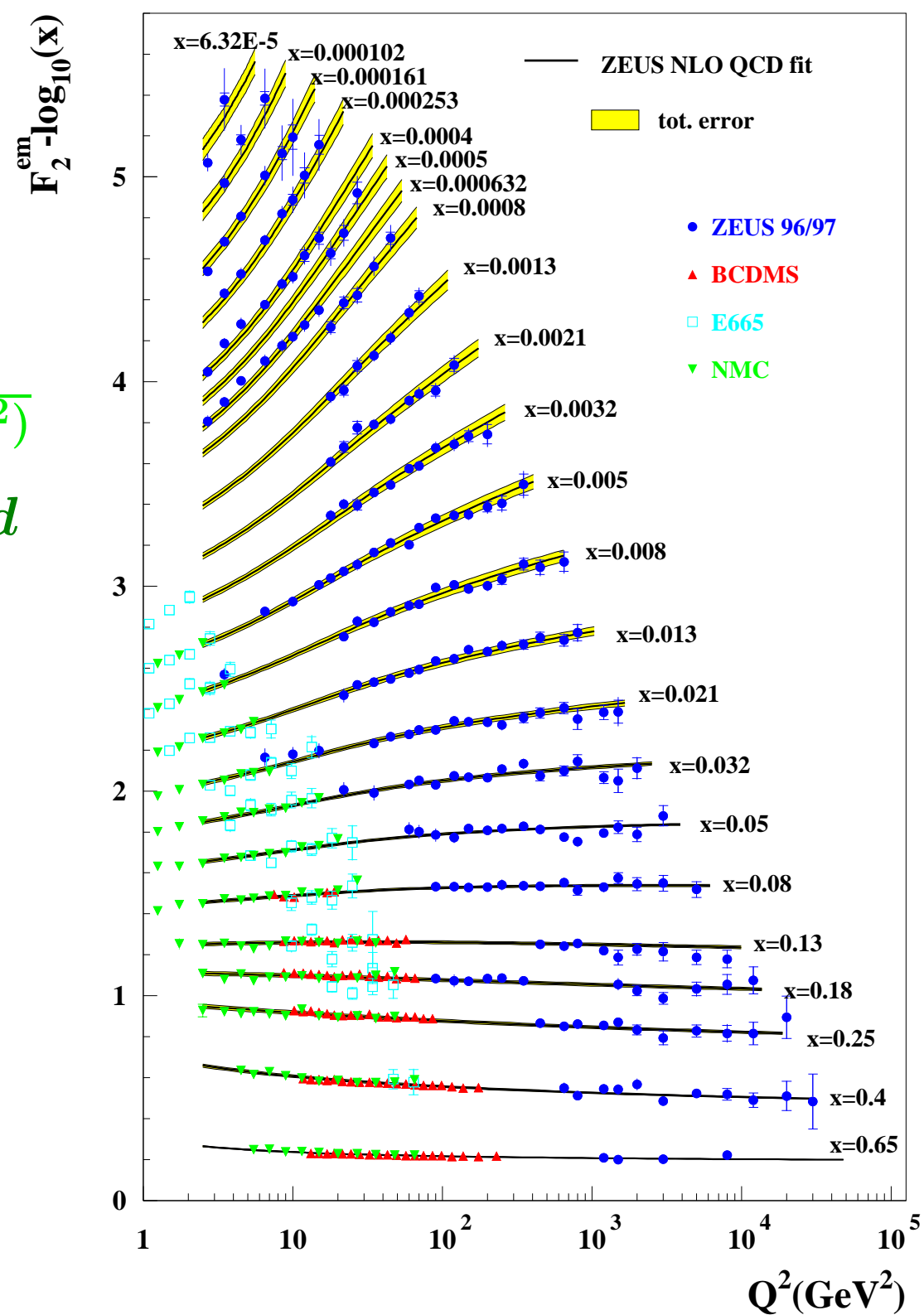
ZEUS, Phys.Rev.D67, 012007 (2003)

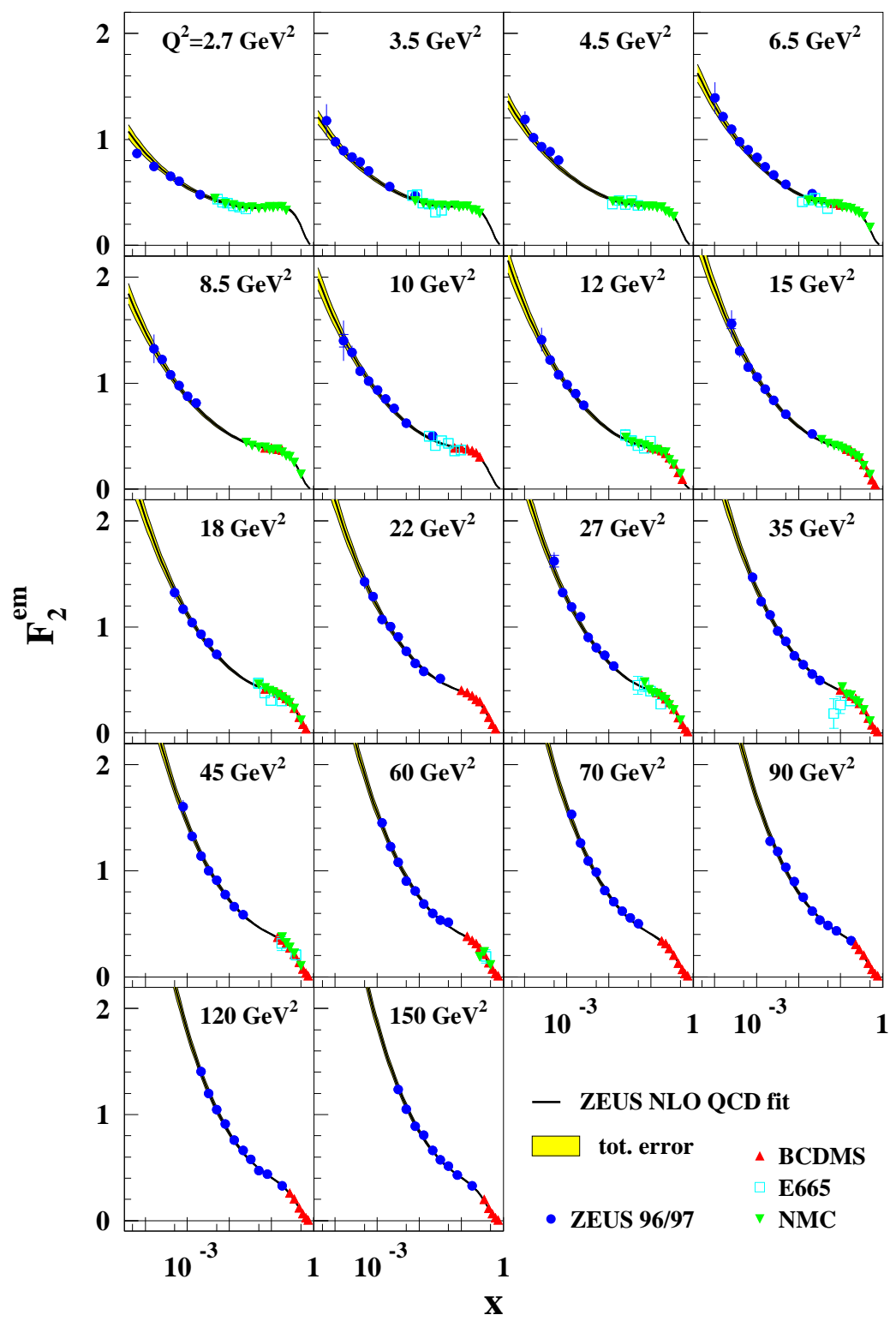
- **Evol. DGLAP NLO [$Q_0^2=7 \text{ GeV}^2$]**

$$\frac{dq_i(x, Q^2)}{d\ln Q^2} = \frac{\alpha_s(Q^2)}{2\pi} \int_x^1 \frac{dy}{y} \cdot$$

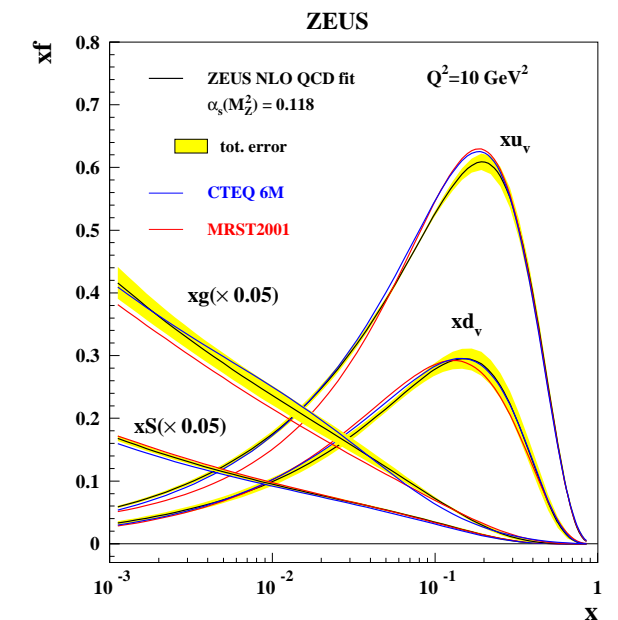
$$\left[\sum_j q_j(y, Q^2) P_{q_i q_j} \left(\frac{x}{y} \right) + g(y, Q^2) P_{q_i g} \left(\frac{x}{y} \right) \right]$$

⇒ g de violaciones de escala

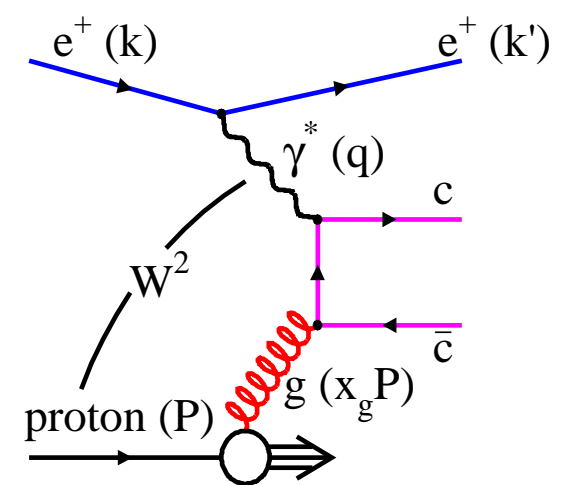




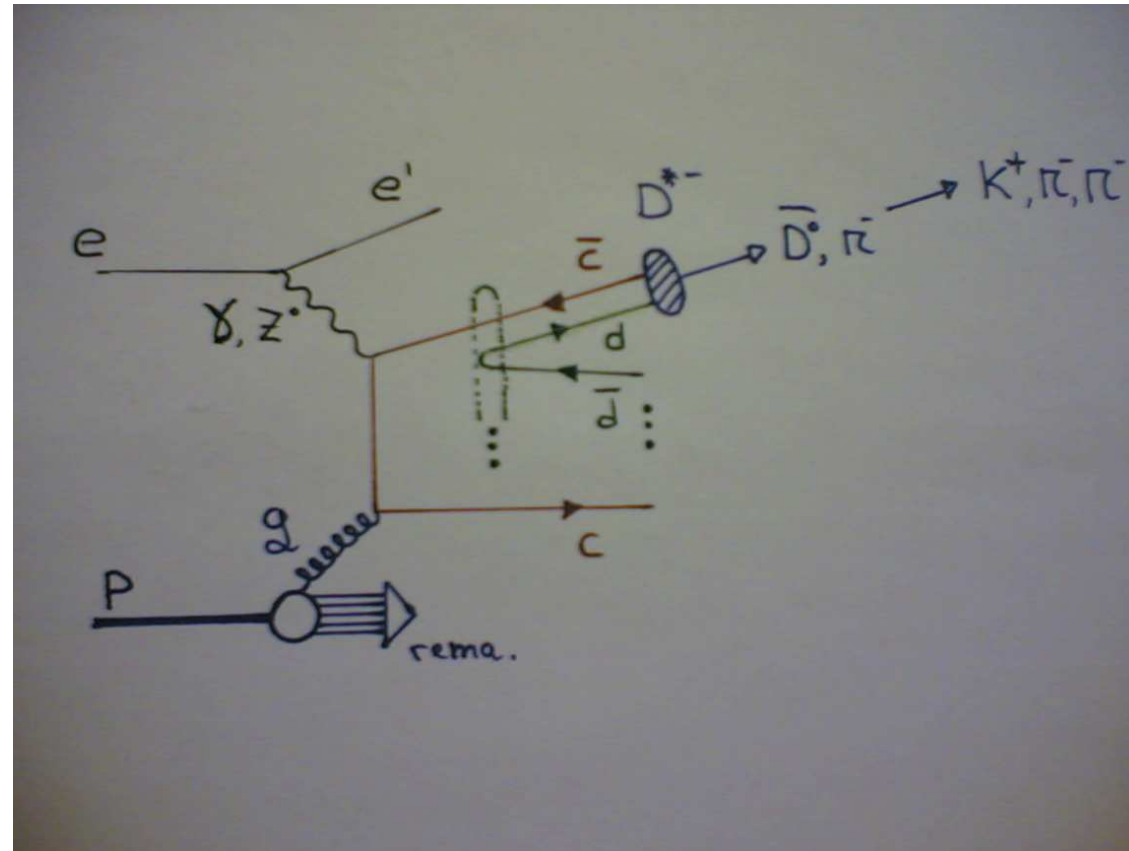
● **distrib. partónicas en Q_0 :**
 $xf(x) = p_1 x^{p_2} (1-x)^{p_3} (1+p_4 x)$



¿ es el **g** extraído de $eP \rightarrow eX$ consistente con el **g** estado inicial de nuestra reacción exclusiva $\gamma g \rightarrow c\bar{c}$?



Fragmentación del quark c y desintegración del mesón D



$\sigma =$ estructura $P \otimes e. m.$ QCD \otimes fragmentación y desintegraciones

- $f(c \rightarrow D^{*+}) = 0.235$ (de e^+e^-) [$\pm 0.007(stat + syst) \pm 0.003(f.d.)$]
estamos midiéndolo también en eP con ZEUS
- modelización $P(D^*)$ vs. $P(c)$ (...!)
- fracción de desintegración $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$
 $= 0.677 \pm 0.005 \times 0.0380 \pm 0.0009 = 0.0257 \pm 0.0006$

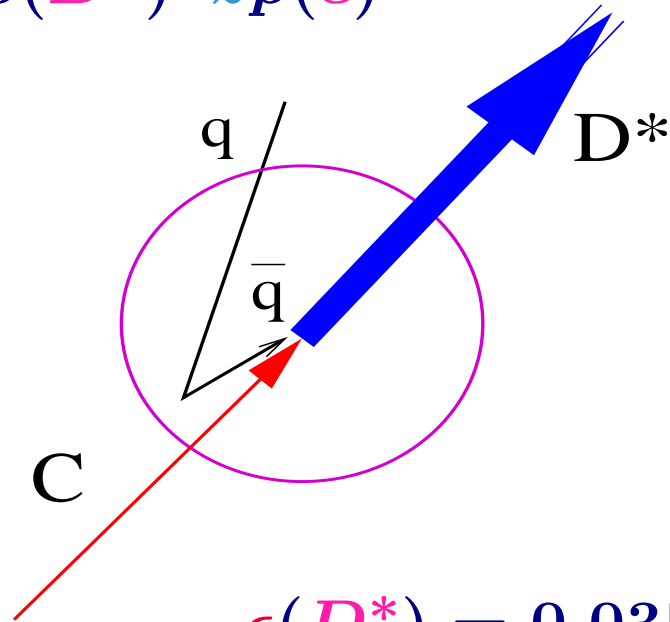
Modelización de *fragmentación*; introducción en predicción teórica

- Aproximación básica: función de **Peterson** para fragmentación quarks pesados: ... , Schlatter, Schmitt, Zerwas; Phys.Rev.D27,105(1983)

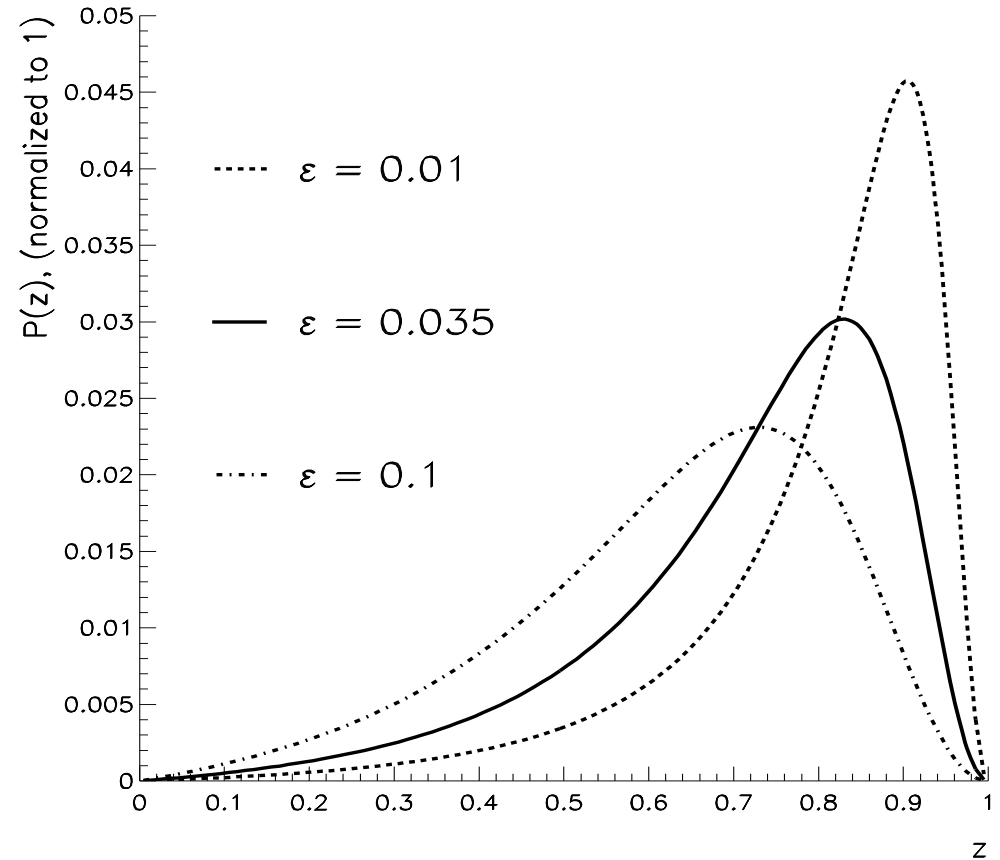
Amplitud ($Q \rightarrow H + q$) $\propto \Delta E^{-1}$

\Rightarrow función de frag. $f(z) \propto \frac{1}{z \left[1 - \frac{1}{z} - \frac{\epsilon}{(1-z)} \right]^2}$; $\epsilon \sim \frac{m_q^2}{m_Q^2}$

$$\vec{p}(D^*) = z \vec{p}(c)$$



$\epsilon(D^*) = 0.035 \pm 0.015$
tomado de e^+e^-

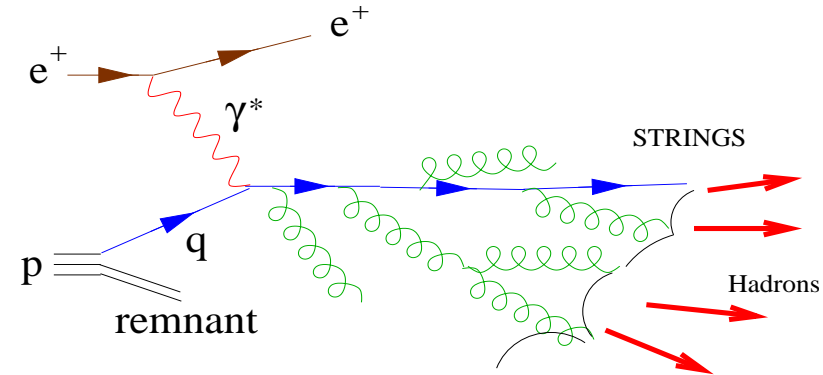


Modelos completos de *fragmentación*

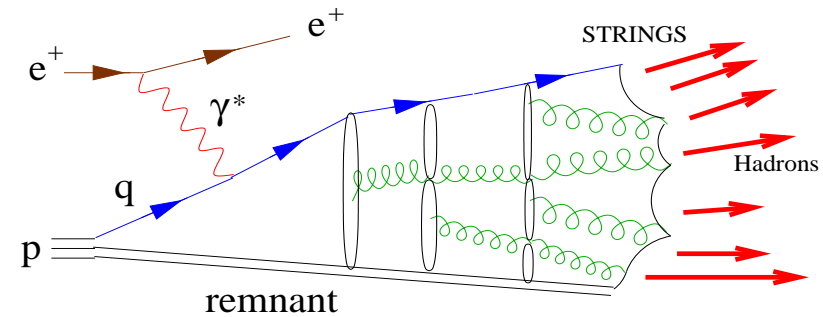
- Correcciones a frag. Peterson
- Simulación completa estado final de cualquier reacción fundamental
- Implementados en programas **Monte Carlo** permiten realizar la simulación total de la respuesta del detector a las partículas del estado final

- ⇒ Herramienta imprescindible en experimentos de altas energías
- estudios de eficiencias, aceptancias ...
 - interpretación física de los datos

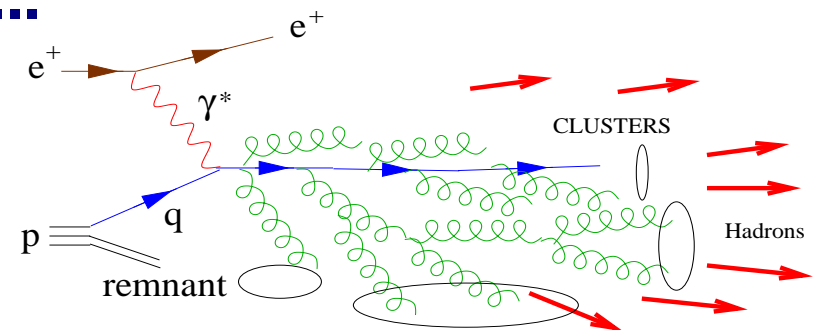
ME-PS+STRING MODEL



ARIADNE+STRING MODEL

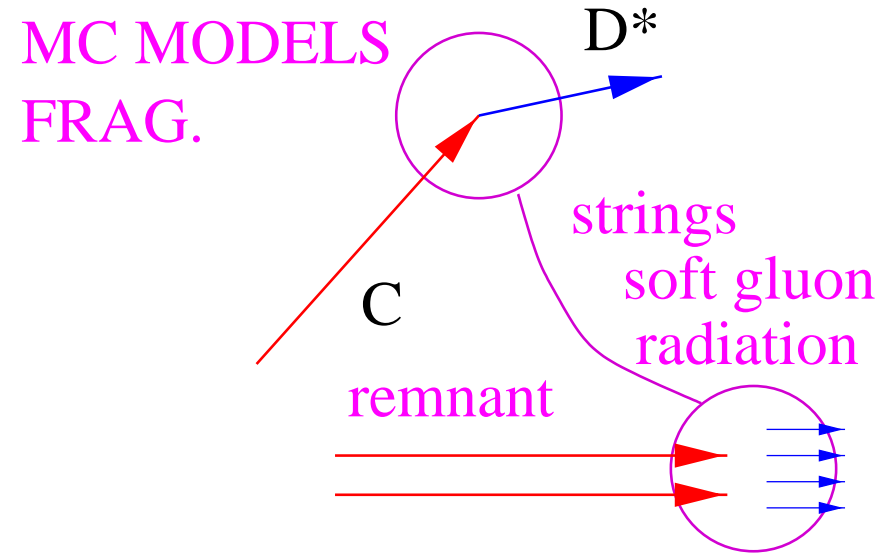
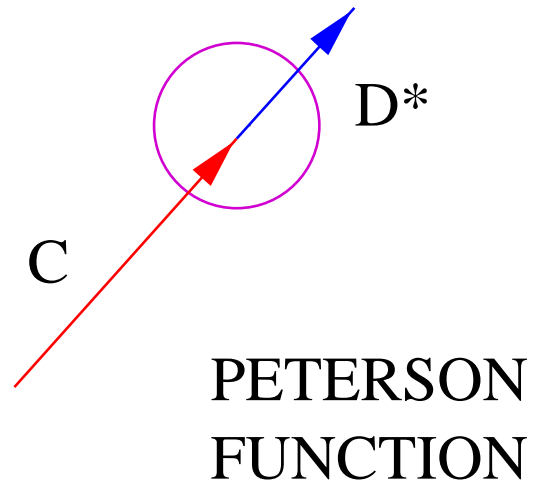


HERWIG=Interfering gluon PS+CLUSTER



Producción de $D^{*\pm}$

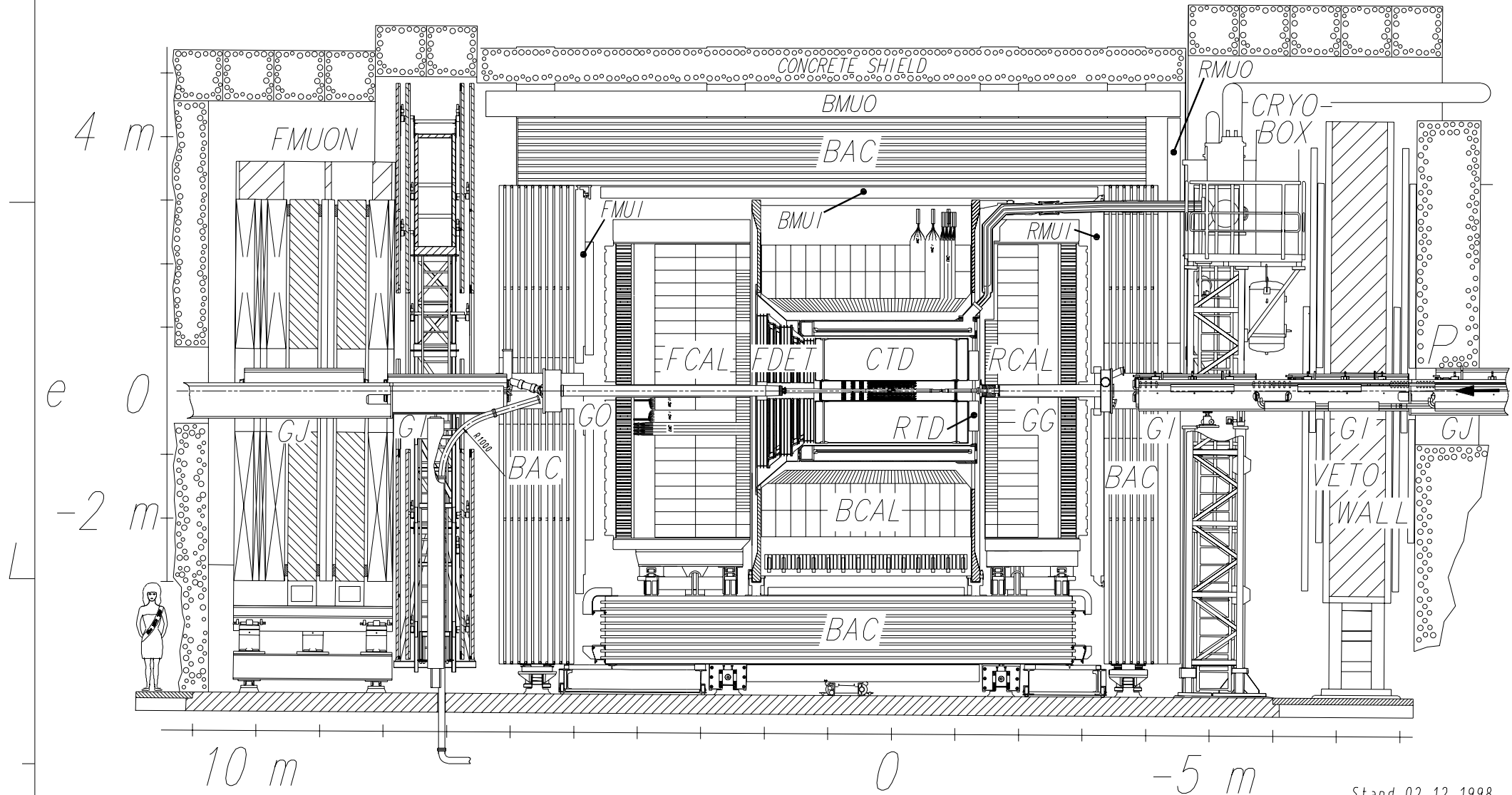
Efectos de fragmentación peculiares: cuerda $c \longleftrightarrow P$



MEDIDA

El detector ZEUS

Overview of the ZEUS Detector 2000
(longitudinal cut)

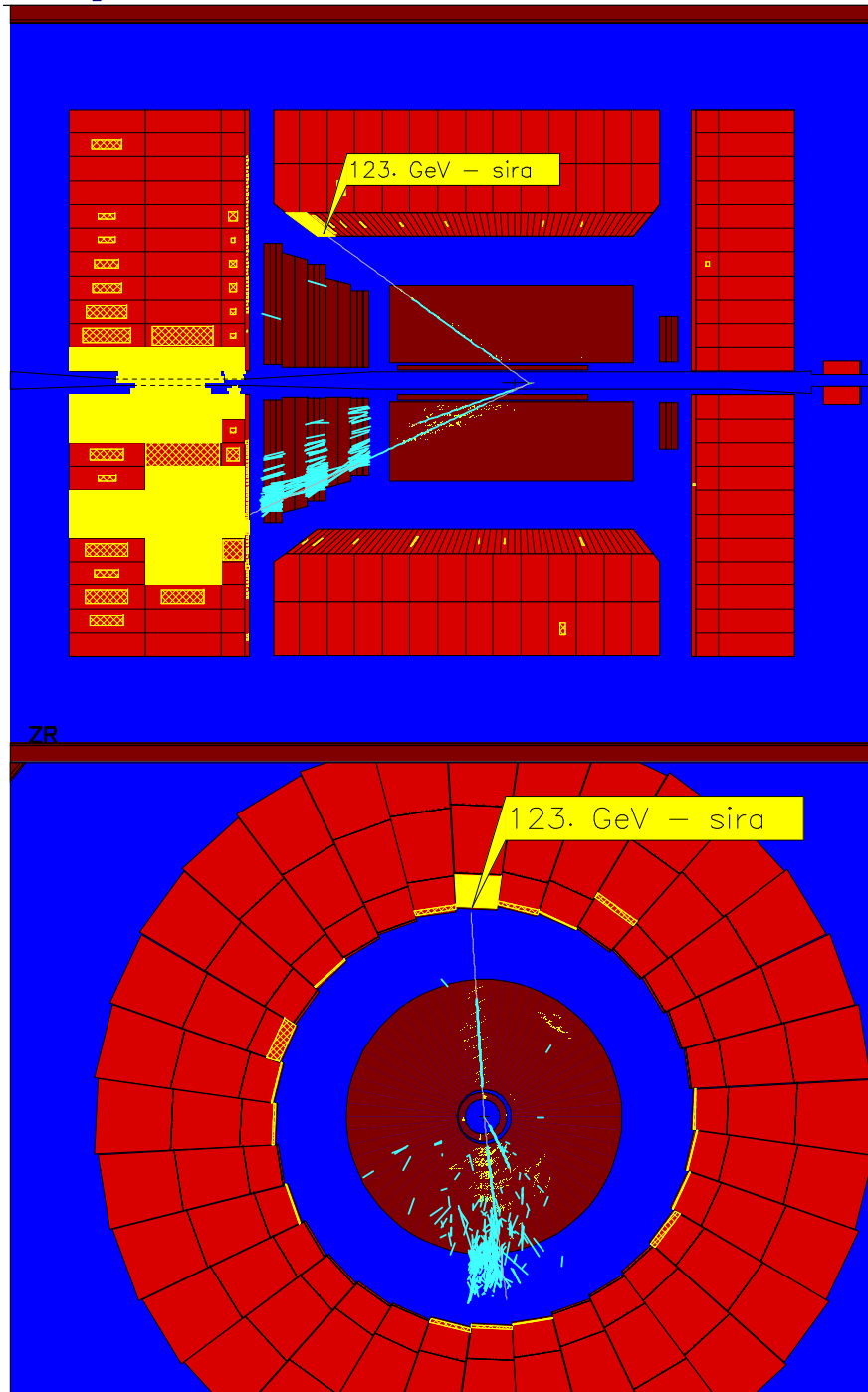


Stand 02.12.1998

DESY-ZEUS	NN
Project	ZEUS
Author	...
Version	...
Date	...
Scale	1:20
ZEUS Detector 2000	
DESY-ZEUS	
NN	

Disparo del Sistema de Adquisición de Datos (“Trigger y DAQ”)

Espectacular suceso CN-IPI:



Caso CN-IPI:

[HERA] 10^7 cruce-haces/segundo
↓ 10^7 Hz.

[N1a] depósito aislado de energía
en calo. electromagnético

[N1b] señal TRK si en aceptación
↓ $\approx 10^3$ Hz.

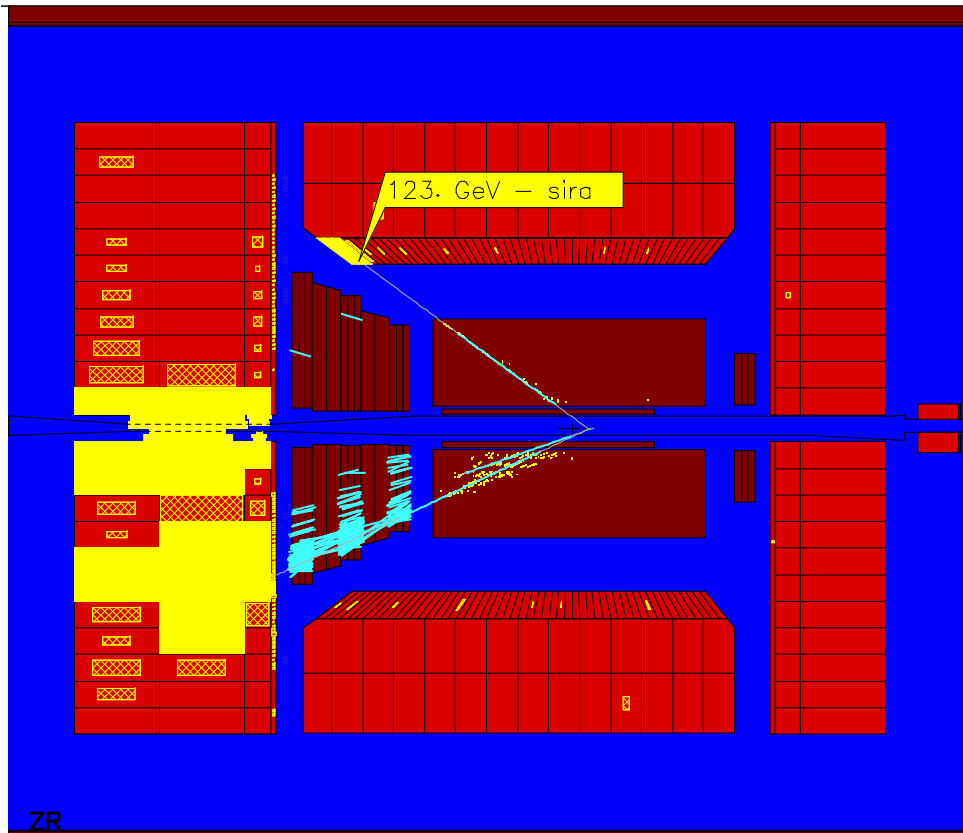
[N2a] tiempos correctos

[N2b] $E - P_z|_{detector} > 29$ GEV
↓ $\approx 10^2$ Hz.

[N3a] buscador de electrones: OK
↓ ≈ 5 Hz.

[DISPOSITIVO de
ALMACENAMIENTO]

Medida de la **Cinemática** de la reacción **eP**



Estado final determinado con dos variables independientes pero medimos más de dos:

- $E_{e'}$ con CAL, $\theta_{e'}$ con CAL+TRK
- “*sistema hadrónico*” con CAL:
$$P_{x,y,z}^h = \sum_h p_{x,y,z}^h, \dots$$

⇒ redundancia en medida de, p.ej., Q^2 , x :

$$Q^2|_e = 2E_e E_{e'}(1 + \cos\theta_{e'}); x|_e = \dots$$

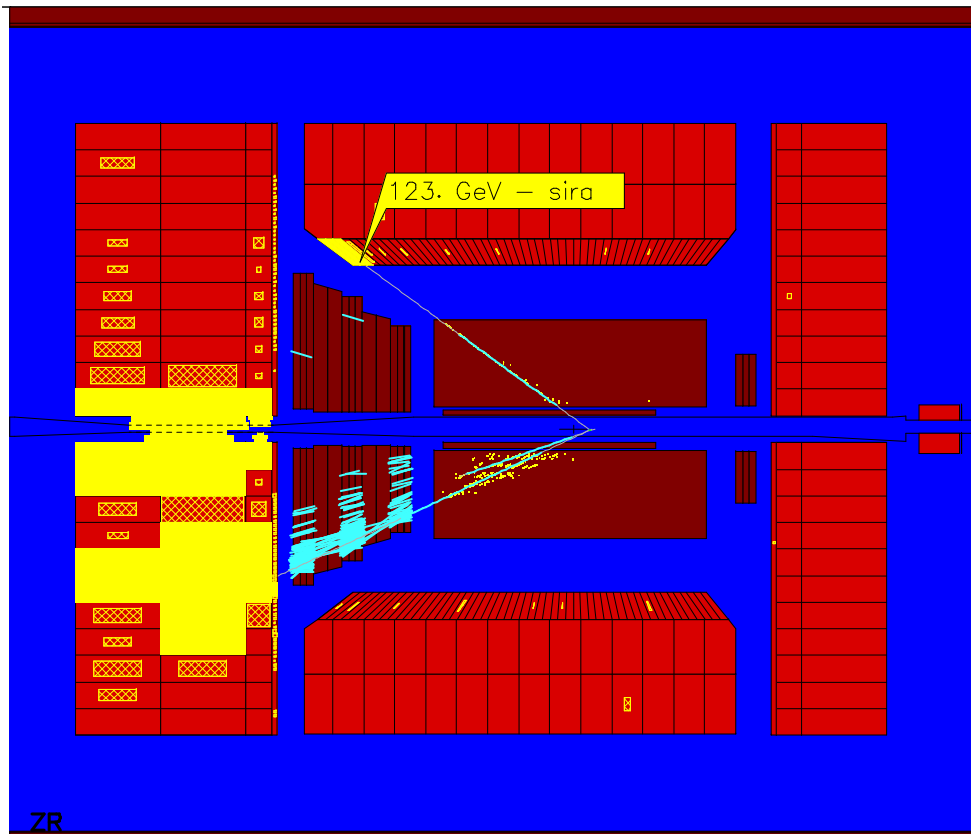
$$Q^2|_h = \frac{1}{1-y|_h} [(\sum_h p_x^h)^2 + (\sum_h p_y^h)^2]; y|_h = \frac{1}{2E_e} \sum_h (E^h - p_z^h); \dots$$

$$Q^2|_{DA} = \dots$$

⇒ aumento precisión + reducción sistemática

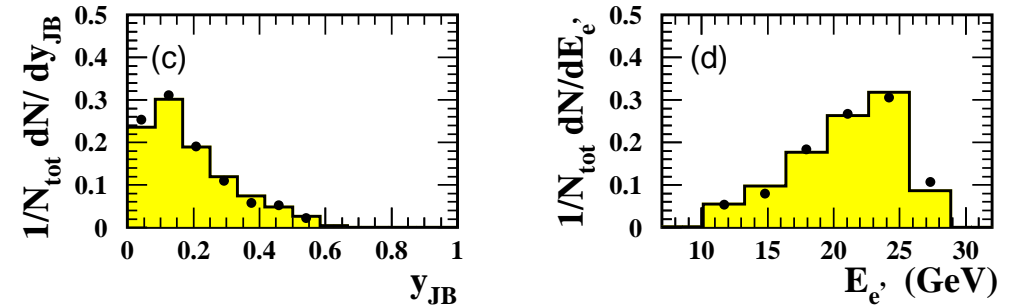
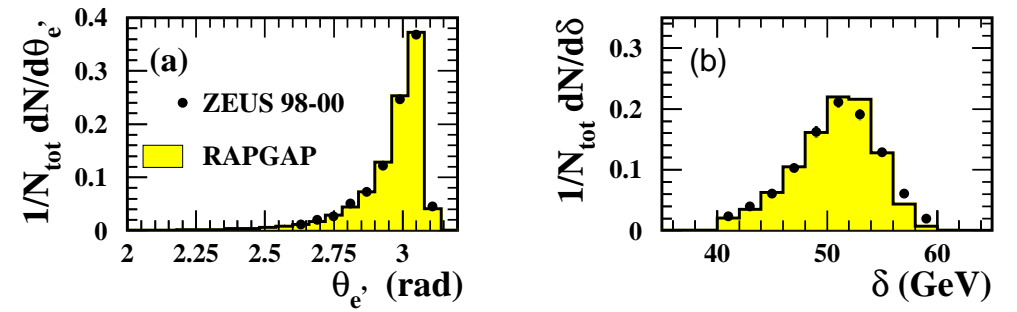
Selección estados finales CN-IPI

- Selección topología **CN-IPI**:
 - Algoritmo buscador de electrones identifica e' , $E_{e'} > 10$ GeV
 - $y|_e < 0.95$ contra erróneos e' s en zona delantera
 - $y|_h > 0.02$ mínima actividad hadrónica
- Contra γP : $40 < (E - P_z)_{cal} < 65$ GeV (invariante $= 2E_e$)
- Contra interac. del haz con gas residual: $|Z_{vtx}| < 50$ cm.

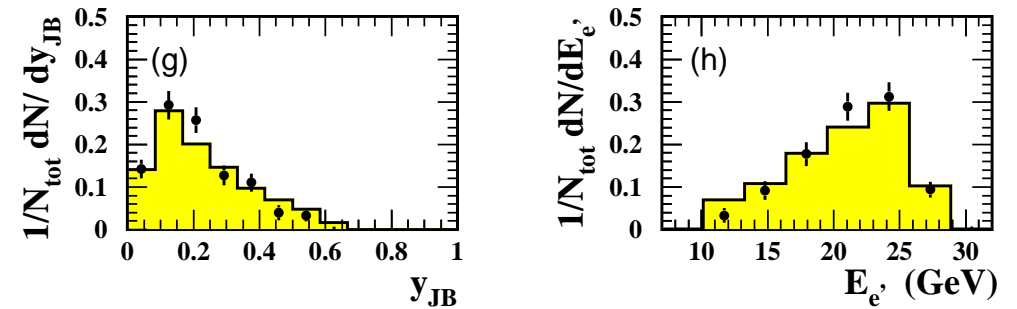
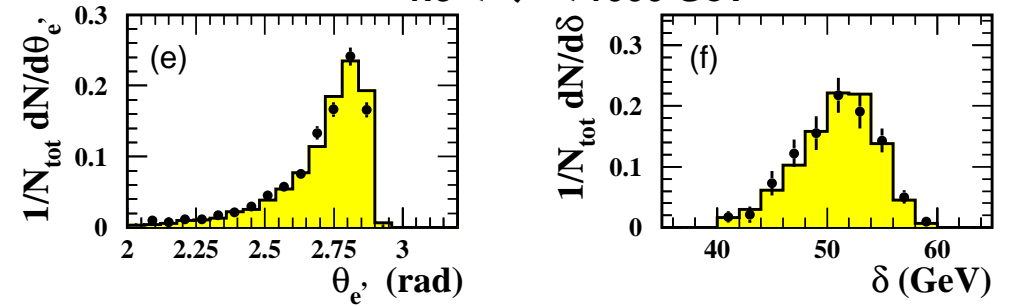


Estimación de Fondos

- de reacciones γP :
 - π de jet identificado como e'^-
 - estimado con M.C. HERWIG
 - típicamente $< 1\%$
- de int. haz gas residual:
 - estimado con haces sin colisión
 - *despreciable*



$1.5 < Q^2 < 1000 \text{ GeV}^2$

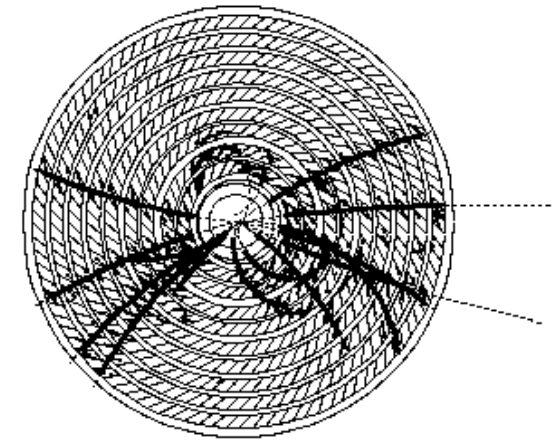
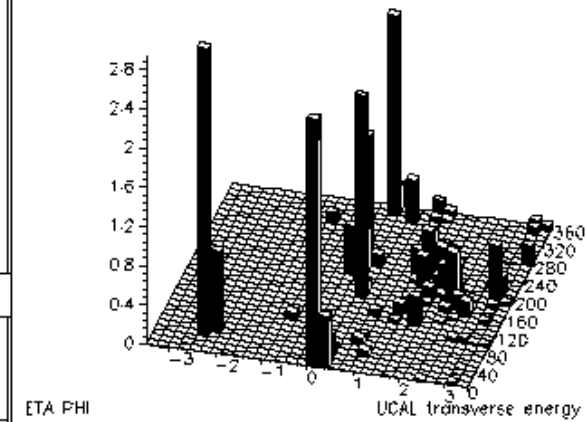
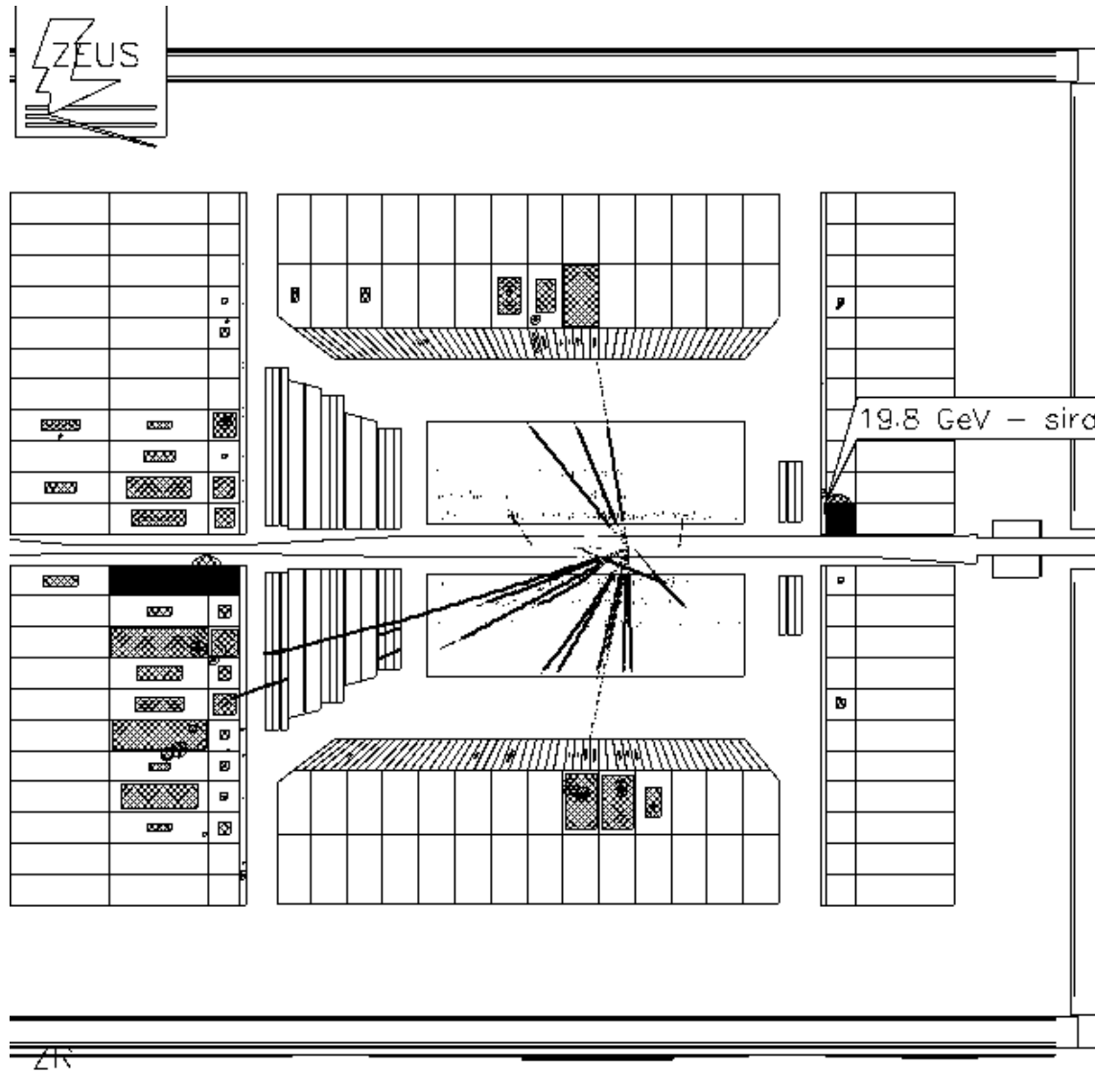


$40 < Q^2 < 1000 \text{ GeV}^2$

$$y_{\text{JB}} \equiv y_h$$

$$\delta = E - P_z$$

Reconstrucción del mesón $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+ \rightarrow [K^- \pi^+] \pi^+ + \text{c.c.}$



- Trazas en el **detector central (TRK)** asignadas a K^- , π^+ y π_s^+ ; masas invariantes de las combinaciones-de-trazas [partículas]:
 $m_{[K^- \pi^+]}, m_{[K^- \pi^+] \pi^+}, \Delta M = m_{[K^- \pi^+] \pi^+} - m_{[K^- \pi^+]}$

Reconstrucción del mesón $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+ \rightarrow [K^- \pi^+] \pi^+ + c.c.$

Detalles:

- trazas reconstruidas en **TRK** y consistentes con vértice primario
- al menos $\approx 1/3$ **TRK** involucrado
- con $p_T > 0.12$ GeV
- se consideran pares de trazas de $p_T > 0.4$ GeV y *carga opuesta*
- en el par se asigna alternativamente a cada traza el ser K o π
- en cada caso se calcula $m_{[K^- \pi^+]}$
- se combina par con posibles terceras trazas con la carga del K ; tercera traza asignada a π , se calcula $m_{[K^- \pi^+] \pi^+}$
- si $1.80 < m_{[K^- \pi^+]} < 1.92$ GeV y
 $0.143 < m_{[K^- \pi^+] \pi^+} - m_{[K^- \pi^+]} < 0.148$ GeV
 \implies **candidato a D^{*+}**
- método *carga errónea* para estimación fondo: igual procedimiento excepto las trazas del par tienen *misma carga*

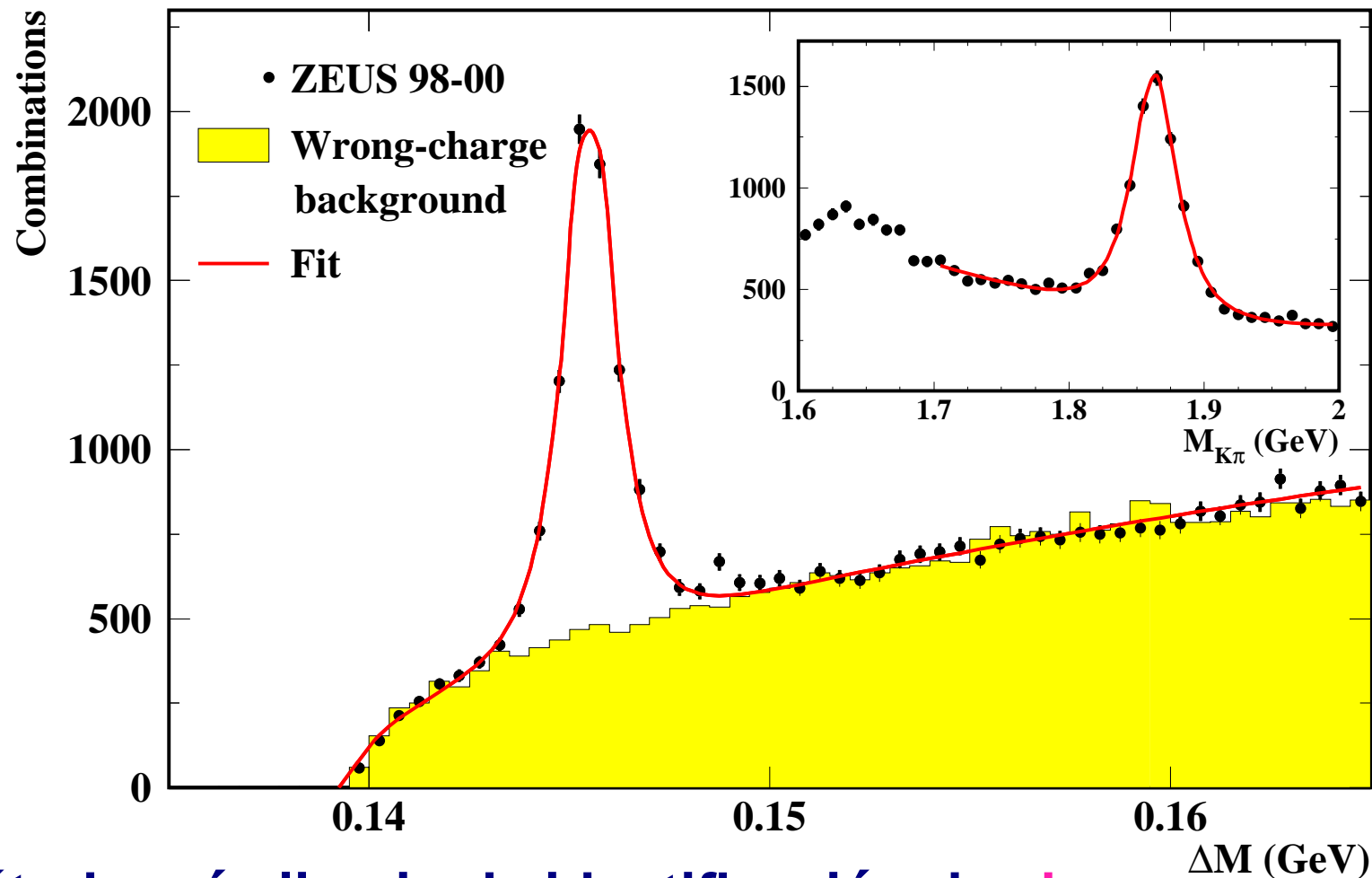
Reconstrucción del mesón $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+ \rightarrow [K^- \pi^+] \pi^+ + c.c.$

Dado que $m_{D^{*+}} - m_{D^0} = 2010 - 1864 = 146 \text{ MeV}$

→ Reacción muy restringida cinemáticamente

→ Fondo combinatorial pequeño debido al muy limitado espacio de fase permitido :

ZEUS



⇒ Método más limpio de identificación de **charm**

Inciso: Otros Métodos de Identificación/Reconstrucción de Charm

- **Reconstrucción de desintegraciones de mesones- c en hadrones cargados** $c \rightarrow DX$

$$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+ \rightarrow [K^- \pi^+] \pi^+ \quad (\text{ffd}^*: 0.6\% = 0.235 \times 0.677 \times 0.038)$$

$$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+ \rightarrow [\bar{K}_0 \pi^+ \pi^-] \pi^+ \rightarrow [K_0^s \pi^+ \pi^-] \pi^+ \\ \rightarrow [\pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-] \pi^+ \quad (\text{ffd}: 0.5\% = 0.235 \times 0.677 \times 0.059 \times 0.5)$$

$$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+ \rightarrow [K^- \pi^- \pi^+ \pi^+] \pi^+ \quad (\text{ffd}: 1.2\% = 0.235 \times 0.677 \times 0.075)$$

$$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+ \quad (\text{ffd}: 2.1\% = 0.232 \times 0.091)$$

$$D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \quad (\text{ffd}: 2.1\% = 0.549 \times 0.038)$$

$$D_s^+ \rightarrow \Phi \pi^+ \rightarrow [K^+ K^-] \pi^+ \quad (\text{ffd}: 0.18\% = 0.101 \times 0.036 \times 0.492)$$

Pros: Medida de precisión.

Mínima pérdida de información en $c \rightarrow D$

Contras: Espacio de fase limitado a TRK

(*) fracción de fragmentación y desintegración

Inciso: Otros Métodos de Identificación/Reconstrucción de Charm

- Medida del leptón proveniente de desintegración semileptónica

$$\Gamma(c \rightarrow l^+ \text{ anything}) / \Gamma(c \rightarrow \text{ anything}) = 0.096$$

Ejemplos para $l^+ = e^+$:

$$c \rightarrow D^+ X \rightarrow \bar{K}^0 e^+ \nu_e X \quad (\text{ffd: } 1.5\% = 0.23 \times 0.066)$$

$$c \rightarrow D^0 X \rightarrow K^- e^+ \nu_e X \quad (\text{ffd: } 2.0\% = 0.55 \times 0.036)$$

Totales más importantes para $l^+ = e^+$:

$$c \rightarrow D^+ X \rightarrow e^+ \nu_e Y \quad (\text{ffd: } 4.0\% = 0.23 \times 0.172)$$

$$c \rightarrow D^0 X \rightarrow e^+ \nu_e Y \quad (\text{ffd: } 3.8\% = 0.55 \times 0.069)$$

Pros: - Espacio de fase de acceso directo mayor
- Mejora estadística substancial

Contras: - $c \rightarrow e^+$ menos directo, fondo grande

- Resolución pobre

- Dependencia en modelización de otras fuentes de e^+ 's

Sección Eficaz de Producción de $D^{*\pm}$

En el rango cinemático:

$$1.5 < Q^2 < 1000 \text{ GeV}^2, \quad 0.02 < y < 0.7$$

$$1.5 < P_T(D) < 20 \text{ GeV}, \quad -1.6 < \eta(D) < 1.6$$

$$\eta = -\ln\left[\text{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]$$

$$Y \equiv \text{RAPIDEZ} = \frac{1}{2} \frac{E+P_z}{E-P_z}$$

ΔY invariante Lorentz

$$Y = \eta \text{ si } m=0$$

Para el intervalo i -ésimo de la variable X con anchura ΔX_i

$$\sigma = \frac{N}{L} \quad \text{se convierte en} \quad \frac{d\sigma}{dX} = \frac{N_{D^{*\pm}}}{\epsilon_X^i \cdot f_d} \cdot \frac{1}{L} \cdot \frac{1}{\Delta X_i}$$

donde:

- $N_{D^{*\pm}}$ es el no. de $D^{*\pm}$ reconstruidos:
de ajuste a distribución masa invariante y/o contaje
- ϵ_X^i : eficiencia de reconstrucción
- f_d es la fracción de desintegración $D^{*+} \rightarrow [K^- \pi^+] \pi^+ + \text{c.c.}$:
 $0.677 \pm 0.005 \times 0.0380 \pm 0.0009 = 0.0257 \pm 0.0006$
- L : luminosidad integrada, $L = 81.9 \pm 1.6 \text{ pb}^{-1}$

Medida de la **Luminosidad**

$$L = \frac{N}{\sigma} \Rightarrow \text{medir frecuencia de sucesos (N) de una reacción sencilla de } \sigma \text{ grande y conocida}$$

Bremsstrahlung eP :

$$eP \rightarrow e'\gamma P$$

- incertidumbre teórica $\approx 0.4\%$

Bethe, Heitler 1934

- γ identificado y medido en calorímetro a 107 m. del P.I.

- 4 medidas independientes:

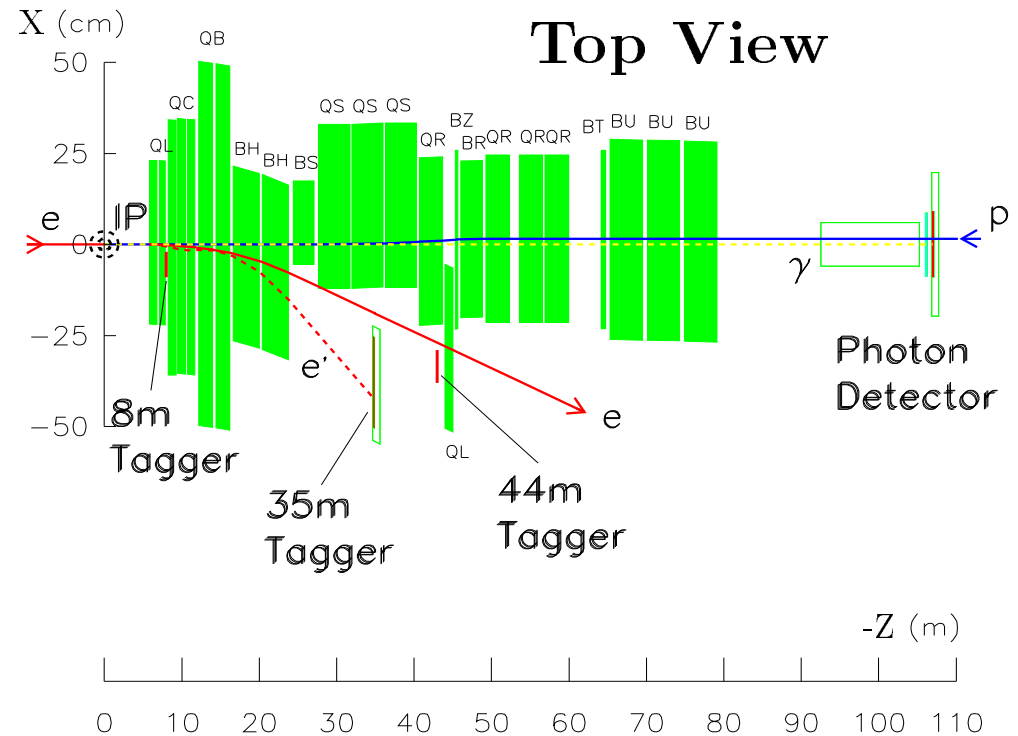
$$N(E_\gamma > 2 \text{ GEV}) \sigma = 110 \text{ mb}$$

$$N(E_\gamma > 5 \text{ GEV}) \sigma = 66 \text{ mb}$$

$$N(E_\gamma > 10 \text{ GEV}) \sigma = 36 \text{ mb}$$

$$N(10 < E_\gamma < 16 \text{ GEV}) \sigma = 18 \text{ mb}$$

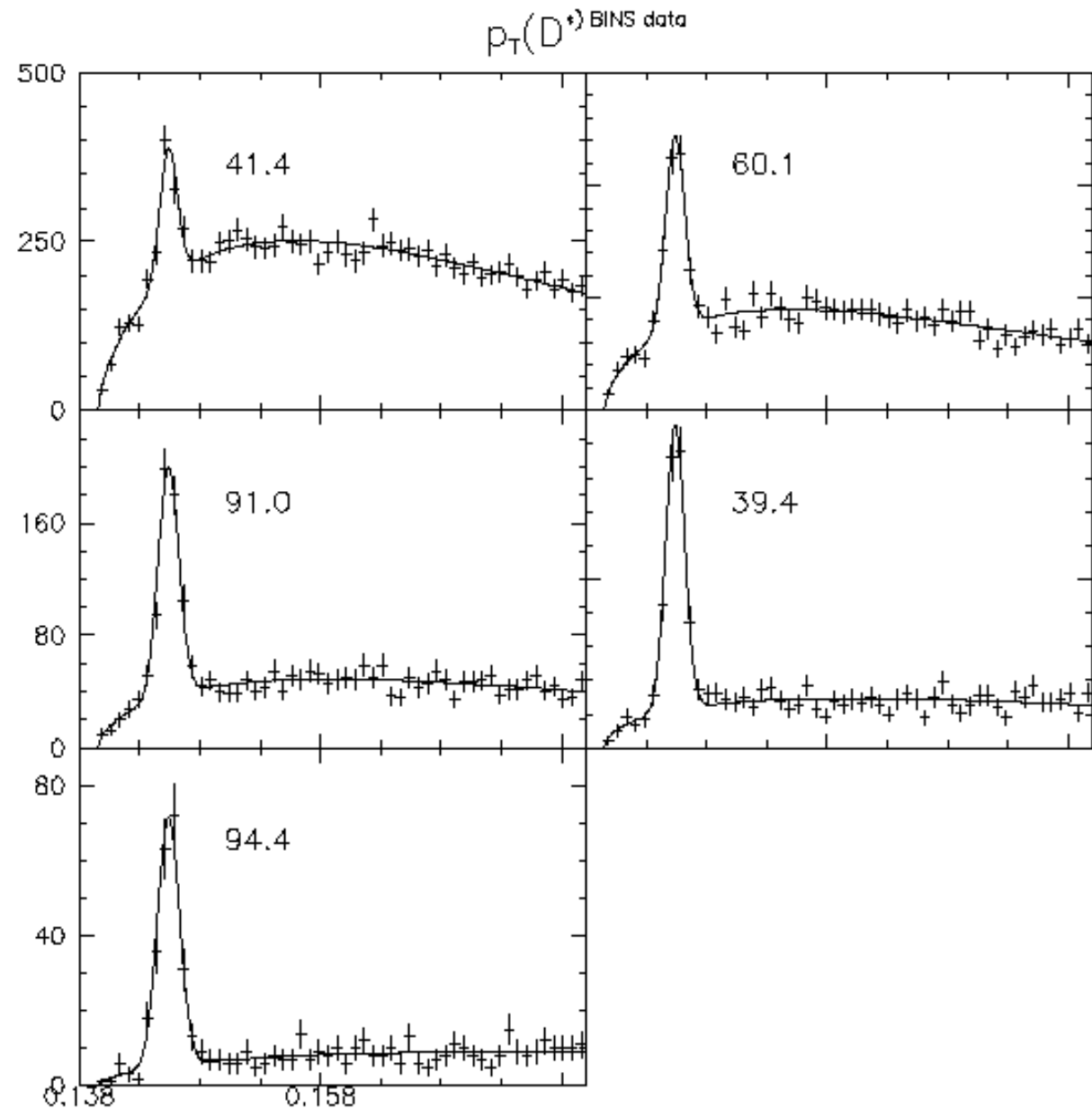
\Rightarrow Incertidumbre total en determinación de L : **2%**



Estimación del número de $D^{*\pm}$ reconstruidos: ajuste a señal + fondo

$$x = \left| \frac{(\Delta M - p_2)}{p_3} \right|;$$

$$F = p_1 \exp\left(-\frac{1}{2}x \left(1 + \frac{1}{1+0.5x}\right)\right) + p_4(\Delta M - m_\pi)^{p_5}$$



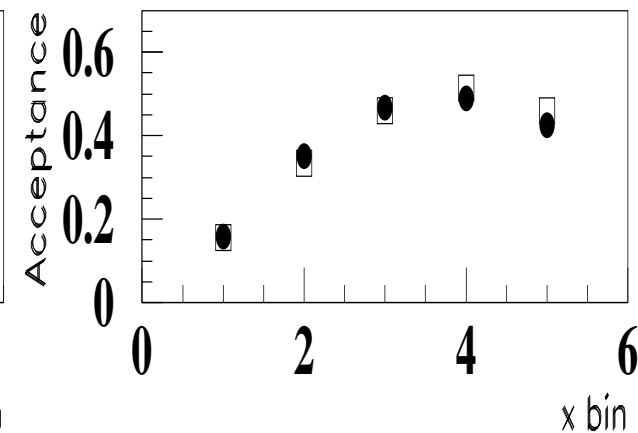
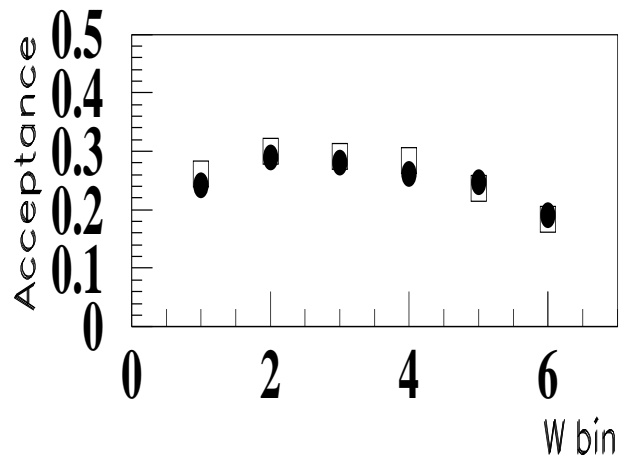
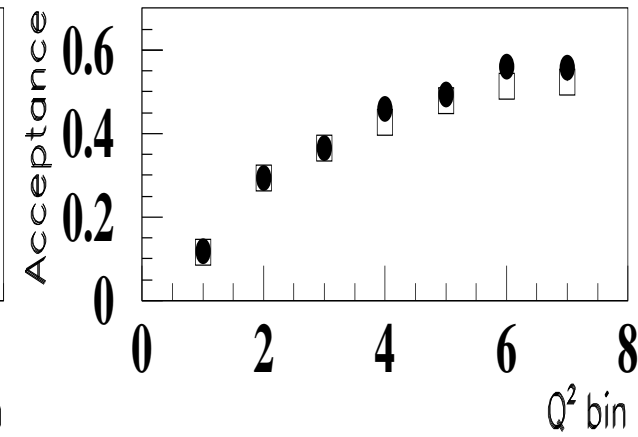
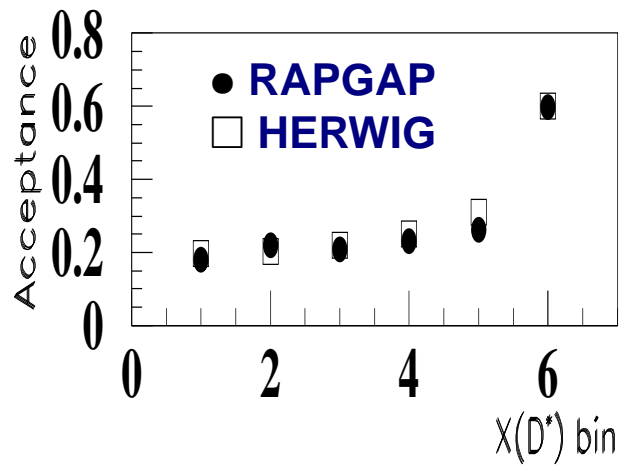
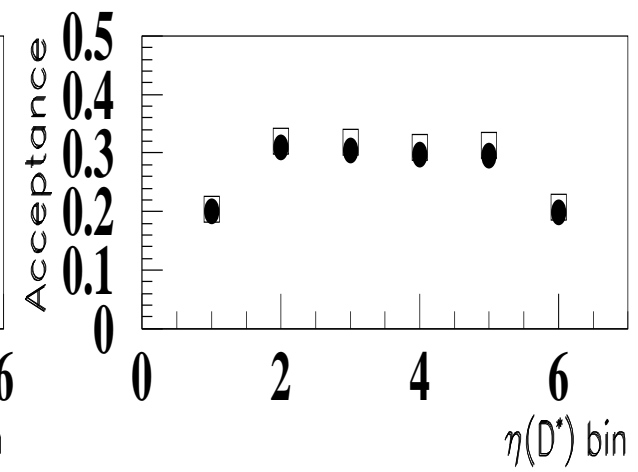
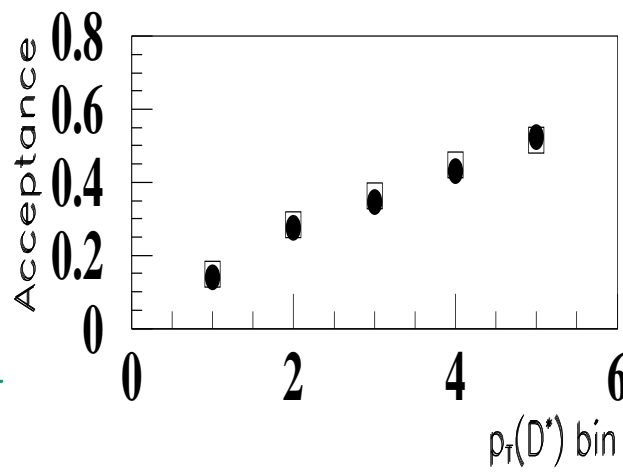
Eficiencia Reconstrucción estimada con Monte Carlo

$$\epsilon_X^i = \frac{\text{no. } D^{*\pm} \text{ rec.}}{\text{no. } D^{*\pm} \rightarrow K\pi\pi \text{ gen.}} \Big|_X^i$$

[intervalo i , variable X]

$\text{no. } D^{*\pm} \text{ rec.}$:
número de $D^{*\pm}$ reconstruidos
en región cinemática
después de cortes

$\text{no. } D^{*\pm} \rightarrow K\pi\pi \text{ gen.}$:
número de $D^{*\pm}$ generados
con desintegración adecuada
en región cinemática



Otros Fondos

- D^* de $b\bar{b}$

- estimado con NLO-FGB + correcciones MC fragmentación
- en media **2%**
- crece con Q^2 : de **1.5 a 5 %** para Q^2 de **1.5 a 1000** GEV^2
- crece según disminuye x : de **0.7 a 3.1 %** para x de **0.003 a 0.00035** ($Q^2 = 18 \text{ GEV}^2$)
- sustraído en sección eficaz medida

Incertidumbres (error sistemático)

● En resultado *experimental*

- Selección/eficiencia estados finales NC-IPI: $+2.3$ / -1.9 %
 - estudio comportamiento relativo datos y simulación M.C. con variación criterios selección
- Reconstrucción/eficiencia $D^*\pm$: $+2.9$ / -1.6 %
 - comportamiento relativo con criterios selección
 - variaciones con histogramación y métodos de ajuste
 - variaciones con región de señal
- modelo Monte Carlo usado: -2.7 %
- determinación de Luminosidad: 2 %
- *fracción de desintegración*: 2 %

● En predicción *teórica*

- valor de m_c (cambiado ± 0.15 GeV): $+9.7$ / -9.1 %
- escalas de factorización y renormalización: $+4$ / -1 %
- exp. transmitidas a parametrización ZEUS-NLO: ± 5 %
- fragmentación (valor de ϵ , efecto *cuerda*): $+6$ / -4 %
- *fracción de fragmentación $f(c \rightarrow D^*)$* : 3 %

ANALISIS de RESULTADOS

Producción de $D^{*\pm}$:
Secciones Eficaces Medidas

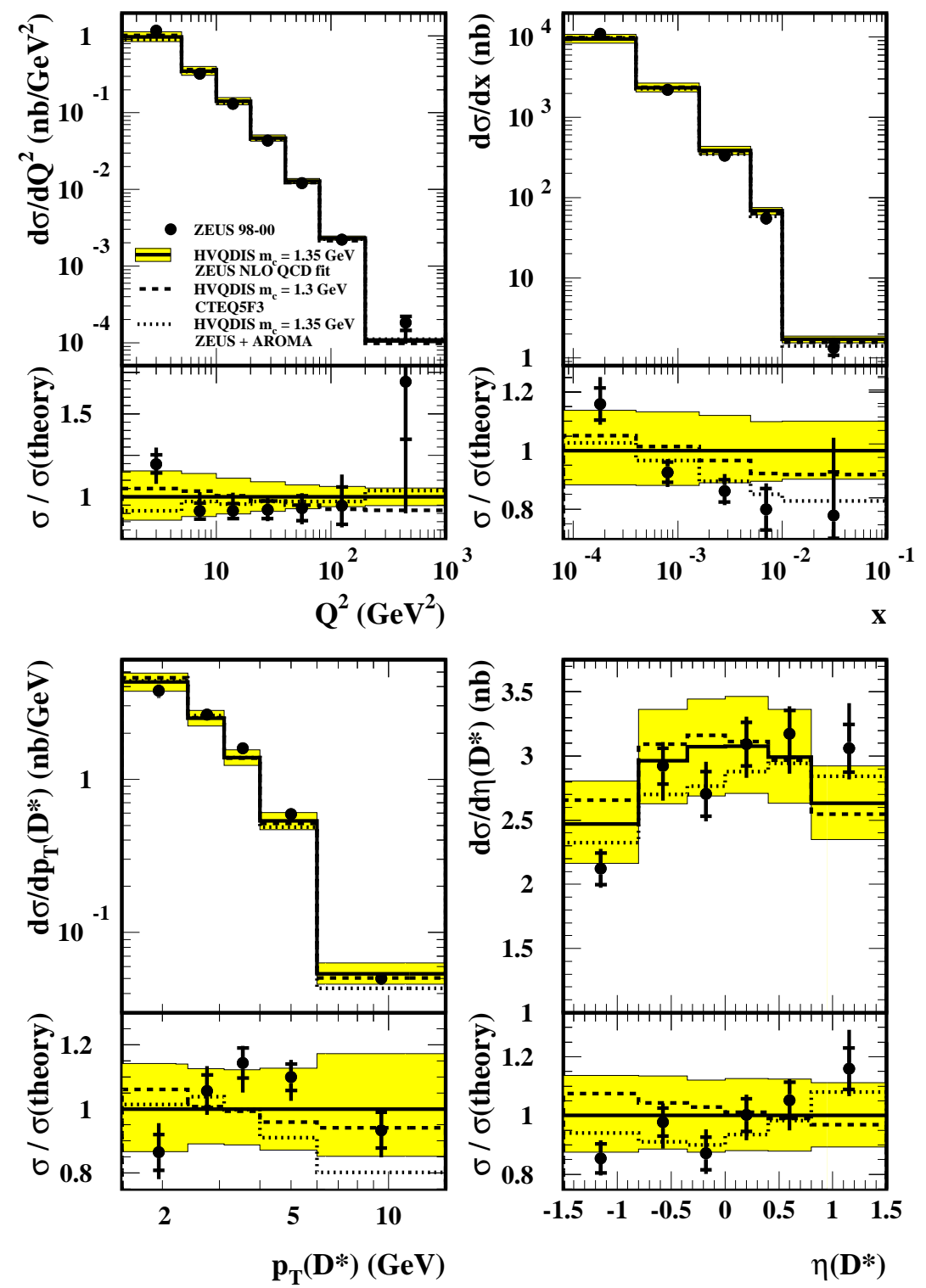
- $1.5 < Q^2 < 1000 \text{ GeV}^2$
- $0.02 < y < 0.7$
- $1.5 < P_T(D^*) < 20 \text{ GeV}$
- $-1.6 < \eta(D^*) < 1.6$

Consistentes con lo esperado:

- dependencia $Q^2, p_T \sim \frac{1}{E^2}$
- $\sigma(x)$ aumenta con $x \rightarrow 0$
- conducta $\eta \sim$ plana

Comparación con QCD:

- buen **acuerdo** con FGB-NLO con PDF ZEUS-NLO
- \Rightarrow universalidad $g(x, Q^2)$
- se observa línea color con P



$F_2^{c\bar{c}}$: contribución de $c\bar{c}$ a la función de estructura del protón
(extrapolación a todo el espacio de fase)

- definición usada:

$$\frac{d^2\sigma^{c\bar{c}}(x, Q^2)}{dx dQ^2} = \frac{2\pi\alpha^2}{xQ^4} \{ [1 + (1 - y)^2] F_2^{c\bar{c}}(x, Q^2) - y^2 F_L^{c\bar{c}}(x, Q^2) \}$$

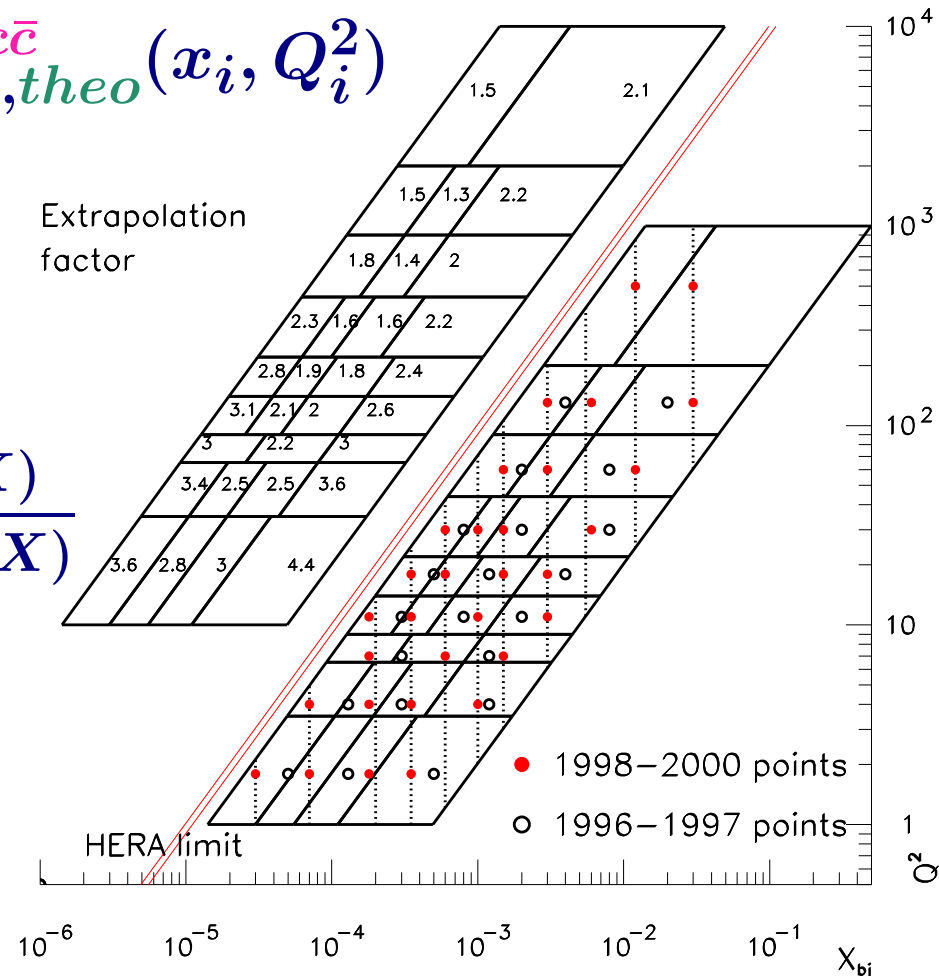
- obtención (extrapolación) a partir de $\sigma(D^{*\pm})$ medida:

$$F_{2,med}^{c\bar{c}}(x_i, Q_i^2) = \frac{\sigma_{i,med}(ep \rightarrow D^{*\pm} X)}{\sigma_{i,theo}(ep \rightarrow D^{*\pm} X)} F_{2,theo}^{c\bar{c}}(x_i, Q_i^2)$$

- Factor de extrapolación

$$F.e.(x_i, Q_i^2) = \frac{\sigma_{theo}^{RCtotal}(x_i, Q_i^2; ep \rightarrow D^* X)}{\sigma_{theo}^{RCmedida}(x_i, Q_i^2; ep \rightarrow D^* X)}$$

de 1.5 a 4.4 (!!)

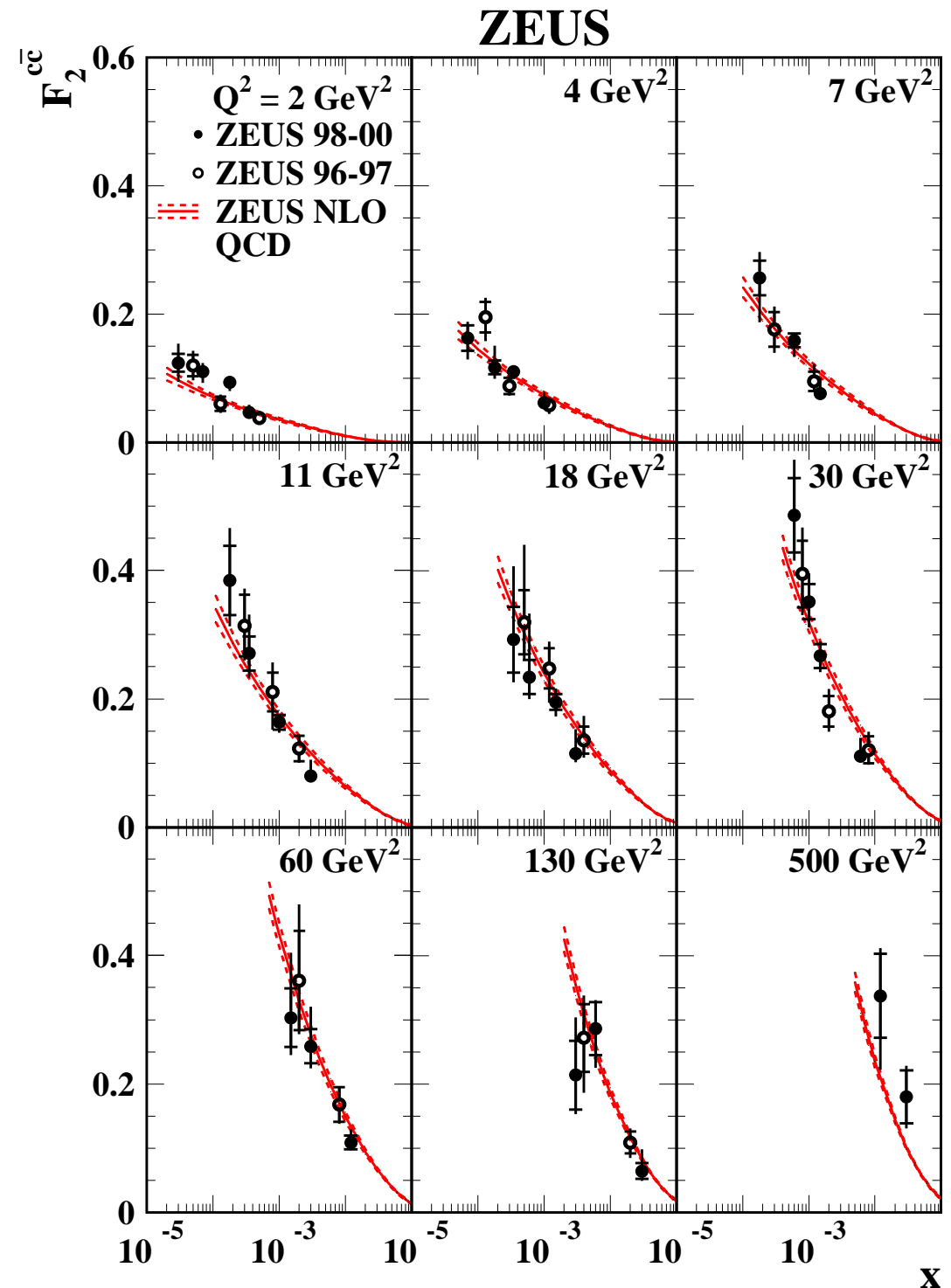


$F_2^{c\bar{c}}$ de la extrapolación
de la $\sigma(D^{*\pm})$ medida

(en función de x_{bj}
para intervalos de Q^2)

aumenta dramáticamente
cuando $x \rightarrow 0$

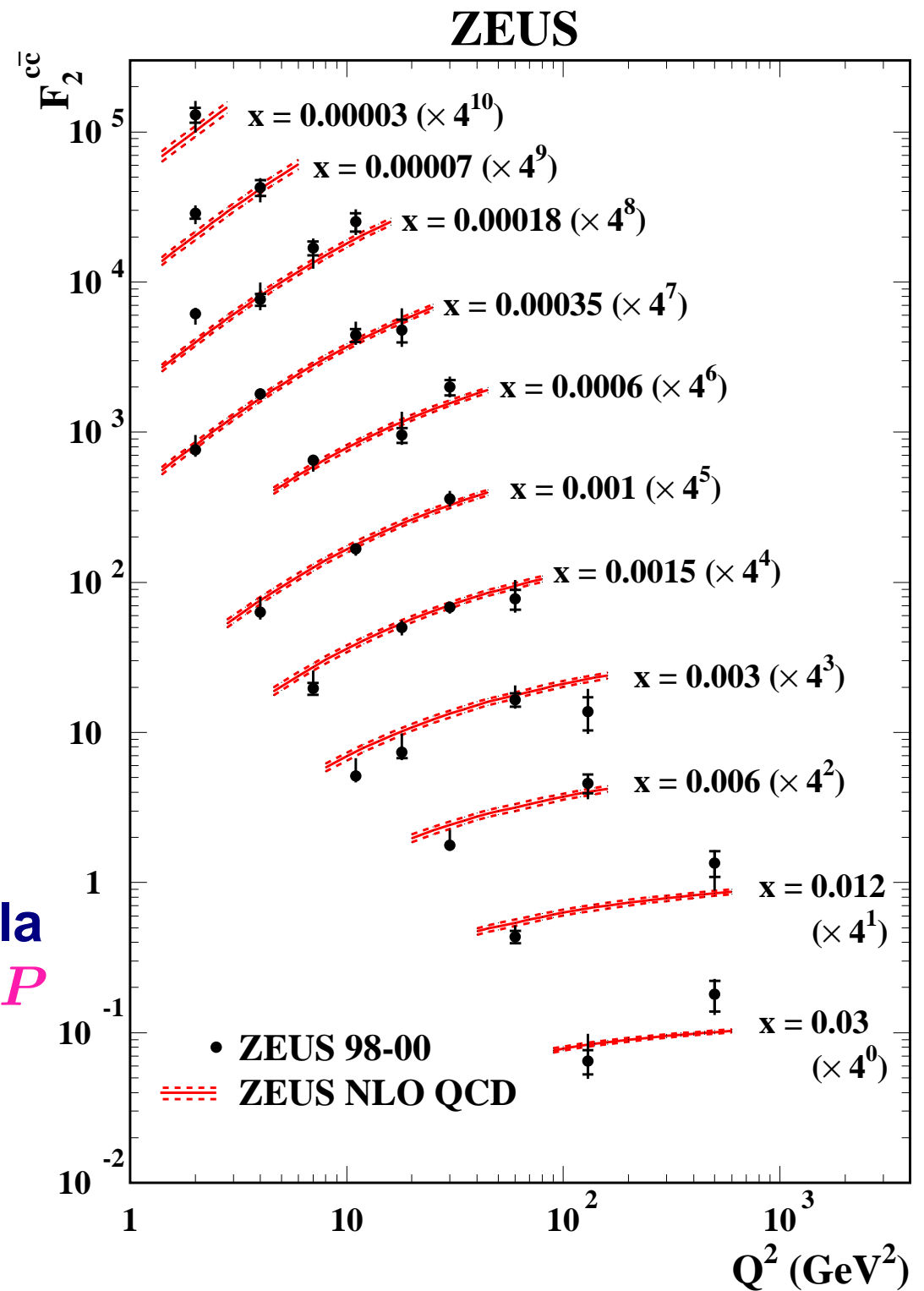
- consistente con F_2
 - consistente con QCD
- ⇒ producción de c
dominada por FGB



$F_2^{c\bar{c}}$ de la extrapolación
de la $\sigma(D^{*\pm})$ medida

(en función de Q^2
para intervalos de x_{bj})

Grandes Violaciones de Escala
de acuerdo con QCD $\Leftrightarrow g$ en P
domina producción $c\bar{c}$



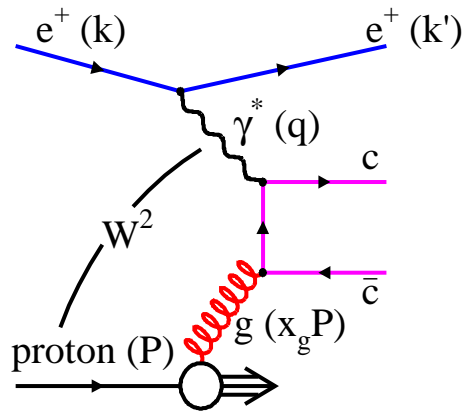
$F_2^{c\bar{c}}$ de la extrapolación
de la $\sigma(D^{*\pm})$ medida

Su contribución a F_2

- si producción $c\bar{c}$ domina-
da por g en P :

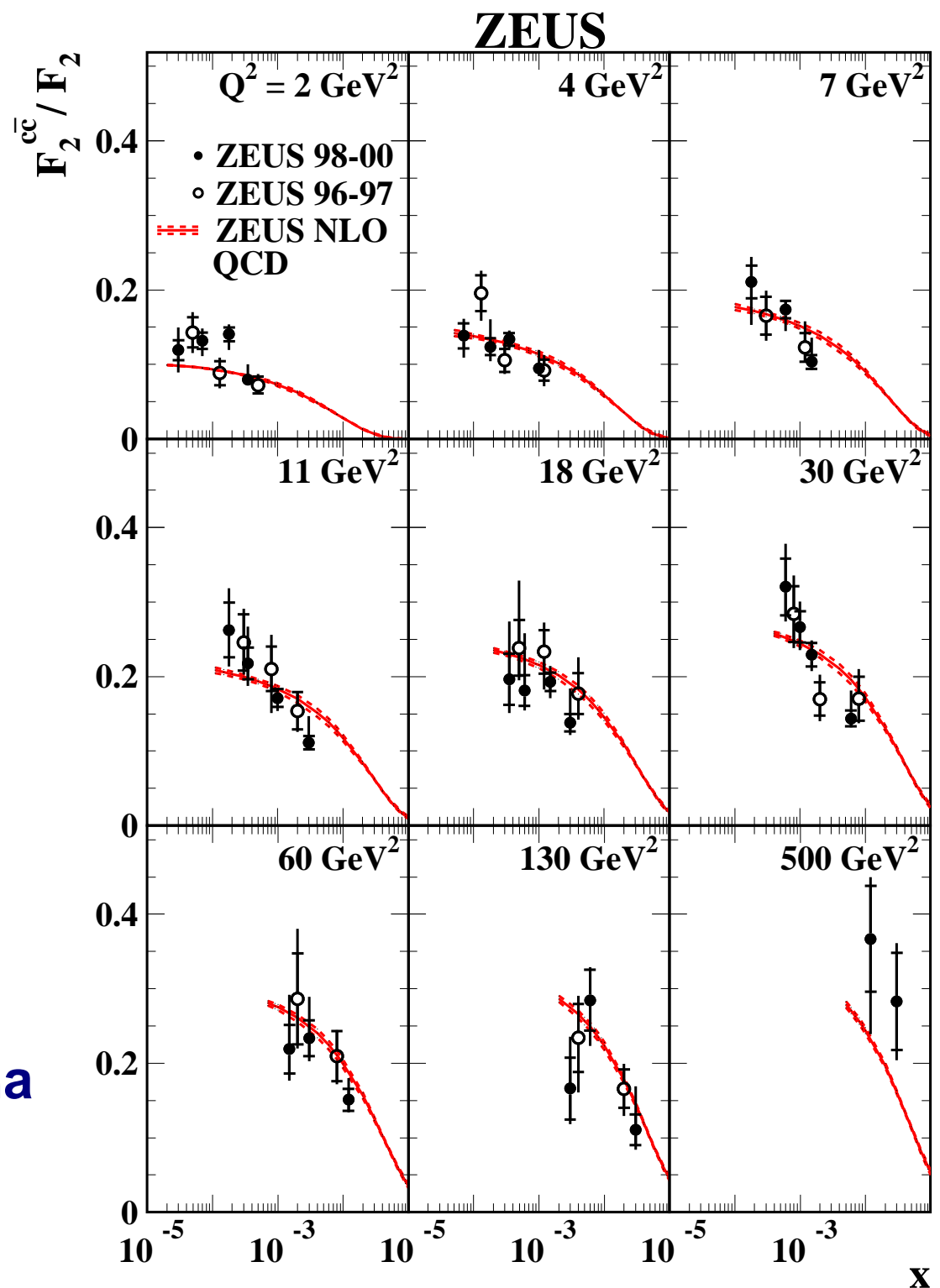
$$\frac{F_2^{c\bar{c}}}{F_2} \sim \frac{q_c^2}{\sum_i q_i^2} = 0.36$$

$Q^2 \gg, x \ll$



\Rightarrow a Q^2 grande y x pequeña
 F_2 prácticamente g

\Rightarrow en acuerdo con QCD-p



Otros Canales

Reconstrucción otros mesones D (datos 98-00)

$$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$$

$$D^0 \rightarrow K^- \pi^+$$

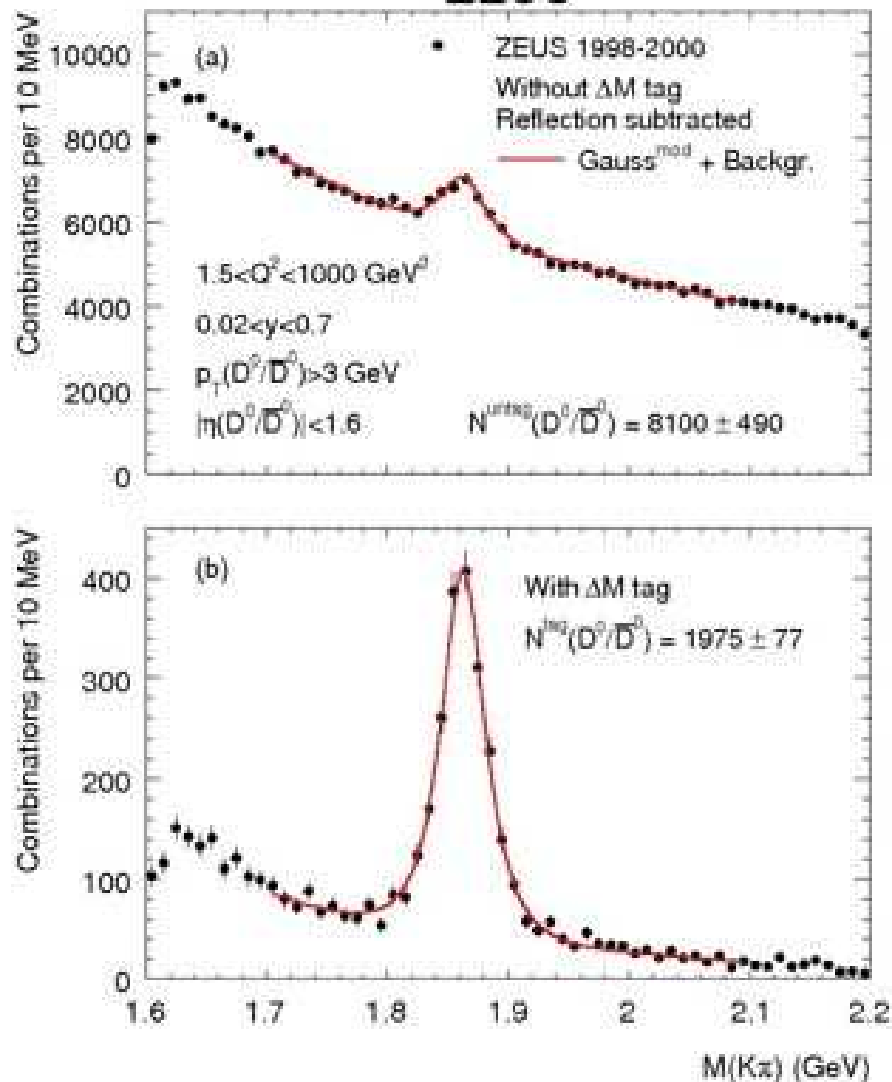
$$D_s^+ \rightarrow \Phi \pi^+ \rightarrow [K^+ K^-] \pi^+$$

- \Rightarrow medida fracciones fragmentación
- \Rightarrow nueva aportación experimental para estudio QCD
 - medidas independientes; aumento estadística
 - otras técnicas; profundización en sistemática

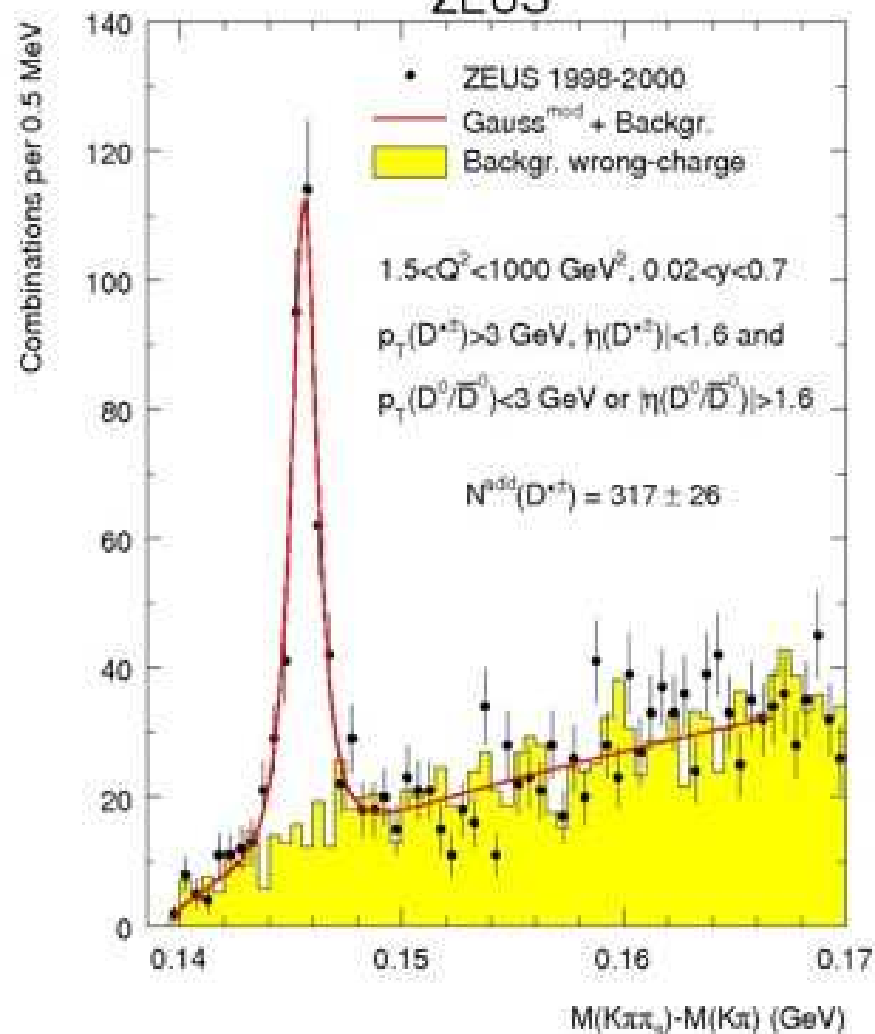
Reconstrucción de $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$



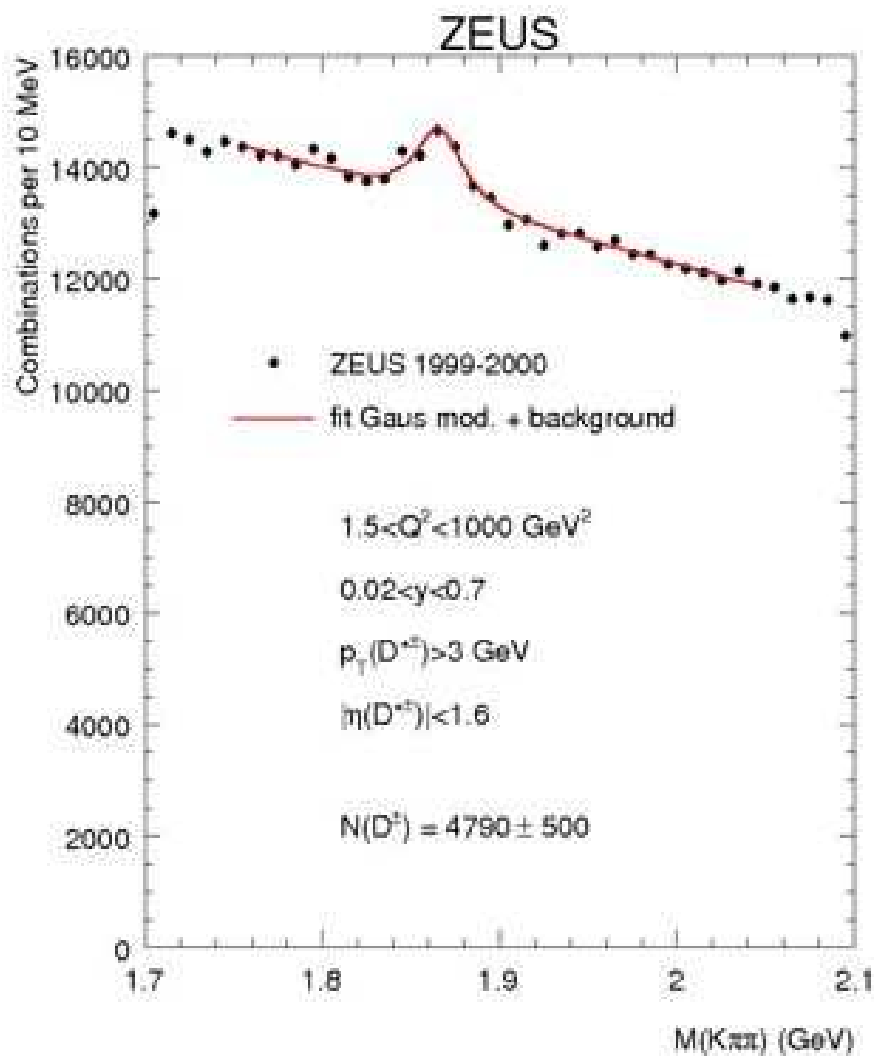
ZEUS



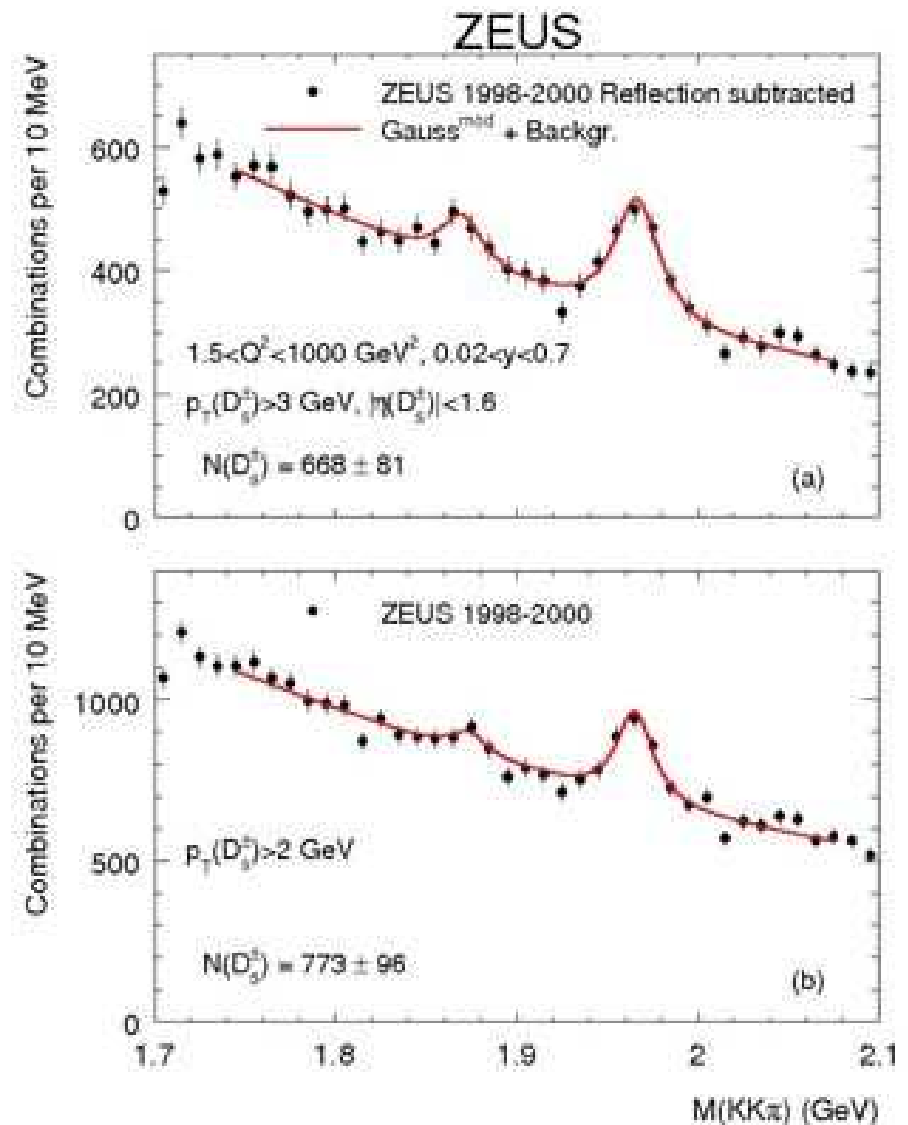
ZEUS



Reconstrucción de $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$



Reconstrucción de $D_S^+ \rightarrow \phi \pi^+ \rightarrow K^- K^+ \pi^+$

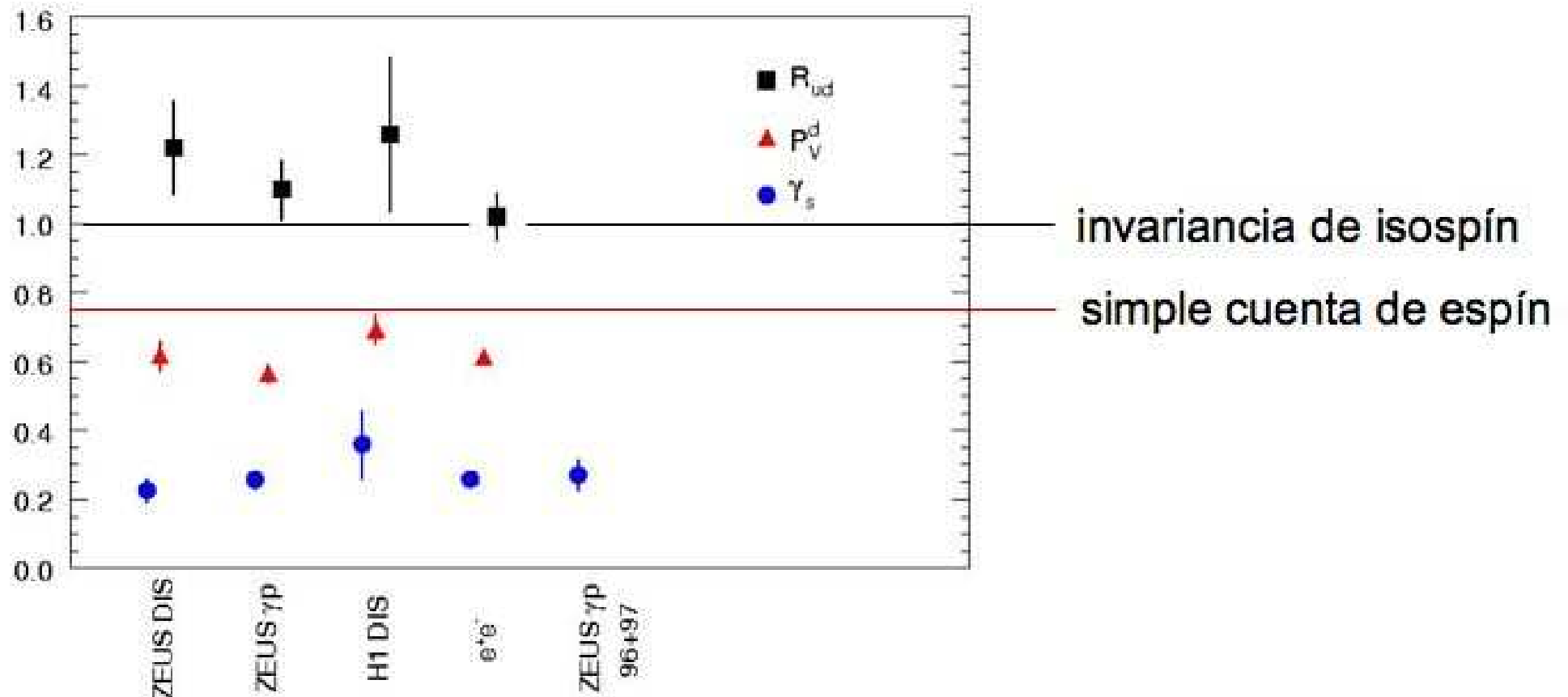


Parámetros de fragmentación del quark c

$$R_{u/d} = [\text{producción de D con carga}] / [\text{producción de D sin carga}]$$

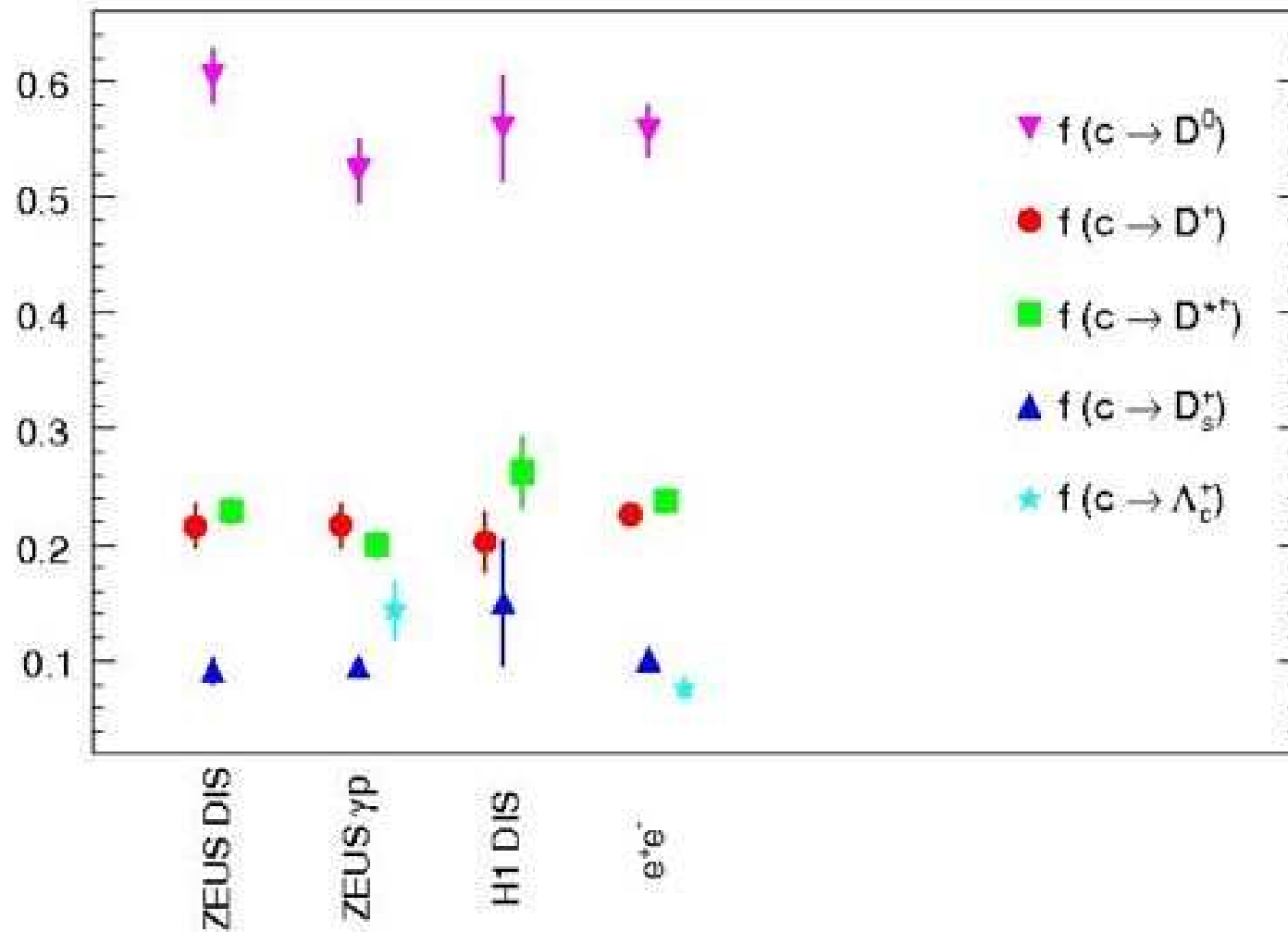
$$P_V^d = [\text{prod. D cargado vector}] / [\text{prod. D cargado vector} + \text{pseudo-escalar}]$$

$$\gamma_s = [2 \times \text{prod. de D con quark s}] / [\text{prod. de D con quark u o d}]$$



Fracciones de fragmentación del quark c

$$f(c \rightarrow D_j) = \sigma(D_j) / \sum_i \sigma(D_i)$$

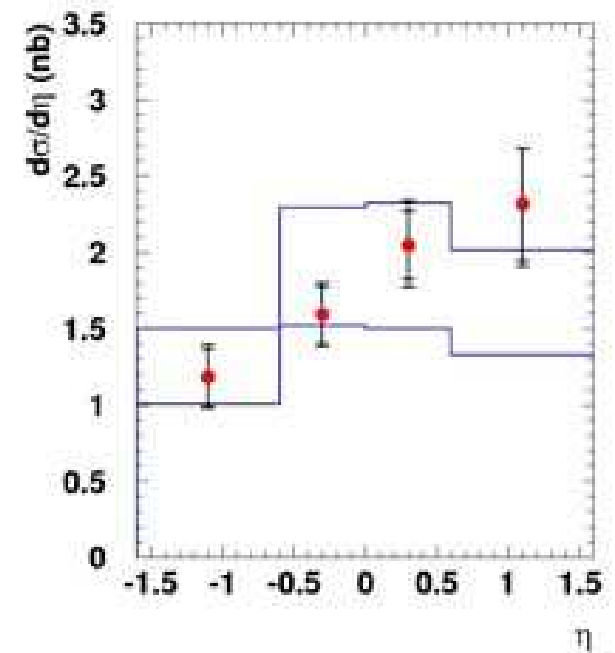
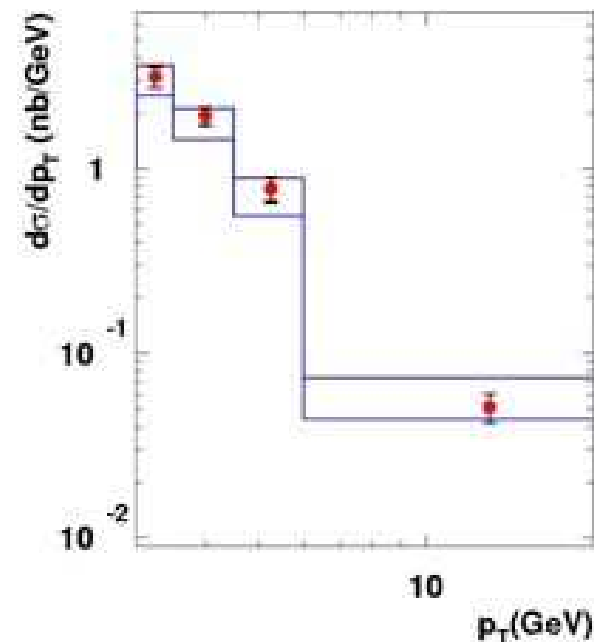
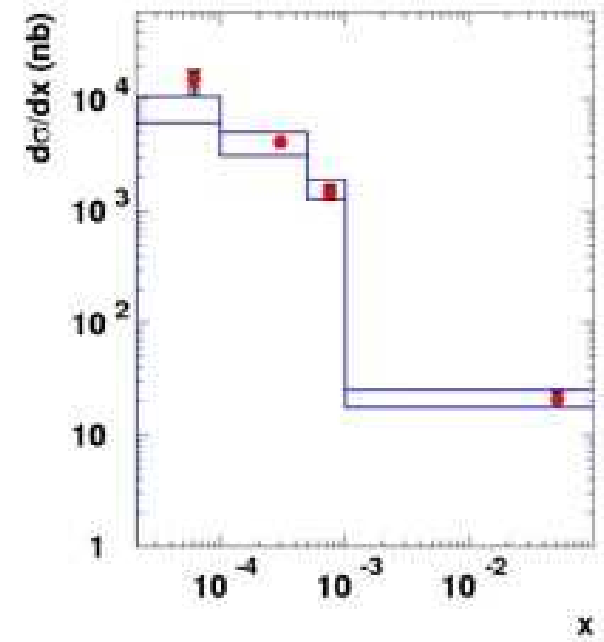
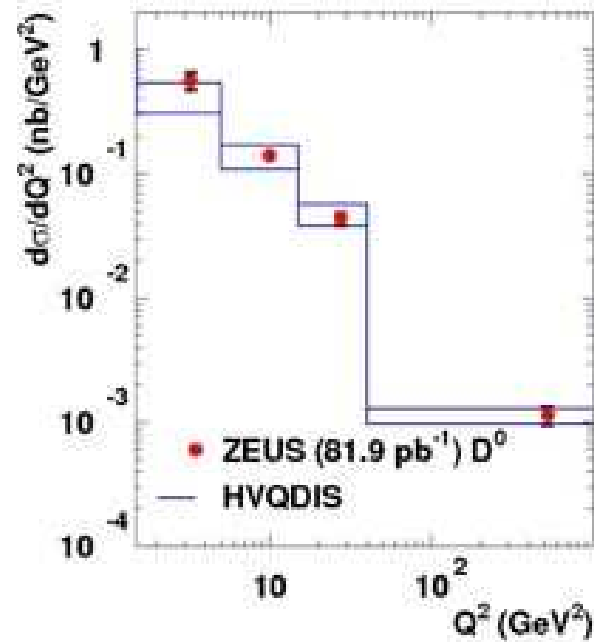


Secciones eficaces diferenciales para la producción de

D^0

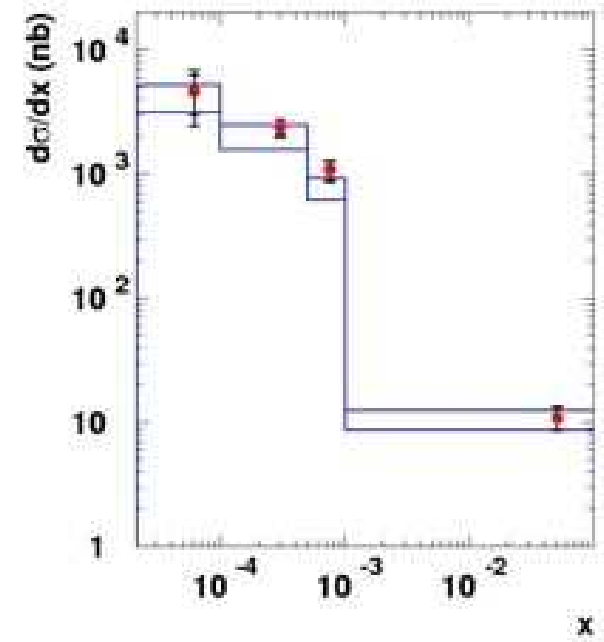
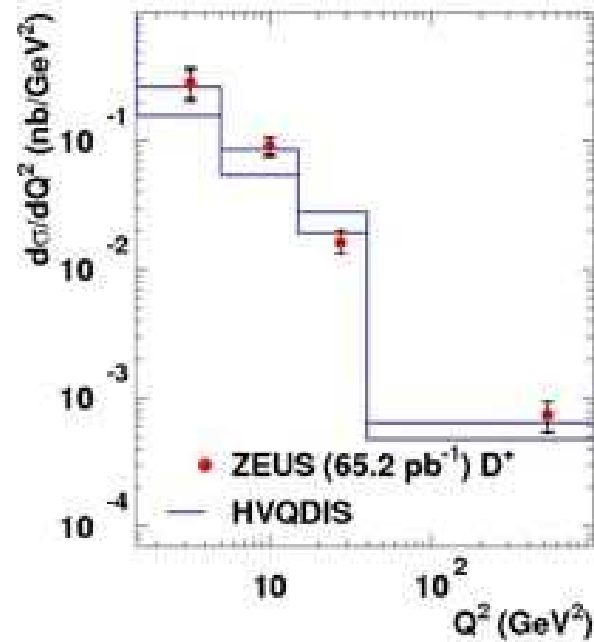
(no proveniente de D^{*+})

Incertidumbres en predicción teórica dominadas por m. fragmentación

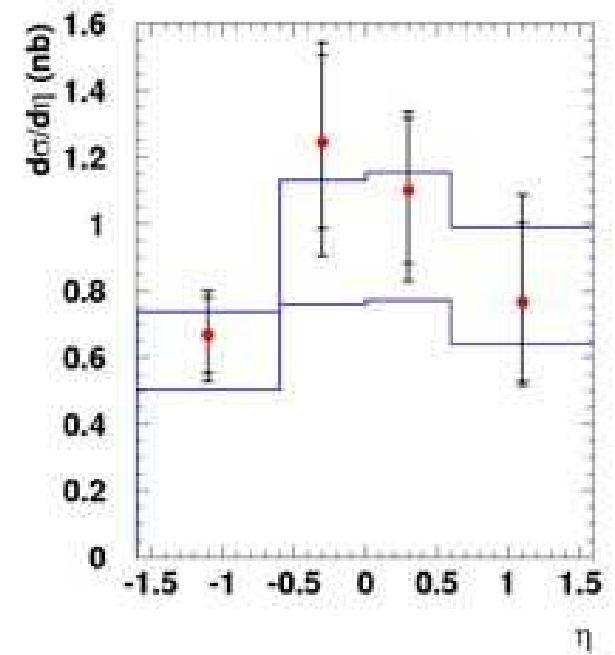
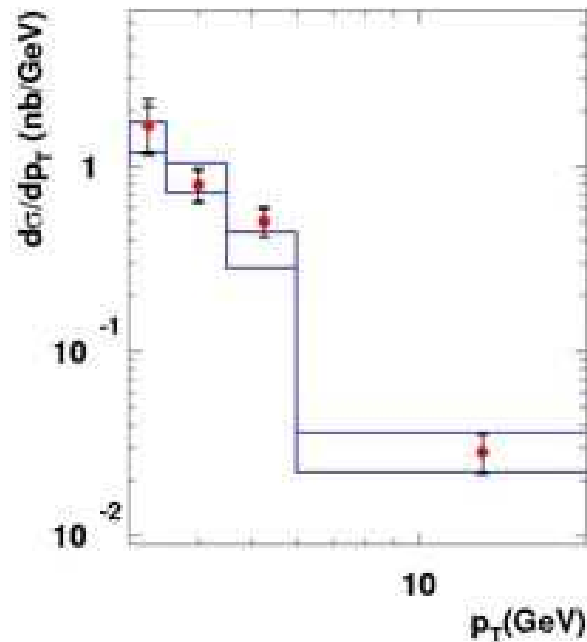


Secciones eficaces diferenciales para la producción de

D^+

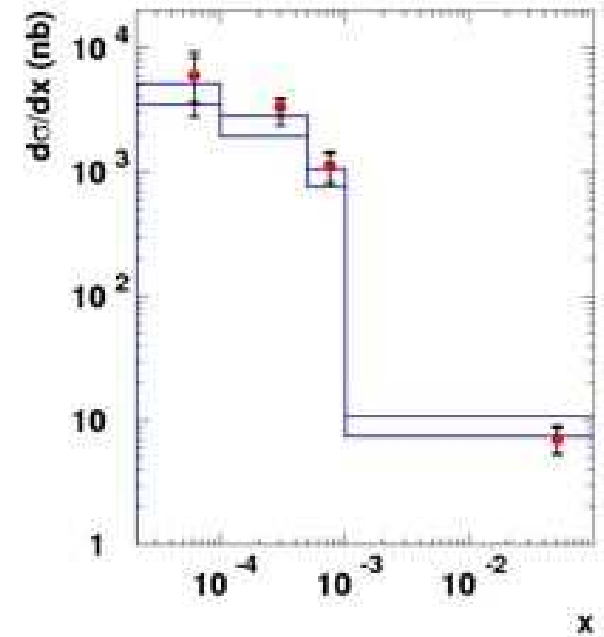
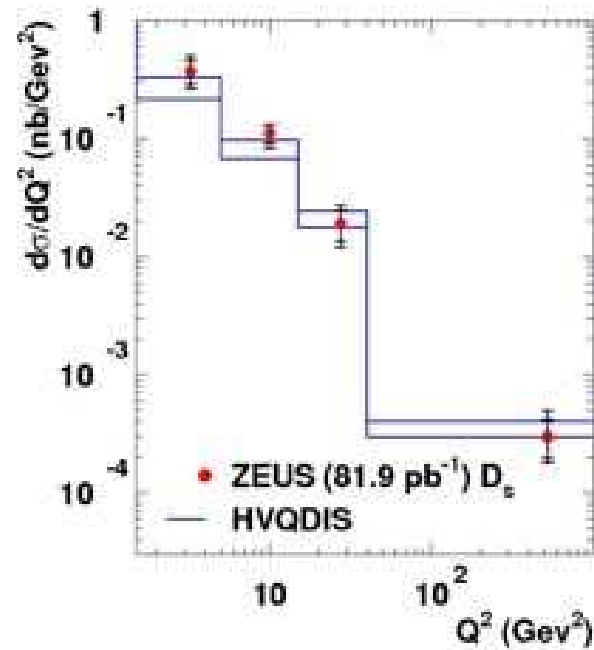


Incertidumbres en predicción teórica principalmente de fragmentación

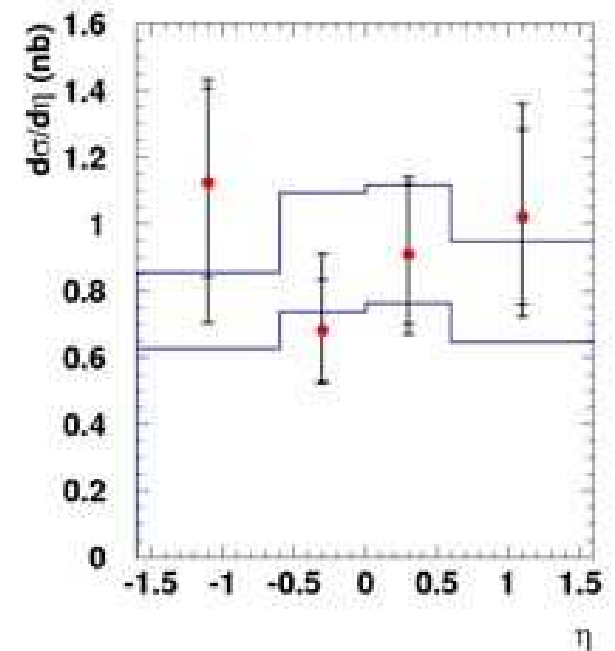
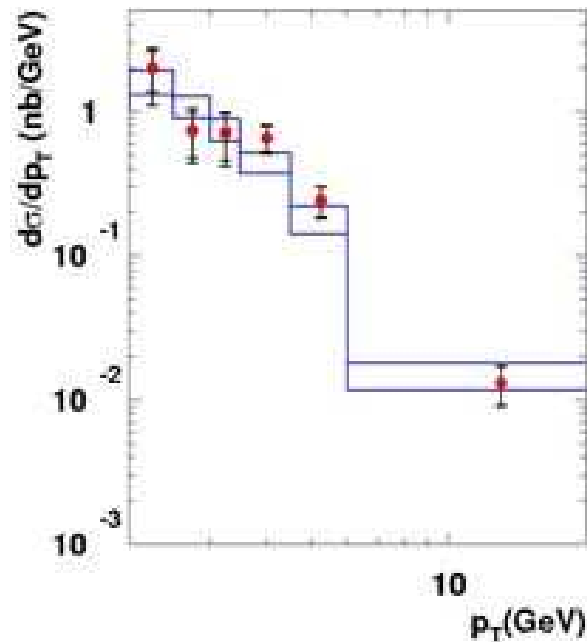


Secciones eficaces diferenciales para la producción de

D_s^+



Incertidumbres en predicción teórica principal. de m_c y fragmentación

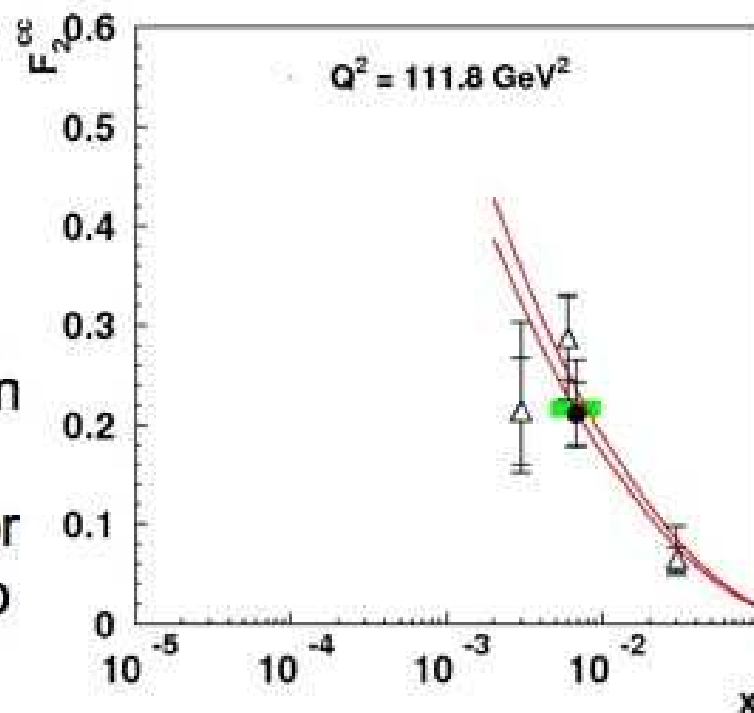
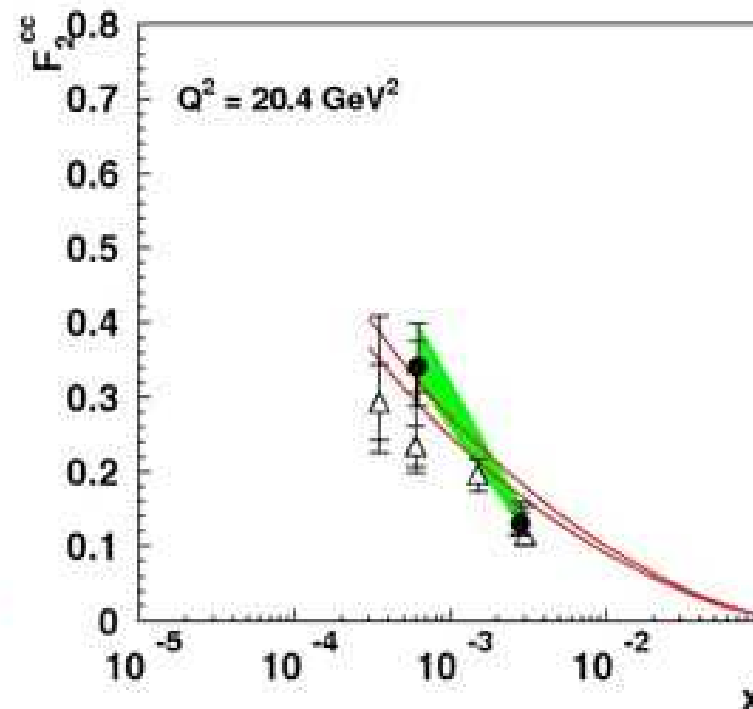
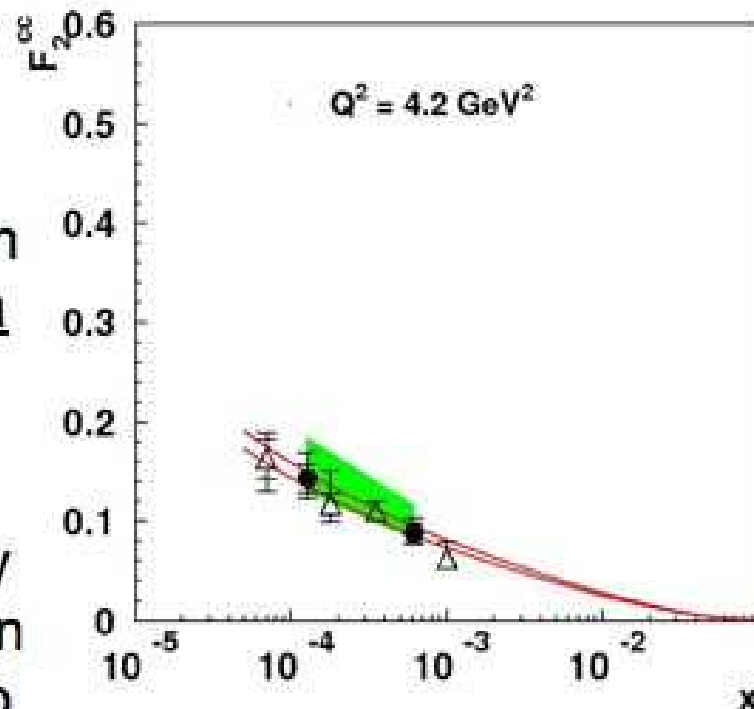


F_2^{cc}

de la extrapolación
de secciones eficaces
medidas

Los datos D^0 , D^+ y
 D_s se combinan en
un único resultado

- Buena aportación estadística
- Incertidumbre por fragmentación no despreciable



- ZEUS (81.9 pb^{-1}) D^0 , D^+ , D_s
- △ ZEUS (81.9 pb^{-1}) D^+
- NLO QCD
- Extrapolation uncertainty

CONCLUSIONES

Resumen y Conclusiones

- El *gluón* dentro del *protón* se puede estudiar vía producción de “*charm*” en IPI *ep* en HERA
 - Predicciones inequívocas de QCD-p
 - “*charm*” medido en ZEUS vía mesones D^{*+} , D^0 , D^+ y D_s^+
 - Datos consistentes con proceso FGB, FFNS
 - Universalidad: el *gluón* estado inicial en la prod. de “*charm*” es consistente con el extraído de un análisis QCD-NLO de F_2
- ⇒ Test no trivial de QCD-p positivo

Futuro próximo

- Medida de $D^{*\pm}$ con +MVD (datos 04-07)
 - diferente tecnología: mayor precisión, distinta sistemática
 - muy substancial mejora de estadística
 - importante aumento de espacio de fase de medida directa⇒ reducción factores extrapolación para $F_2^{c\bar{c}}$
- Recons. vértices *b* (con MVD) y extracción de $F_2^{b\bar{b}}$ (datos 04-07)
⇒ estudio totalmente independiente