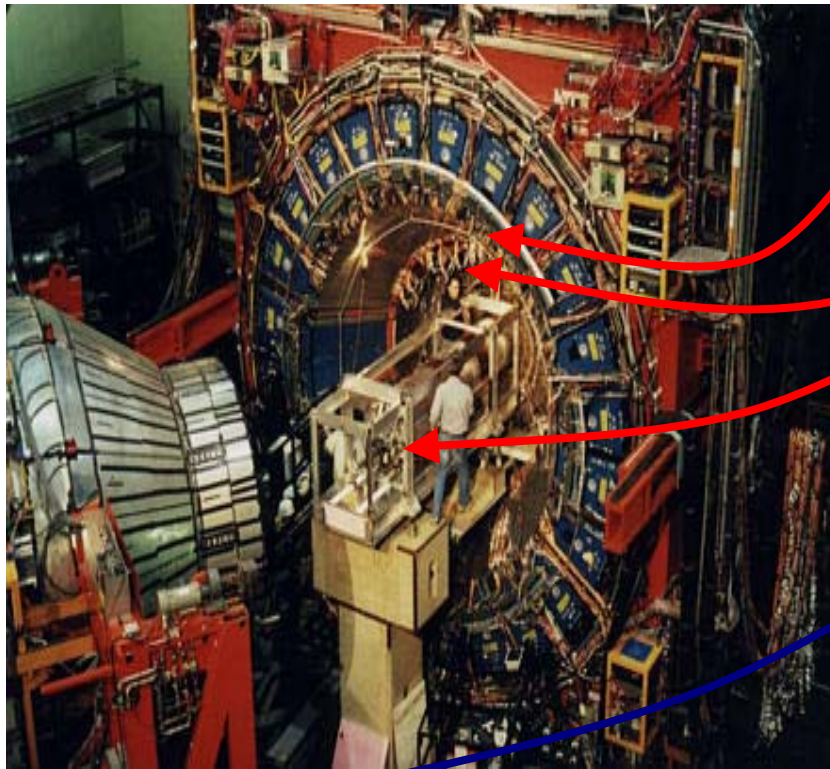


# *Vidas medias y oscilaciones de mesones $B$ en el experimento CDF del Tevatron*

Alberto Ruiz Jimeno  
IFCA

**13 Septiembre 2005**

XXX Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física  
Jornadas de Altas Energías



**TOF, para separación  $K \pi$**   
**Central Tracker (COT)**  
**con  $dE/dx$  para PID**

**Silicon microvertex**

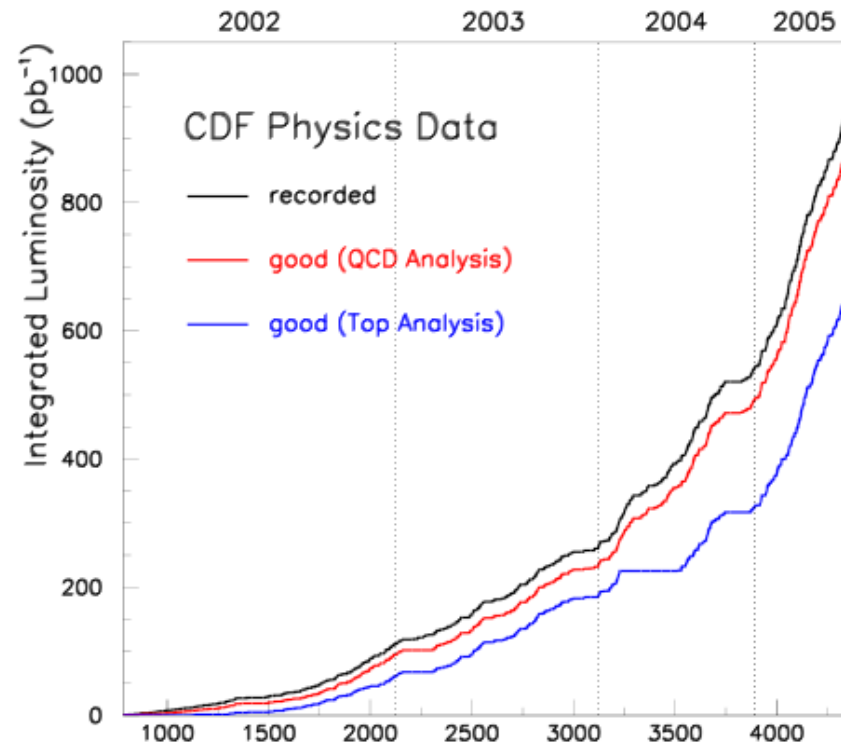
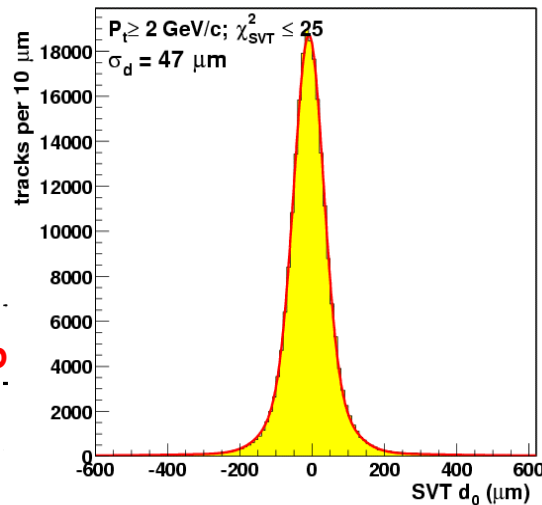
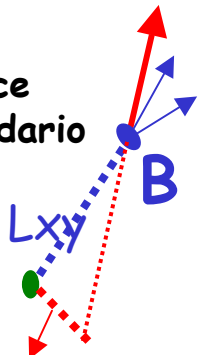
**Trigger de traza  
desplazada**



**Vértice  
secundario**

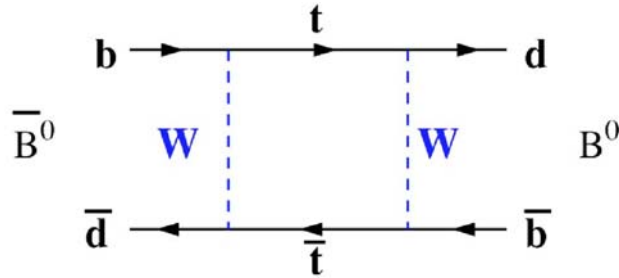
**Vértice  
primario**

**$d = \hat{\text{parámetro de impacto}}$**



# $B_s$ Mixing

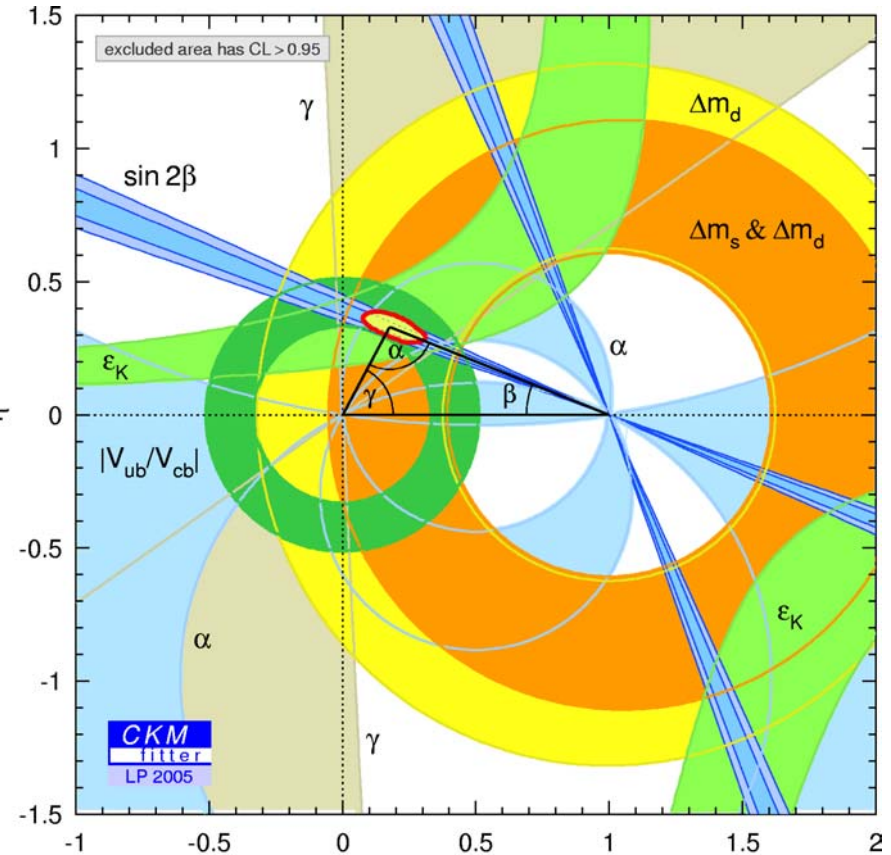
- “Boxes”, en el modelo estándar causan mixing de mesones B neutros



$$\Delta m_q = \frac{G_F^2 m_W^2 \eta S(m_t^2 / m_W^2)}{6\pi^2} m_{Bq} f_{Bq}^2 B_{Bq} |V_{tq}^* V_{tb}|^2$$

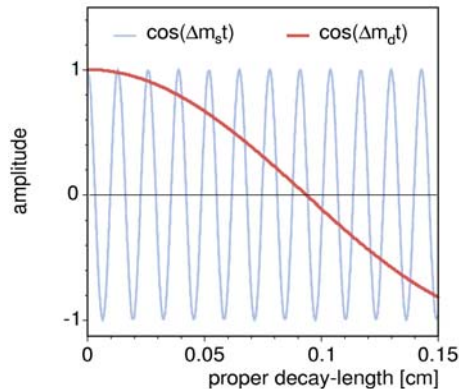
- La relación entre  $\Delta m_{d,s}$  y  $V_{td,s}$  (CKM elementos de matriz) es

$$\frac{\Delta m_s}{\Delta m_d} = \frac{m_{Bs}}{m_{Bd}} \frac{f_{Bs}^2 B_{Bs}}{f_{Bd}^2 B_{Bd}} \frac{|V_{ts}|^2}{|V_{td}|^2} = \frac{m_{Bs}}{m_{Bd}} \xi^2 \frac{|V_{ts}|^2}{|V_{td}|^2}$$



# Análisis para $\Delta m_s$ en $B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi^+$

$\Delta m_s$  difícil, oscilaciones rápidas  $\longrightarrow$  Ajuste directo  $\Delta m_s$  aún no logrado



$$\Delta m_d = 0.5 \text{ ps}^{-1}$$

$$\Delta m_s \equiv 14.4 \text{ ps}^{-1}$$

Mejorar el límite mundial

Dilución suceso a suceso  $\longleftarrow$  “amplitude scan”

Normalización de la dilución en “Opposite Side Flavor Taggers” en muestras similares al  $B_s^0$   
Factores de escala de la dilución  $S_D$

Muestra de calibración de la dilución  $\neq B_s^0$  muestra de análisis

Calibrado de la dilución de “Opposite Side Taggers”

$$B_d^0 \rightarrow J / \psi K^{*0}$$

$$B^+ \rightarrow J / \psi K^+$$

$$B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi^+$$

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

$$B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+$$

$c\tau$  en muestra  $ct$ -sesgada

Di-Muon Trigger

Two-Track Trigger

Lepton-Track Trigger

# Ingredientes

Opposite Side

Trigger Side

## 3. $b$ -Flavor Tagging

Parametrizar la dilución en la muestra  
lepton+track

Absoluta calibración in totalmente reconstruïdos

$B_{u,d}$

opposite  
side kaon

$K^-$

D meson

B hadron

P.V.

fragmentation  
kaon

$K^+$

$B_s^0$

$D_s^-$

$\pi^+$

$K^+$

$K^-$

$\pi^-$

$L_{xy}$

$$ct = L_{xy} \frac{m_B}{p_T}$$

## 2. Longitud de desintegración propia

$S_{ct}$  determinada en  $J/\psi K$

SVT+cortes modifican la distribución de  
 $ct$  distribution en  $D\pi$

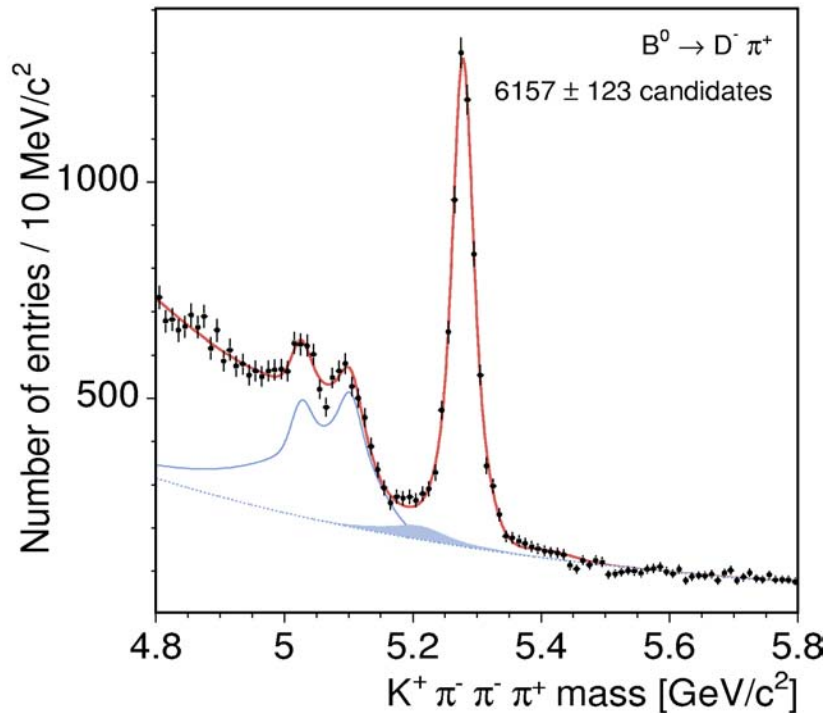
## 1. Reconstrucción del estado final

$B$  señales de two-track y di-muon triggers

## 4. “Amplitude Scan” para $B_s$ Mixing

# Distribuciones de masa para $\mathcal{L} \approx 355 \text{ pb}^{-1}$

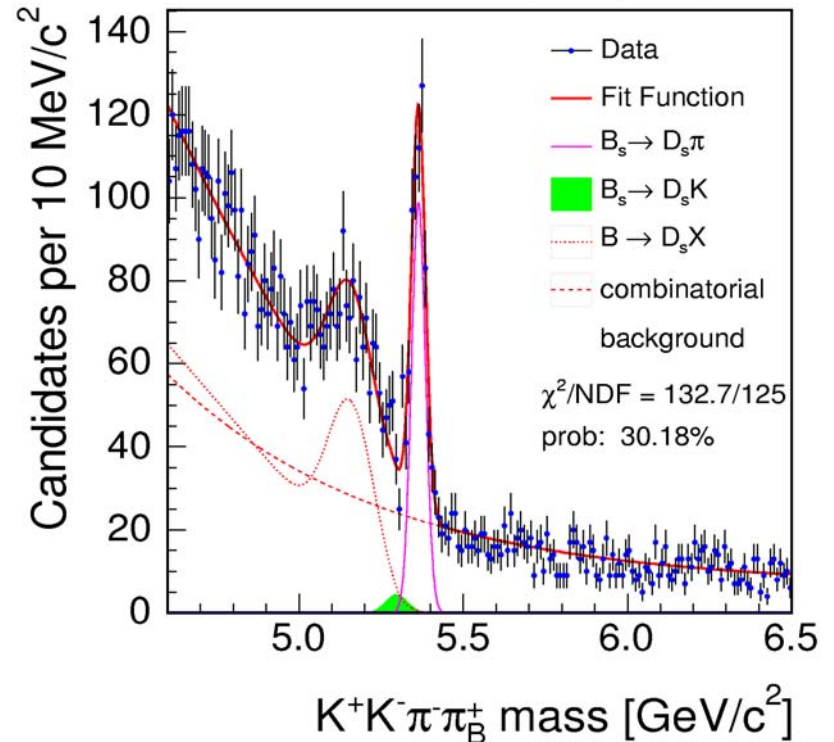
CDF Run II Preliminary  $\mathcal{L} \approx 355 \text{ pb}^{-1}$



|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$      | 5300 |
| $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+$ | 5600 |
| $B_d^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$ | 2200 |
| $B_d^0 \rightarrow D^- \pi^+$     | 6200 |

Muestra calibración

CDFII Preliminary,  $355 \text{ pb}^{-1}$ ,  $B_s \rightarrow D_s \pi$ ,  $D_s \rightarrow \phi \pi$



$$B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi_B^+$$

|                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| $D_s^- \rightarrow \phi \pi^-$        | $526 \pm 33$ |
| $D_s^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^-$ | $115 \pm 18$ |
| $D_s^- \rightarrow K^{*0} K^-$        | $254 \pm 21$ |

$B_s$  muestra



# Likelihood

- Usa ajuste del “unbinned maximum likelihood”

$$\mathcal{L} = \prod_i P_i(\vec{x}^i), \quad \vec{x}^i = (m^i, ct^i, \sigma_{ct}^i)$$

- $P_i$  es la Función de Densidad de Probabilidad del suceso  $i$

$$P(\vec{x}) = L^S + L^B = f_S L_M^S(m) L_{ct}^S(ct, \sigma_{ct}) + f_B L_M^B(m) L_{ct}^B(ct, \sigma_{ct})$$

- $S$  = señal verdadera y desintegraciones mal reconstruídas
- $B$  = ruido combinatorial
- $L_{ct}^S$  para  $B \rightarrow J/\psi K$  y  $B \rightarrow D\pi$

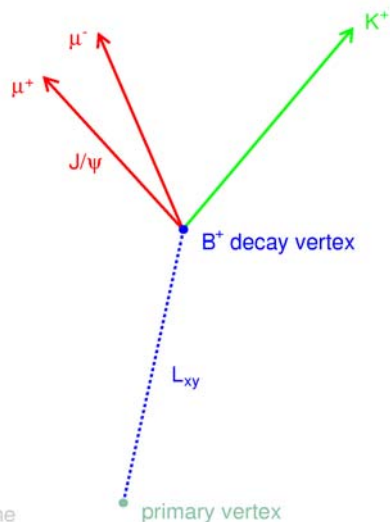
$$L_{ct}^S(ct, \sigma_{ct}) = \frac{1}{N(\sigma_{ct})} \left[ \frac{1}{c\tau} e^{-\frac{ct'}{c\tau}} \theta(ct') \otimes G(ct - ct', S_{ct} \sigma_{ct}) \right] \xi(ct)$$

*Curva de eficiencia*

- $S_{ct}$  factor de escala por la subestimación de la resolución de  $ct$

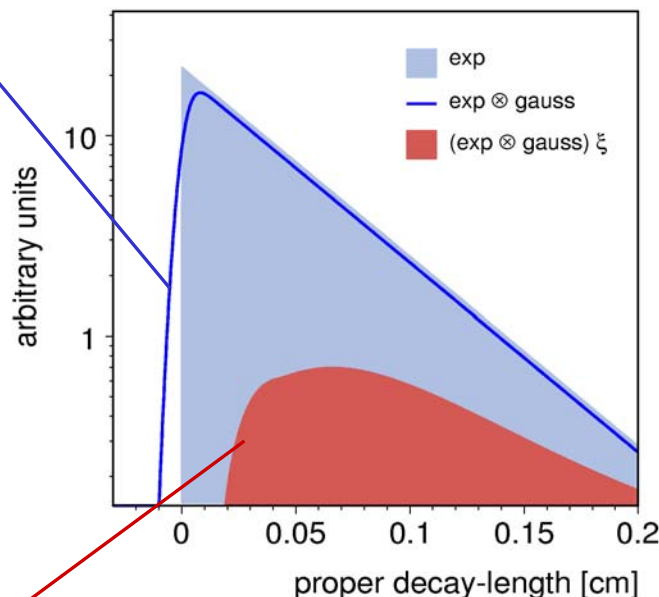
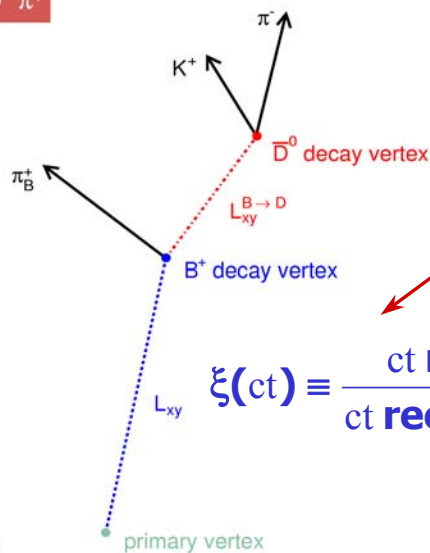
# Curva de eficiencia de ct

$B^+ \rightarrow J/\psi K^+$

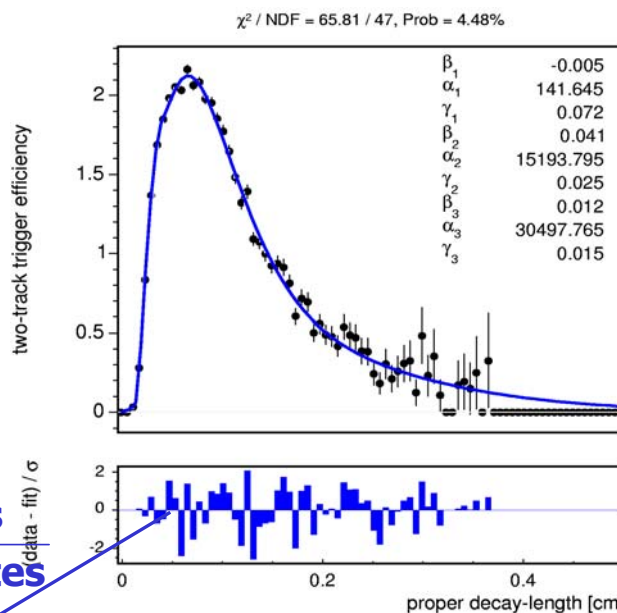


- SVT trigger y los cortes de selección sesgan la distribución de ct de las desintegraciones  $B \rightarrow D\pi$

$B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+$



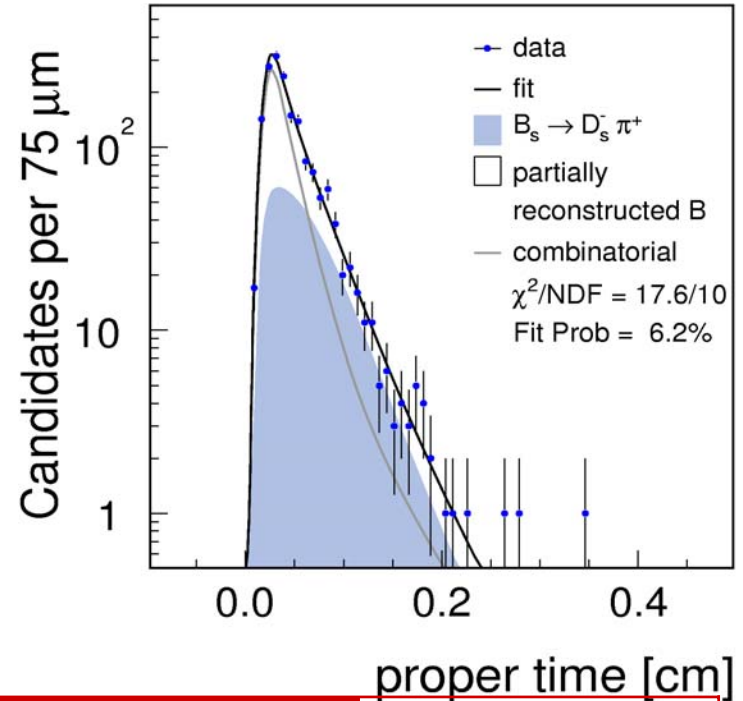
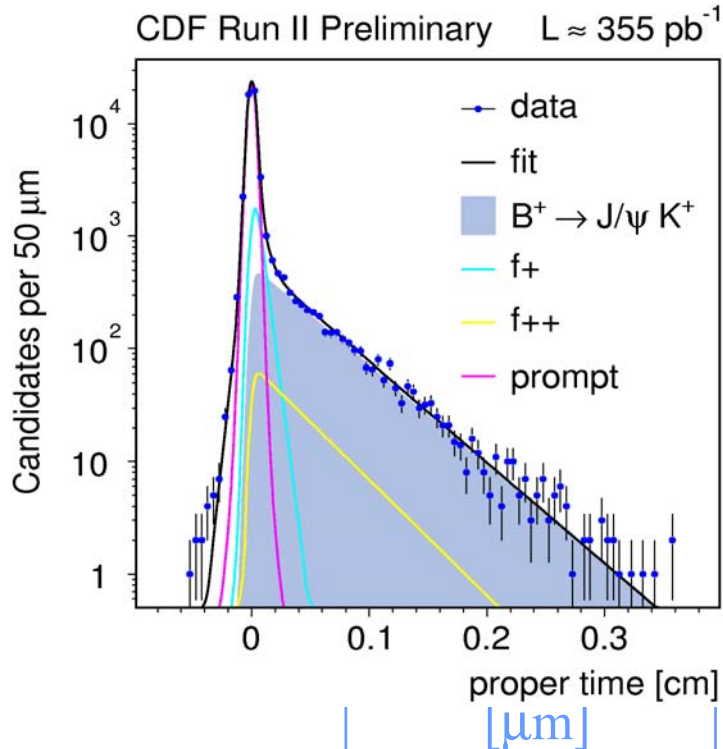
Corregido con la función  $\xi(ct)$  determinada en MC



$$\xi(ct) \equiv \frac{\text{ct reconstruido TRAS trigger + cortes}}{\text{ct reconstruido ANTES de trigger + cortes}}$$



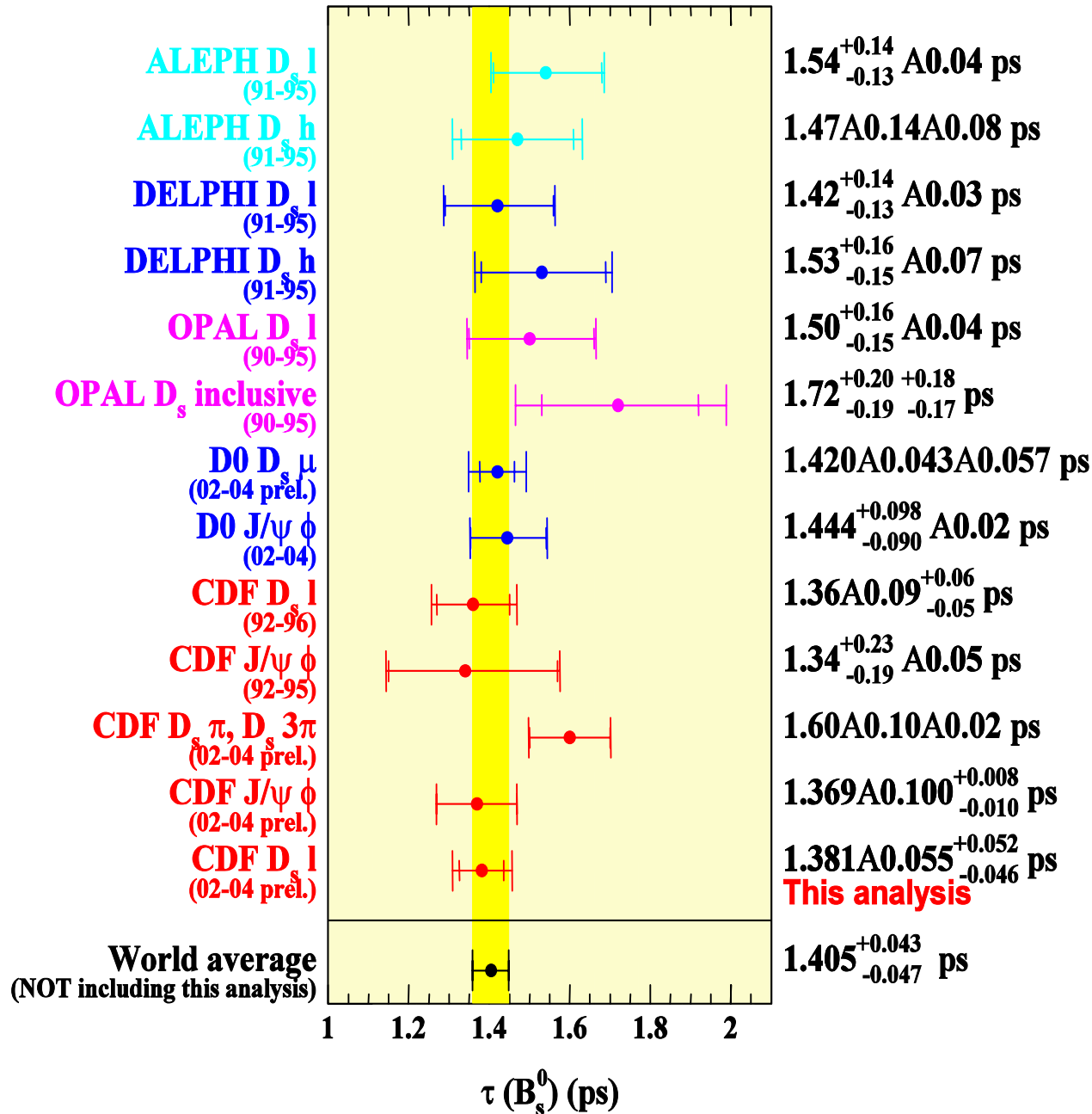
# Resultados vidas medias



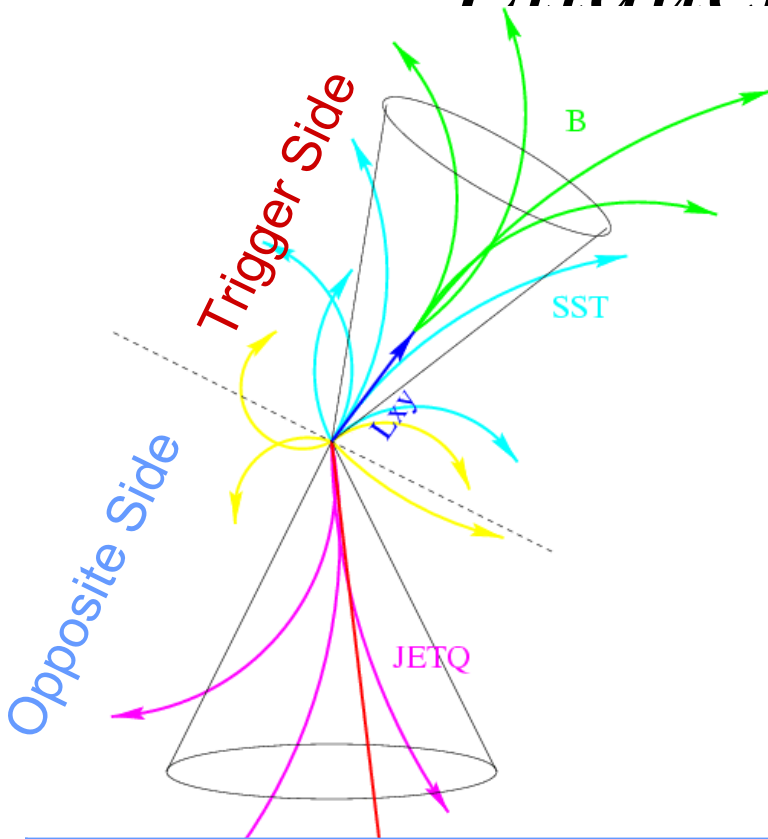
|                                   | proper time [cm]<br>[ $\mu\text{m}$ ] |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$      | $489 \pm 8$                           |
| $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+$ | $494 \pm 11$                          |
| $B_d^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$ | $459 \pm 11$                          |
| $B_d^0 \rightarrow D^- \pi^+$     | $457 \pm 10$                          |

| $B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi_B^+$     | [ $\mu\text{m}$ ] |
|---------------------------------------|-------------------|
| $D_s^- \rightarrow \phi \pi^-$        | $456 \pm 27$      |
| $D_s^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^-$ | $465 \pm 39$      |
| $D_s^- \rightarrow K^{*0} K^-$        | $413 \pm 56$      |

# Resultados vidas medias



# Etiquetado sabor- $b$



- Determina el sabor del  $b$  a tiempo de produccion

- $b$  quark producidos en pares

$\Rightarrow$  etiquetado en **Trigger Side** u **Opposite Side**

*SecVtx jet* Vértice secundario

*J<sub>p</sub> jet* Traza desplazada

*high- $P_T$  jet* mayor  $P_T$

**Soft Muon Tagger**

$$\bar{b} \rightarrow c\mu^+\nu_\mu X$$

**Soft Electron Tagger**

$$\bar{b} \rightarrow ce^+\nu_e X$$

| tagger      |                                  | $\epsilon\mathcal{D}^2$ (%) |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Soft Lepton | Muon                             | 0.70                        |
|             | Electron                         | 0.37                        |
| Jet Charge  | <i>SecVtx jet</i>                | 0.36                        |
|             | <i>J<sub>p</sub> jet</i>         | 0.21                        |
|             | <i>high-<math>P_T</math> jet</i> | 0.15                        |

$$\sigma_{A_{\text{measured}}} \propto \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mathcal{D}^2 N}}$$

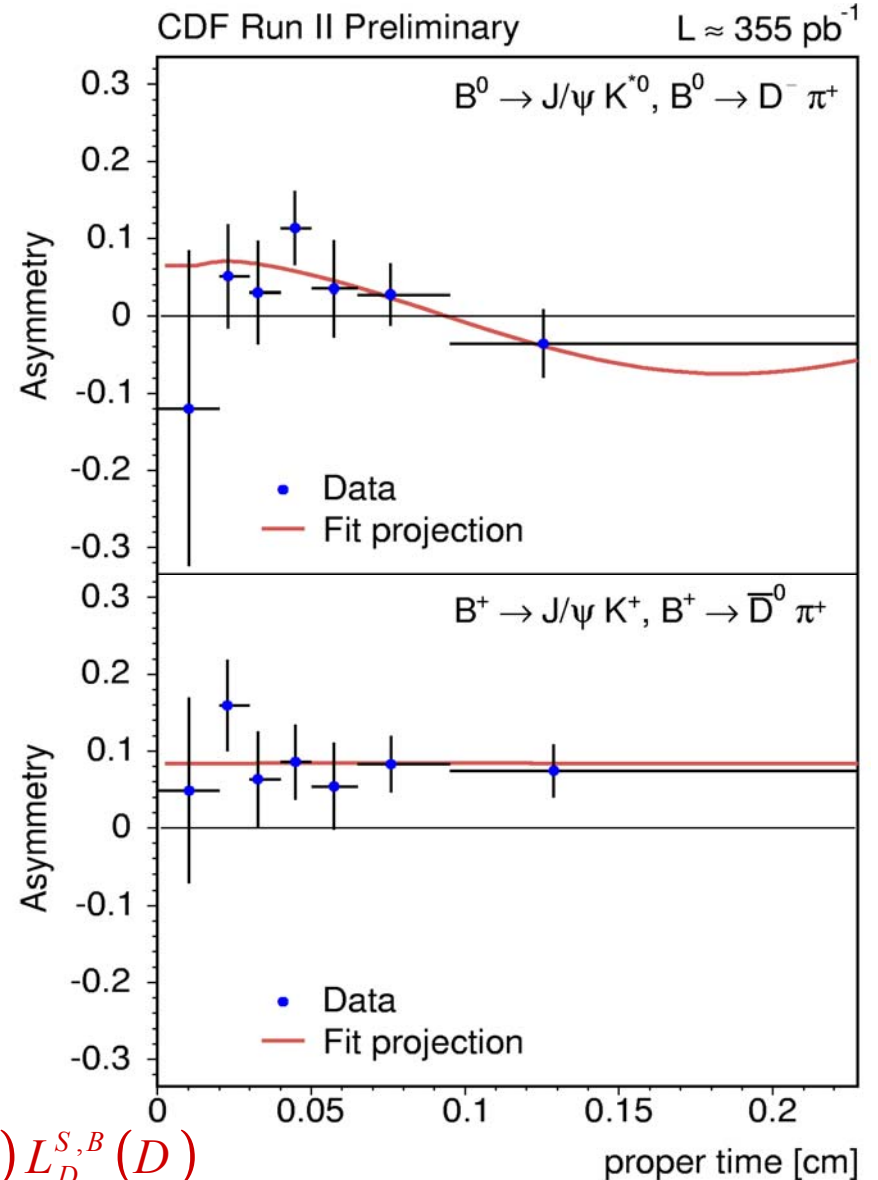
# Resultados factores de escala

| tagger                | $S_D$                    |
|-----------------------|--------------------------|
| SMT                   | $0.83 \pm 0.10 \pm 0.03$ |
| SET                   | $0.79 \pm 0.14 \pm 0.04$ |
| JVX                   | $0.78 \pm 0.19 \pm 0.05$ |
| JJP                   | $0.76 \pm 0.21 \pm 0.03$ |
| JPT                   | $1.35 \pm 0.26 \pm 0.02$ |
| $\langle S_D \rangle$ | $0.85 \pm 0.07 \pm 0.01$ |

|     | $\Delta m_d [\text{ps}^{-1}]$ |
|-----|-------------------------------|
| CDF | $0.503 \pm 0.063 \pm 0.015$   |
| PDG | $0.510 \pm 0.005$             |

$$L_{ct}^{S,B}(ct, \sigma_{ct}) \longrightarrow L_{ct}^{S,B}(ct, \sigma_{ct}, \text{tag}, D) L_D^{S,B}(D)$$

$$L_{ct}^S(ct, \sigma_{ct}, D, \text{tag} = \pm 1) \propto \varepsilon \frac{1 \pm S_D D \cos(\Delta m_d t')}{2} e^{-\frac{ct'}{\tau}} \theta(ct') \otimes G(ct - ct') \xi(ct)$$



# “Amplitude Scan” en $\Delta m_d$

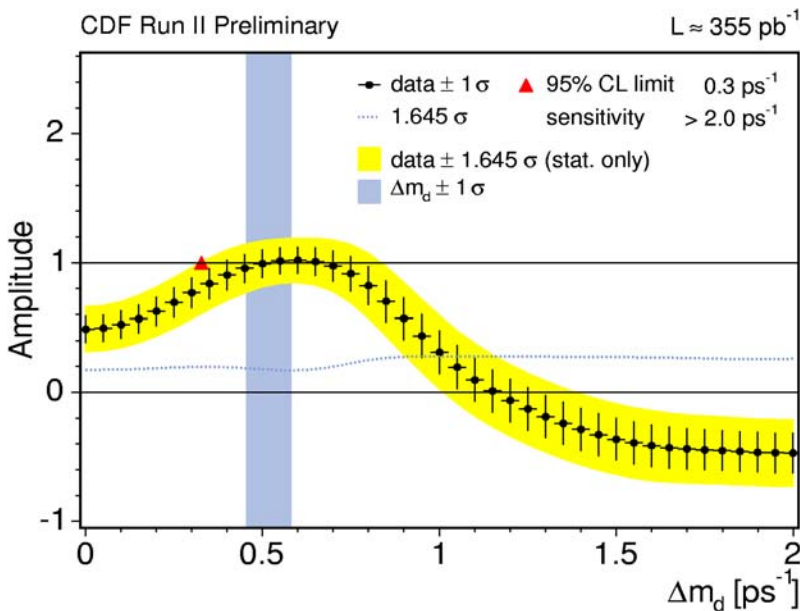
■ Nueva likelihood

$$L_{ct}^S \propto 1 \pm A S_D D \cos(\Delta m t')$$

■ Ajuste de  $A$  for varios valores de  $\Delta m$ , obteniendo  $A(\Delta m)$  y  $\sigma_A(\Delta m)$

■ Si los etiquetadores están calibrados,  $A = 1$  para la frecuencia de oscilación verdadera

■ Excluido al 95% CL  $A(\Delta m) + 1.645 \sigma_A(\Delta m) < 1$



■ Test conjunto de  $B_d \rightarrow D^- \pi^+$  and  $B_d \rightarrow J/\psi K^{*0}$

►  $A = 1$  a aprox.  $\Delta m_d = 0.5$  ps $^{-1}$

►  $A \sim 0$  fuera de  $\Delta m_d = 0.5$  ps $^{-1}$

■ Comparar con ajuste de  $\Delta m_d$  (banda azul)

# Amplitude Scan en $\Delta m_s$

■ sensibilidad medida,  $1.645\sigma_A(\Delta m_s = 0.4 \text{ ps}^{-1}) = 1$

■ 95% CL limite,  $0.0 \text{ ps}^{-1}$

■ Semileptonico + hadronico

► Sensitividad

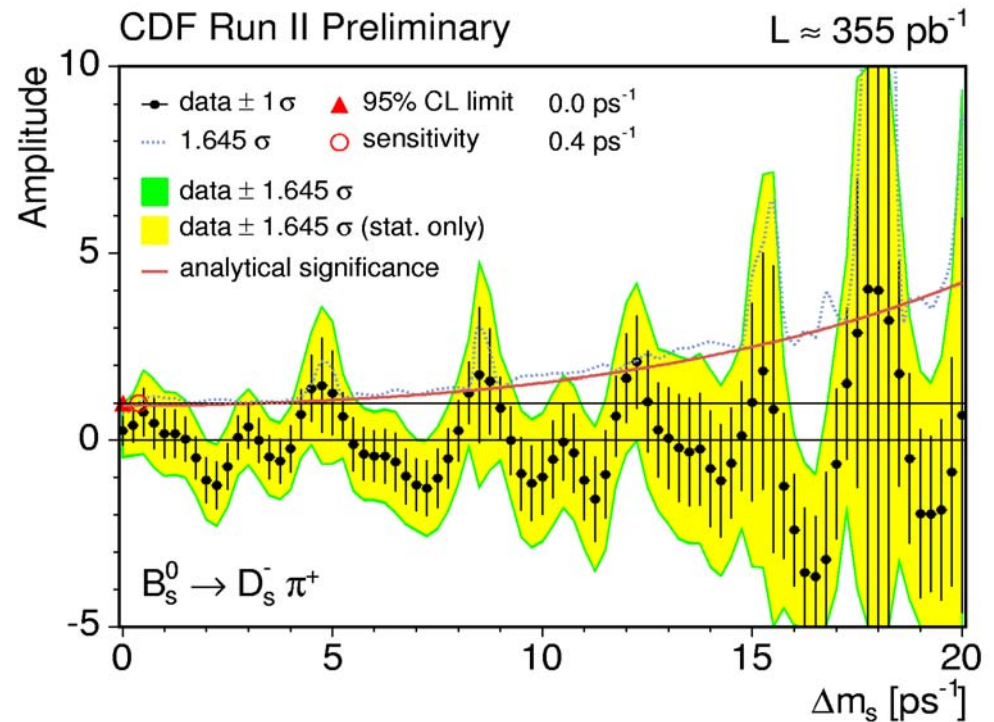
$7.4 \rightarrow 8.4 \text{ ps}^{-1}$   $5.1 \text{ ps}^{-1}$  in Run I

► 95% CL limite

$7.7 \rightarrow 7.9 \text{ ps}^{-1}$   $6.0 \text{ ps}^{-1}$  in Run I

■ Significancia analitica

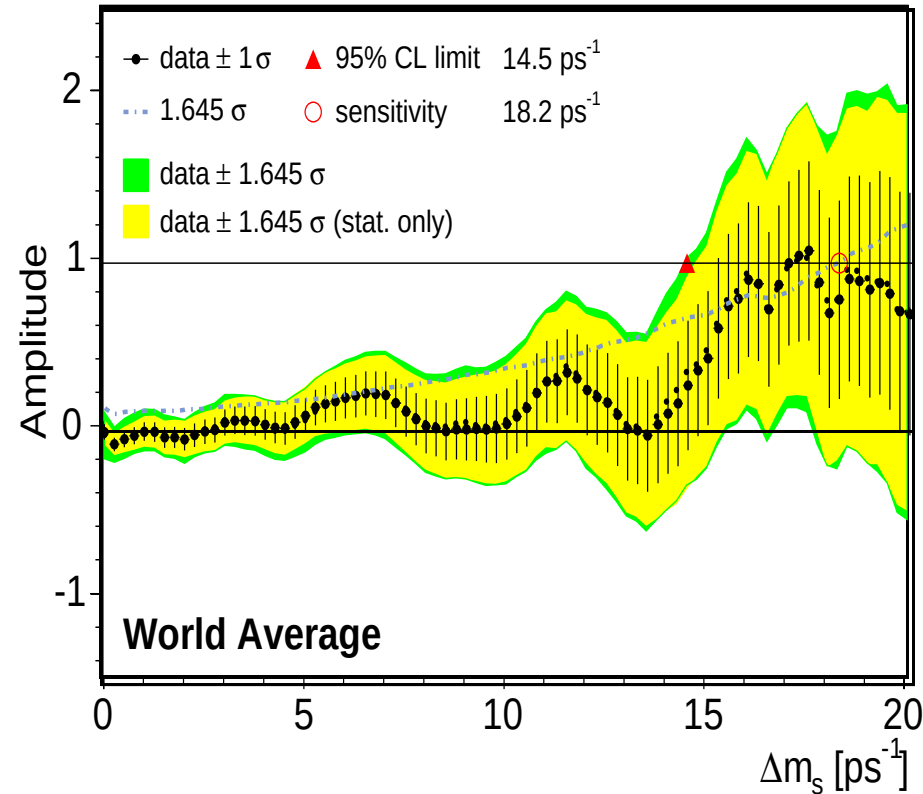
$$\frac{1}{\sigma_A} = \frac{S}{\sqrt{S+B}} \sqrt{\frac{\epsilon D^2}{2}} e^{-\frac{1}{2} \sigma_{ct}^2 \Delta m_s^2}$$



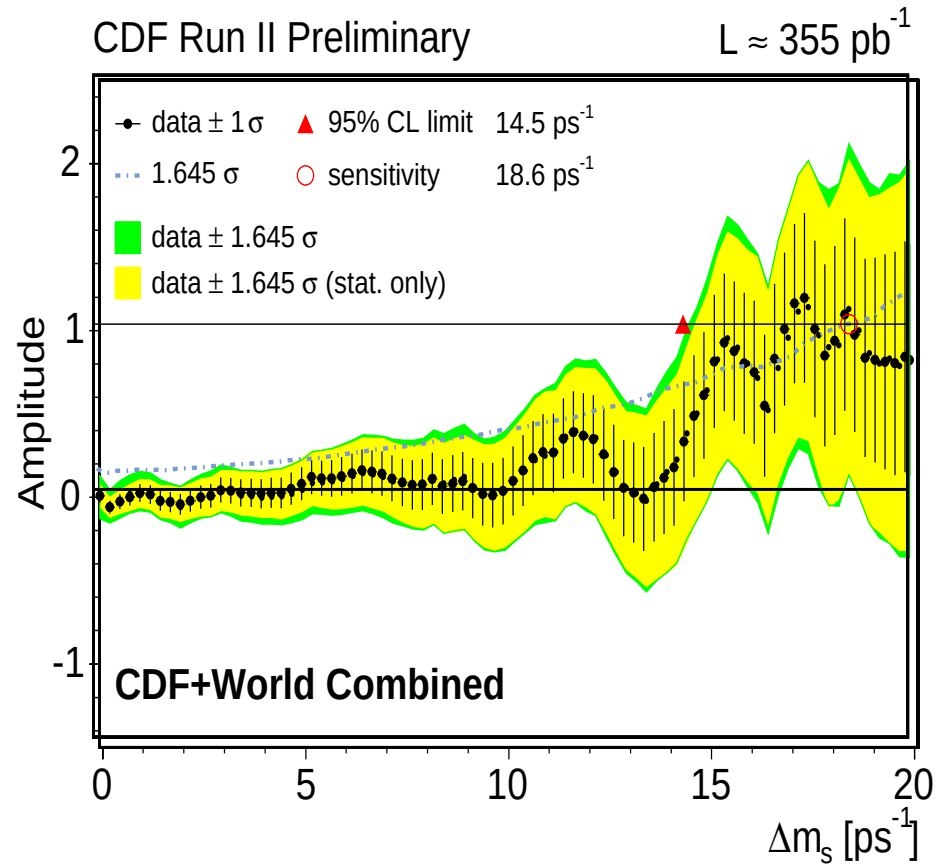


# CDF+ Resultado combinado mundial

- World Average
  - LEP, SLD, CDF run I



- World Average + CDF Run II



*Backup*

# Triángulo de Unitariedad

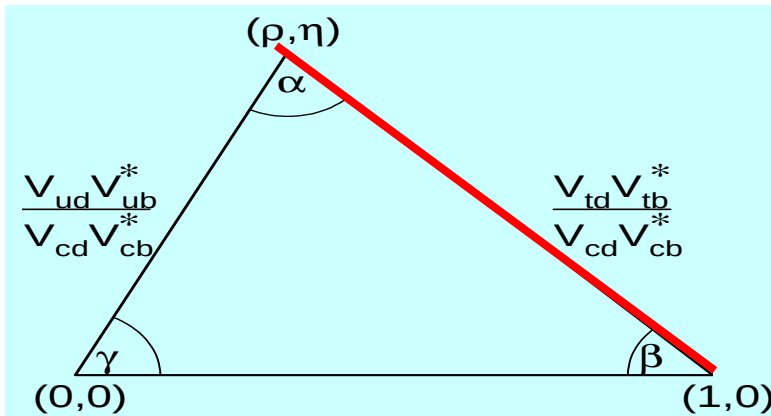
- CKM Matrix (Wolfenstein parametrización)

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + O(\lambda^4)$$

- Unitariedad de CKM Matrix

$$V_{ud} V_{ub}^* + V_{cd} V_{cb}^* + V_{td} V_{tb}^* = 0$$

- Triángulo de Unitariedad



- $|V_{cb}| = |V_{ts}|$

$$\left| \frac{V_{td} V_{tb}^*}{V_{cd} V_{cb}^*} \right| = \frac{|V_{td}|}{|V_{ts}|} \times \frac{1}{|V_{cd}|}$$

- $|V_{cd}|$  conocido con 5% precision
  - $0.224 \pm 0.012$
- Objeto principal del  $B_s$  mixing:
  - Precisa determinacion de un lado del triángulo de unitariedad

# Sumario de la Señal

|                                  | Hadronico<br>(S/B) | Semileptonico<br>(S/B) |
|----------------------------------|--------------------|------------------------|
| $B_s: D_s \rightarrow \phi\pi$   | $526 \pm 33$ (1.8) | $4355 \pm 94$ (3.1)    |
| $B_s: D_s \rightarrow K^*K$      | $254 \pm 21$ (1.7) | $1750 \pm 83$ (0.4)    |
| $B_s: D_s \rightarrow \pi\pi\pi$ | $116 \pm 18$ (1.0) | $1573 \pm 88$ (0.3)    |
| $B^+: D^0 \rightarrow K\pi$      | $\sim 6200$        | $\sim 100K$            |
| $B^0: D^{*+} \rightarrow K\pi$   | “satellite”        | $\sim 25K$             |
| $B^0: D^+ \rightarrow K\pi\pi$   | $\sim 5600$        | $\sim 52K$             |

|                                 | Hadronico (ps)           | Semileptonico (ps)         |
|---------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| $B_s:D_s \rightarrow \phi\pi$   |                          | $1.51 \pm 0.04$ stat. only |
| $B_s:D_s \rightarrow K^*K$      |                          | $1.38 \pm 0.07$ stat. only |
| $B_s:D_s \rightarrow \pi\pi\pi$ |                          | $1.40 \pm 0.09$ stat. only |
| $B_s$ combined                  | $1.59 \pm 0.10 \pm 0.02$ | $1.48 \pm 0.03$ stat. only |
| $B^+:D^0 \rightarrow K\pi$      | $1.66 \pm 0.03 \pm 0.01$ |                            |
| $B^0:D^+ \rightarrow K\pi\pi$   | $1.51 \pm 0.02 \pm 0.02$ |                            |

1<sup>st</sup> error: estadístico  
2<sup>nd</sup> error: sistematico

- vida media semileptonica  $B_s$  :
  - Resultados no para física
  - incertidumbre estad. x2 mejor que WA
  - necesario más trabajo respecto al fondo.

- Mundial actual
  - $B^0$ :  $(1.534 \pm 0.013)$  ps
  - $B^+$ :  $(1.653 \pm 0.014)$  ps
  - $B_s$ :  $(1.469 \pm 0.059)$  ps

1<sup>st</sup> error: estadístico  
2<sup>nd</sup> error: sistemático

|                      | Hadronico                                     | Semileptonico                                 |
|----------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| $\Delta m_d$         | $(0.503 \pm 0.063 \pm 0.015) \text{ ps}^{-1}$ | $(0.498 \pm 0.028 \pm 0.015) \text{ ps}^{-1}$ |
| Total $\epsilon D^2$ | $(1.12 \pm 0.23)\%$                           | $(1.43 \pm 0.09)\%$                           |
| Escala dilución      |                                               |                                               |
| Muon                 | $0.83 \pm 0.10 \pm 0.03$                      | $0.93 \pm 0.04 \pm 0.03$                      |
| Electron             | $0.79 \pm 0.14 \pm 0.04$                      | $0.98 \pm 0.06 \pm 0.03$                      |
| Vertice              | $0.78 \pm 0.19 \pm 0.05$                      | $0.97 \pm 0.06 \pm 0.04$                      |
| Traza                | $0.76 \pm 0.21 \pm 0.03$                      | $0.90 \pm 0.08 \pm 0.05$                      |
| Jets                 | $1.35 \pm 0.26 \pm 0.02$                      | $1.08 \pm 0.09 \pm 0.09$                      |

- Media mundial  $\Delta m_d = 0.510 \pm 0.005 \text{ ps}^{-1}$
- Total  $\epsilon D^2$ : 1.1—1.4%
- Factores de escal de dilución consistentes con 1
  - Hadronic0: 15~25% incertidumbre
  - Semileptonico: 5~15% incertidumbre

# Incertidumbre sistemática

- La incertidumbre sistemática despreciable en comparación con la estadística

- Semileptonico

- Ruido físico:

- Cambia la fracción del ruido  $+1\sigma$  para su incertidumbre

- Ruido “prompt”

- Tomar desviación del caso de ruido inexistente

- Dilución del ruido “prompt”

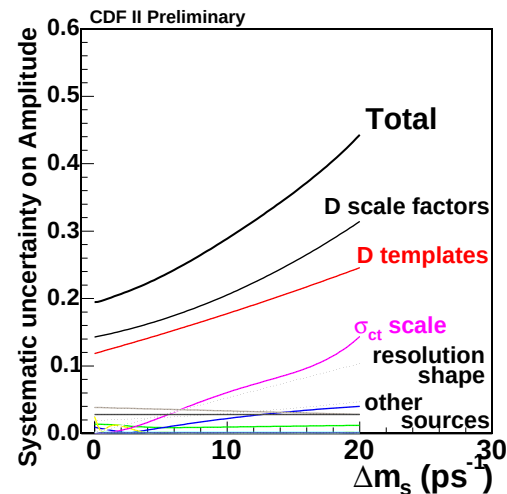
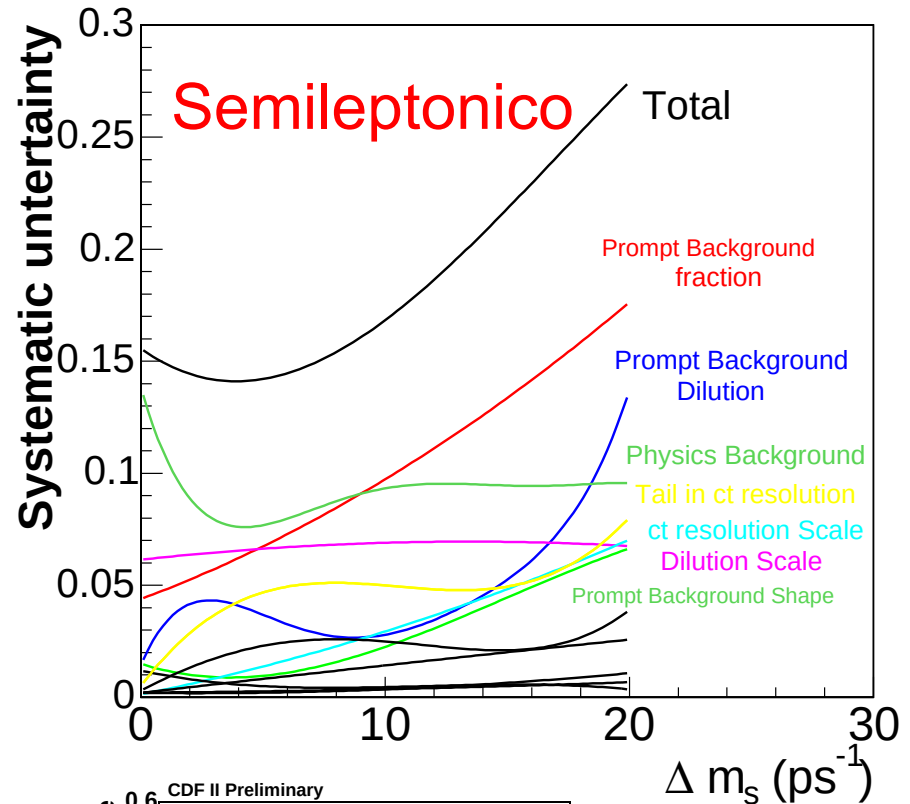
- Permitir asimetría del etiquetado  $\pm 10\%$

- Hadronico

- Calibrado del etiquetado de sabor

- Limitado por estadística en la muestra de control  $B \rightarrow D\pi$

- Mejorará en el futuro con más estadística



Hadronico

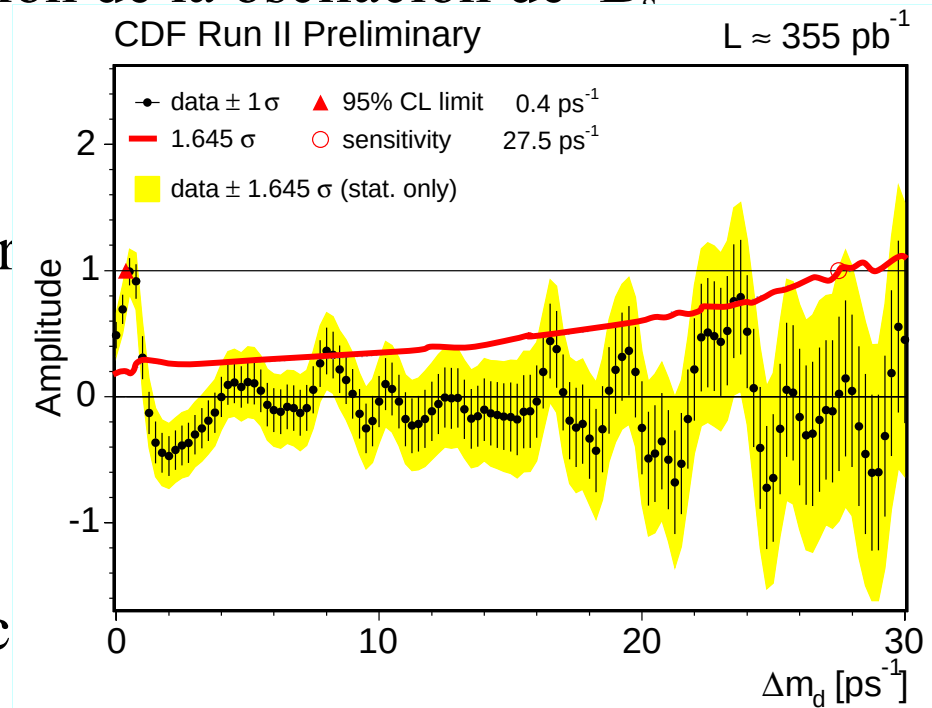


# Futura Prospectiva

- El resultado es la primera ronda de análisis.
- Run II CDF continuará hasta 2009
  - Objetivo a largo plazo: Observación de la oscilación de  $B_s$

- Posibles mejoras

- Más Luminosidad
- Mejora de la estrategia de Trigger
  - Para alta luminosidad
- Mejora del etiquetado de sabor
  - “Same side tagging”
  - mejora substancial en  $\epsilon D^2$
- Mejora de la resolución del vértice
  - Más importante cuanto mayor  $\Delta m_s$
- Incluir más canales de desintegración
- Reducir incertidumbre sistemática:
  - Hadronico: Mejor calibrado el etiquetado de sabor
  - Semileptonico: Mejor comprensión del fondo



Amplitude scan a la muestra de  $B^0$  Hadronic ( $\sim \times 10$  más que  $B_s$ )