Búsqueda de FCNC en procesos $Z \to b\overline{d}, b\overline{s}$

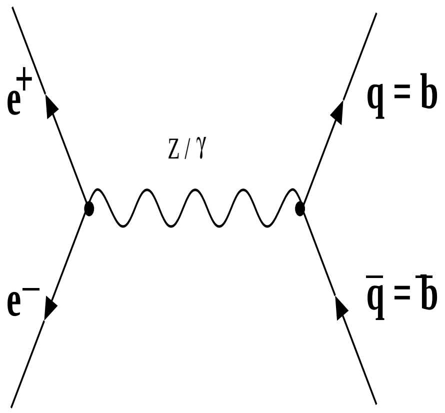
Motivación
Álgebra y Estrategia
Resultados
Resúmen

Fernando Martinez - Juan Fuster
Pablo Tortosa

IFIC - Universitat de Valencia

MOTIVACIÓN

- **Modelo Estándar: la principal contribución a las corrientes neutras viene de los diagramas:**



➜ **En LEP buscamos FCNC en el proceso:**

$$e^+e^- \to Z^0 \to b\overline{q} \qquad q = d, s \qquad (k_\mu^2 \approx M_Z^2)$$

- **Los procesos FCNC sólo son posibles a órdenes superiores:**

✎ En el SM, $Br(Z^0 \to b\overline{q}) \approx 10^{-7}$

✎ 3.5×10^6 desintegraciones hadrónicas obtenidas en DELPHI.

➜ **La existencia de sucesos FCNC en la muestra implicaría nueva física. !!**

RESULTADO PREVIO

- Resultado experimental (DELPHI):

$$R_b^{exp} \equiv \frac{\Gamma\left(Z \to b\bar{b}\right)}{\Gamma\left(Z \to had\right)} = (0.21634 \pm 0.0009)$$

- La comparación entre el valor experimental y el teórico nos da una primera estimación:

$$R_b^{FCNC} \approx R_b^{exp} - R_b^{SM} = (0.0005 \pm 0.0009)$$

➜ Obtenemos el siguiente límite:

$$R_b^{FCNC} \leq 2.0 \times 10^{-3} (90\%\ CL)$$

✘ ... pero R_b^{exp} asume SM!

- Para medir R_b^{FCNC}, un análisis tiene que:

✎ incluir FCNC.

✎ ser independiente de un modelo FCNC particular.

✎ incluir la información SM disponible.

➜ La sensibilidad del análisis será $\sim 10^{-3}$

ÁLGEBRA

- **Buscamos procesos $Z \to b\bar{d}, b\bar{s}$ en sucesos a 2 *jets*.**
- **En el caso del SM:**

$$f_E^{BL} = R_b\, \epsilon_{bb}^{BL} + R_c\, \epsilon_{cc}^{BL} + R_\ell\, \epsilon_{\ell\ell}^{BL}$$

$$R_b + R_c + R_\ell = 1, \qquad \ell = u, d, s, \qquad R_{bq} \sim 0$$

- **En el caso de un modelo con FCNC:**

$$f_E^{BL} = R'_b\, \epsilon_{bb}^{BL} + R'_c\, \epsilon_{cc}^{BL} + R'_\ell\, \epsilon_{\ell\ell}^{BL} + R_{bq}\, \epsilon_{bq}^{BL}$$

$$R'_b + R'_c + R'_\ell + R_{bq} = 1, \qquad q = d, s, \qquad R_{bq} \neq 0?$$

- **Nuevos observables:**

$$R'_b = \frac{\Gamma(Z \to b\bar{b})}{\Gamma(Z \to \ell\bar{\ell}) + \Gamma(Z \to c\bar{c}) + \Gamma(Z \to b\bar{b}) + \Gamma(Z \to b\bar{q})}$$

$$R_{bq} = \sum_{q=d,s} \frac{\Gamma(Z \to b\bar{q})}{\Gamma(Z \to hadrones)}$$

- **Puede demostrarse:**

$$\frac{1}{R'_b} = \frac{1}{R_b} + \frac{R_{bq}}{R'_b}$$

- **entonces:**

$$R'_b = R_b(1 - R_{bq})$$

- **Igualmente:**

$$\begin{aligned} R'_c &= R_c(1 - R_{bq}) \\ R'_\ell &= R_\ell(1 - R_{bq}) \end{aligned}$$

$$f_E^{BL} = \epsilon_{fondo}^{BL} + \left(\epsilon_{bq}^{BL} - \epsilon_{fondo}^{BL}\right) R_{bq}$$

$$\epsilon_{fondo}^{BL} = R_\ell \, \epsilon_{\ell\ell}^{BL} + R_c \, \epsilon_{cc}^{BL} + R_b \, \epsilon_{bb}^{BL}$$

- **La expresión final depende únicamente de:**
  - ✔ **observables SM:** R_b , R_c, R_ℓ
  - ✔ **presencia de FCNC:** R_{bq}
  - ✔ **eficiencias de selección** ϵ_{ab}^{CD}.

... podemos mejorar añadiendo nuevos *tags*!

IDENTIFICACIÓN

- **Definimos 6 *tags* por hemisferio:**

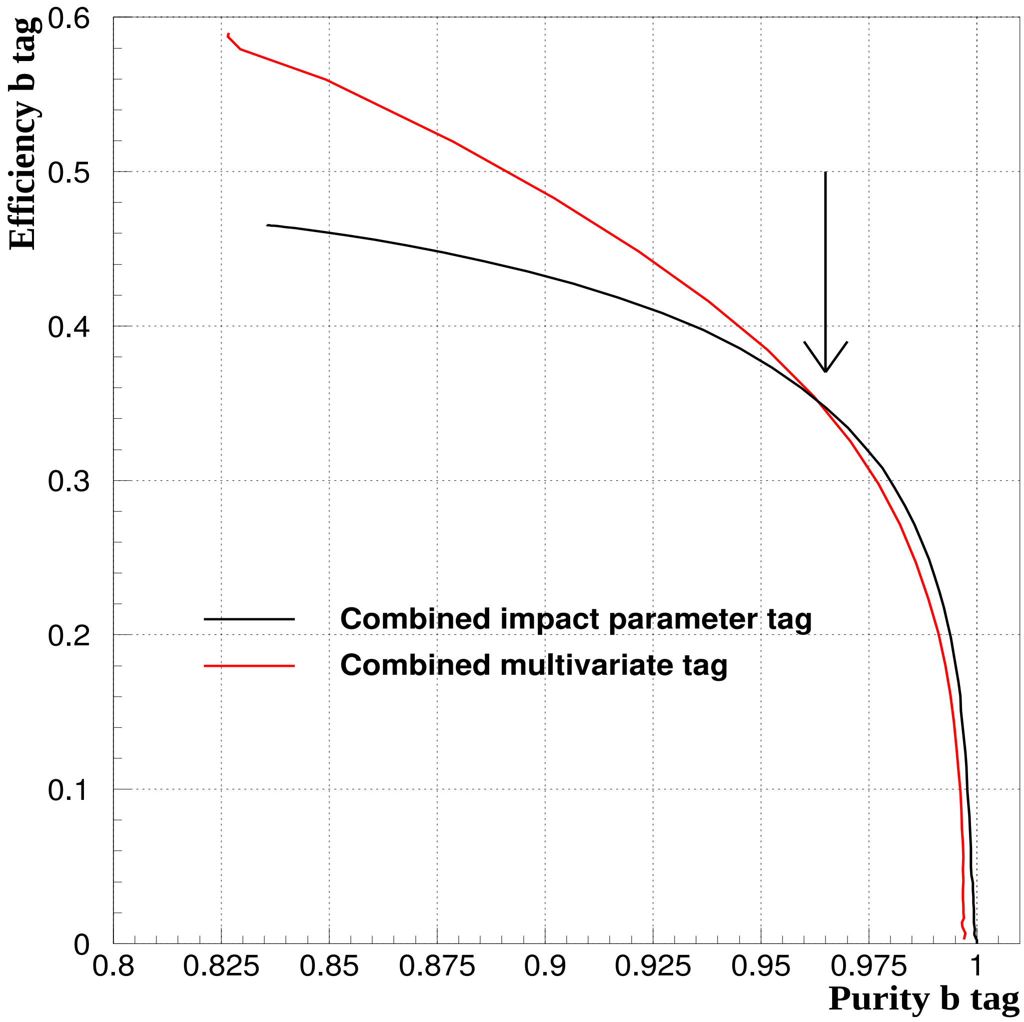
Clasificación	Condición	Prioridad
B b-*tight*	$-\log_{10} y \leq -\log_{10} y_0 = 1.2$	6
B1 b-*tight*	$\Delta_b > \Delta_{b,0}^{up} = 3.5$	5
B2 b-*loose*	$\Delta_b > \Delta_{b,0}^{low} = 1.2$	4
C charm	$\Delta_c > \Delta_{c,0} = 0.65$	3
L uds	$\Delta_{uds} > \Delta_{uds,0} = 3.2$	2
N no-*tag*	***Ninguno de los anteriores***	1

➜ 20 **formas de clasificar sucesos:**
BB, BL, BC ...

- **Añadir los nuevos *tags* permite:**
  - ✔ **medir las eficiencias a partir de los datos.**
  - ✔ **reducir el error total y mejorar la eficiencia manteniendo un fondo razonable.**
  - ✔ **reducir dependencia del MC.**

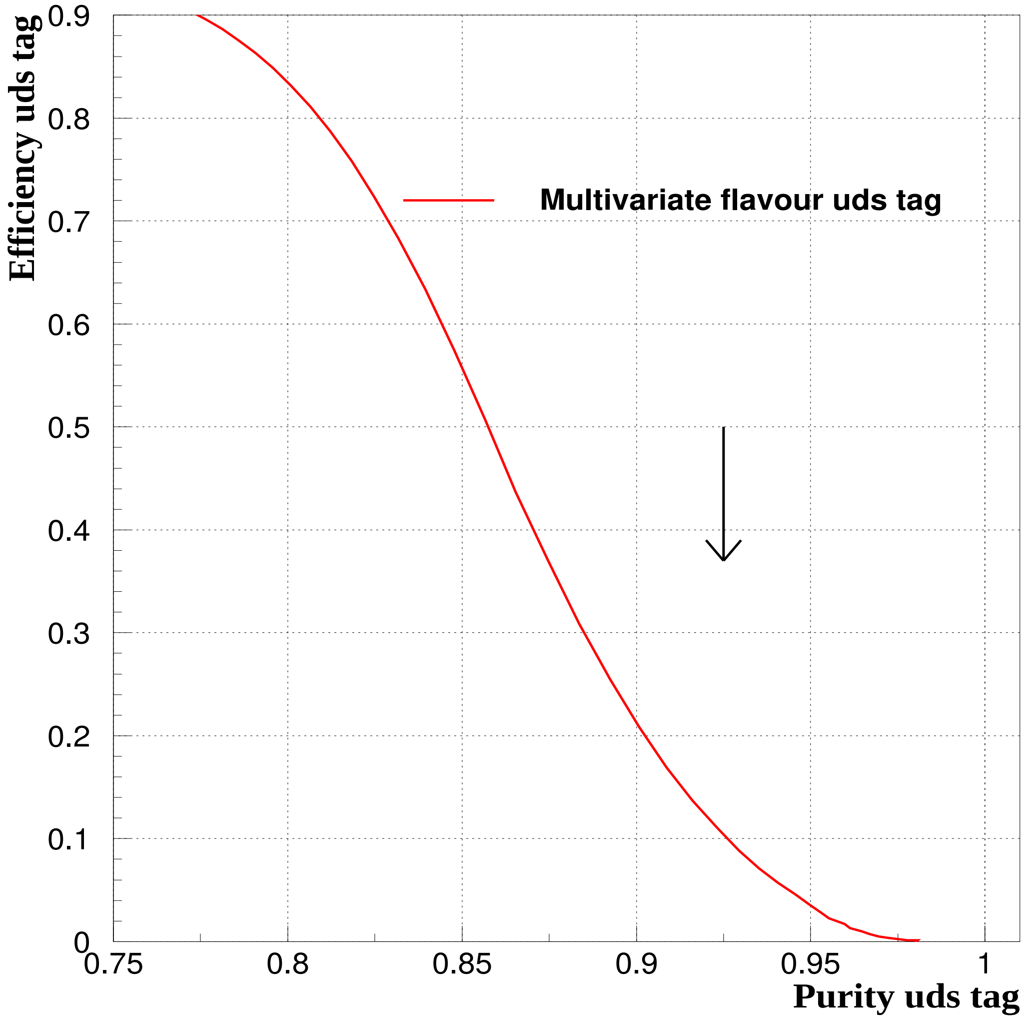
➜ **Mejoramos la medida y reducimos los sistematicos.**

Eficiencia - Pureza del *B-tag*



B tag	S/N Ratio
b-tight	63.1
b-standard	6.2
b-loose	1.6

Eficiencia - Pureza del *L-tag*



L tag	S/N Ratio
uds	11.6

ESTRATEGIA

Tagging por hemisferios y ajuste χ^2 :

$$f_E^{BL} = \epsilon_{fondo}^{BL} + \left(\epsilon_{bq}^{BL} - \epsilon_{fondo}^{BL}\right) R_{bq}$$

MEDIR

20 fracciones f_E^{IJ}

MONTECARLO	**PARÁMETROS**
(2) eficiencias $\rightarrow \epsilon_{uds}^B$ **y** ϵ_c^B	$R_b^{teo} = (0.21584 \pm 0.00018)$
	$\Delta R_b = \pm 0.00009$
(45) SM ρ_q^{IJ}	$R_c^{exp} = (0.1735 \pm 0.0044)$
$\downarrow$	
(15) FCNC ρ_{bq}^{IJ}	

RELACIONES de CLAUSURA:

$$R_b + R_c + R_\ell = 1$$

$$\sum_I \epsilon_q^I = 1 \qquad \sum_I \epsilon_q^I \rho_{qq}^{IJ} = 0$$

OBTENEMOS:

R_{bq}

todas las eficiencias (13) ϵ_q^I menos ϵ_{uds}^B y ϵ_c^B.

CORRELACIONES FCNC

✘ **Las correlaciones de hemisferio FCNC no pueden obtenerse de los datos y no tenemos un MC FCNC!**

✔ **SOLUCIÓN (conservadora):**

- Tomar $\rho_{bq}^{IJ} \approx \frac{\rho_b^{IJ}+\rho_q^{IJ}}{2}$
- Como error sistemático le asociamos la suma cuadrática de:

  ➜ **La suma cuadrática de:**

$$\left(\sigma^{stat}_{\rho_{bq}^{IJ}}\right)^2 \approx \left(\sigma^{stat}_{\rho_{b}^{IJ}}\right)^2 + \left(\sigma^{stat}_{\rho_{q}^{IJ}}\right)^2$$

  ➜ **La semidiferencia**

$$\left(\sigma^{sist}_{\rho_{bq}^{IJ}}\right) \approx \frac{\rho_b^{IJ}-\rho_q^{IJ}}{2}$$

$$\left(\sigma_{\rho_{bq}^{IJ}}\right)^2 \approx \left(\sigma^{stat}_{\rho_{bq}^{IJ}}\right)^2 + \left(\sigma^{sist}_{\rho_{bq}^{IJ}}\right)^2$$

DATOS

- **3.5 millones de desintegraciones $Z \to had$ recogidas en DELPHI (años 1992 a 1995).**

CORTES:

CARGADAS

- Ángulo polar $20^\circ \leq \theta \leq 160^\circ$
- Longitud de la traza en la TPC > 30.0 cm.
- $p > 200MeV/c$, $\Delta p/p < 1$.
- Parámetro de impacto: $IP_{R\phi} < 4.0cm$, $IP_z < 10.0cm$

NEUTRAS

- $E_{HPC} > 700MeV$
- $E_{EMF} > 400MeV$

SELECCIÓN de SUCESOS

- $N_{ch} \geq 6$
- $E_{ch} > 0.12E_{CM}$
- $|\cos\theta_{thrust}| < 0.65$ (VD)

$\sim 60\%$ **de eficiencia.**

- **Tras los cortes, nos quedamos con:**

1992	1993	1994	1995	Total:
422.199	400.287	829.628	400.920	2.053.034

- **MONTECARLO:**

$\sim$ **2 x datos experimentales:**

$$Z \rightarrow b\bar{b} \text{ y } Z \rightarrow q\bar{q}$$

- **Simulación completa de la física y el detector.**

TEST

- **No disponemos de simulación FCNC.**
- **Comprobamos la sensibilidad del análisis con una *"toy simulation"***
- **<u>PROCEDIMIENTO</u>:**

  1 **Escoger un valor de** R_{bq}.

  2 **Estimar del MC94c2** $q\overline{q}+b\overline{b}$ **las eficiencias** $\epsilon^I_b, \epsilon^I_c, \epsilon^I_q$ **y las correlaciones** $\rho^{IJ}_b, \rho^{IJ}_c, \rho^{IJ}_q (\rho^{IJ}_{bq})$.

  3 **Calcular** f^{IJ}_E **como** $(\epsilon^{IJ}_{bq} - \epsilon^{IJ}_{fondo}) R_{bq} + \epsilon^{IJ}_{fondo}$.

  4 **Obtener** N^{IJ}_E **como** $N_{had} \times f^{IJ}_E$.

  5 ***SMEARING*** **gausiano de** N^{IJ}_E.

$\rightarrow$ **Intentar reproducir** R_{bq}.

✔ <u>RESULTADOS</u>:

Para $N_{had} \approx 2.0M$, $R_b = 0.2182$:

R_{bq} generado	R_b ajuste SM	R_{bq} ajuste FCNC
-1.0%	0.21057 ± 0.00066	$(-0.992 \pm 0.089)\%$
-0.1%	0.21740 ± 0.00069	$(-0.102 \pm 0.090)\%$
0.0%	0.21818 ± 0.00069	$(-0.003 \pm 0.090)\%$
$+0.1\%$	0.21895 ± 0.00070	$(+0.096 \pm 0.091)\%$
$+1.0\%$	0.22600 ± 0.00073	$(+0.986 \pm 0.092)\%$

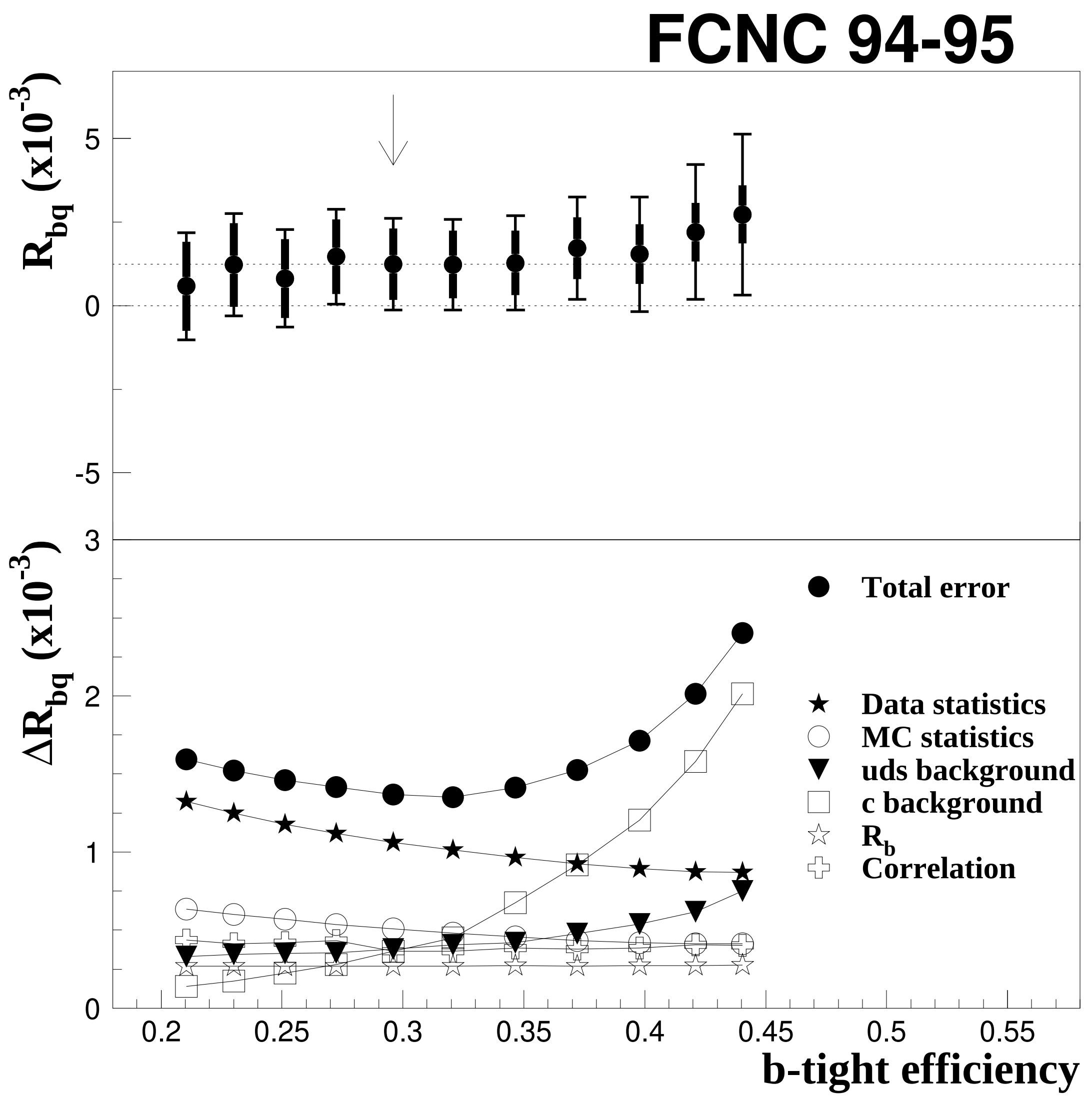
ERRORES SISTEMÁTICOS

	$\Delta R_{bq} \times 10^4$				
Fuente de error	1992	1993	1994	1995	Comb.
Estadística (sim)	± 11.5	± 10.0	± 5.6	± 10.7	± 4.2
Aceptancia	± 2.9	± 2.3	± 1.6	± 2.9	± 1.1
Eficiencia (L)	± 3.7	± 3.6	± 3.9	± 3.5	± 3.7
Eficiencia (C)	± 4.4	± 4.5	± 3.5	± 4.0	± 3.9
Correlación angular	± 3.4	± 3.6	± 0.8	± 1.9	± 1.5
Emisión de gluones	± 3.0	± 3.0	± 3.5	± 2.4	± 3.1
Correlaciones FCNC	± 1.3	± 0.5	± 0.5	± 0.2	± 0.6
Correlacion física	± 3.3	± 3.3	± 1.6	± 1.5	± 2.1
R_b teórico	± 2.3	± 2.3	± 2.3	± 2.3	± 2.3
Error total sistemático	± 14.6	± 13.3	± 9.1	± 12.9	± 8.1
Error estadístico	± 21.3	± 22.2	± 12.8	± 18.8	± 8.7
Error total	± 25.8	± 25.9	± 15.7	± 22.8	± 11.9

ERRORES SISTEMÁTICOS (II)

Fuente de error	Intervalo	$\Delta R_{bq} \times 10^4$
Estadística (Simulación)		$\pm$ 4.2
Selección		$\pm$ 1.1
R_b teórico		$\mp$ 2.3
K^0, Λ^0, fotones, etc.	$\pm 20\%$	$\mp$ 0.5
Tracking		$\pm$ 1.6
splitting de gluones $g \to c\bar{c}$	$(2.33 \pm 0.50)\%$	$\mp$ 1.0
splitting de gluones $g \to b\bar{b}$	$(0.269 \pm 0.067)\%$	$\mp$ 3.4
Fracción de D^+ en sucesos $c\bar{c}$	0.233 ± 0.027	$\mp$ 1.6
Fracción de D_s en sucesos $c\bar{c}$	0.103 ± 0.029	$\pm$ 0.3
Fracción de bariones-c en sucesos $c\bar{c}$	0.063 ± 0.028	$\pm$1.5
$\mathrm{BR}(\mathrm{D}^0 \to \mathrm{no\,neutras})$	$(14.1 \pm 1.1)\%$	$\mp$ 0.8
$\mathrm{BR}(\mathrm{D}^0 \to 1\,\mathrm{neut.}, \geq 2\,\mathrm{cargadas})$	$(37.7 \pm 1.7)\%$	$\mp$ 0.3
$\mathrm{BR}(\mathrm{D}^+ \to \mathrm{no\,neutras})$	$(11.2 \pm 0.6)\%$	$\mp$ 0.6
$\mathrm{BR}(\mathrm{D}^+ \to 1\,\mathrm{neut.}, \geq 2\,\mathrm{cargadas})$	$(26.1 \pm 2.3)\%$	$\mp$ 0.2
$\mathrm{BR}(D_s \to K^0 X)$	$(33 \pm 18)\%$	$\mp$ 1.6
Vida media del D^0	0.415 ± 0.004 ps	$\mp$ 0.3
Vida media del D^+	1.057 ± 0.015 ps	$\mp$ 0.3
Vida media del D_s	0.447 ± 0.017 ps	$\mp$ 0.3
Vida media delΛ_c	0.206 ± 0.012 ps	$\mp$ 0.0
Mult. de la desint. del D	2.13 ± 0.14	$\mp$ 1.0
$\langle x_E(c) \rangle$	0.484 ± 0.008	$\mp$ 0.6
Dos b's en mismo hemisferio	$\pm 30\%$	$\pm$ 0.6
$\langle x_E(b) \rangle$	0.702 ± 0.008	$\pm$ 1.5
Mult. de la desint. del B	4.97 ± 0.07	$\mp$ 1.2
Vida media del B (promedio)	1.55 ± 0.05 ps	$\mp$ 0.0
Corr. en la física del c		$\pm$ 0.6
Efectos angulares		$\pm$ 1.2
Emisión de gluones		$\pm$ 3.1
Correlacions FCNC		$\pm$ 0.6
Error sistemático total		$\pm$ 8.1
Estadística (Datos)		$\pm$ 8.7
Error total		$\pm$11.9

Estabilidad del resultado 1994+1995 frente a la eficiencia del *B-tag*



RESULTADOS

$$R_{bq} = \sum_{q=d,s} \frac{\Gamma(Z \rightarrow b\overline{q})}{\Gamma(Z \rightarrow hadrones)}$$

$$R_{bq} = (-3.68 \pm 2.13 \pm 1.47) \times 10^{-3} \quad , \chi^2/\nu = 8.6/6 \quad \mathbf{(1992)}$$
$$R_{bq} = (2.50 \pm 2.22 \pm 1.33) \times 10^{-3} \quad , \chi^2/\nu = 7.3/6 \quad \mathbf{(1993)}$$
$$R_{bq} = (1.56 \pm 1.28 \pm 0.91) \times 10^{-3} \quad , \chi^2/\nu = 7.7/6 \quad \mathbf{(1994)}$$
$$R_{bq} = (0.48 \pm 1.88 \pm 1.29) \times 10^{-3} \quad , \chi^2/\nu = 3.4/6 \quad \mathbf{(1995)}$$

- **Combinando las 4 medidas, obtenemos:**

$$R_{bq} = (0.67 \pm 0.87(stat) \pm 0.81(sist)) \times 10^{-3}$$

$$\chi^2/\nu = 4.13$$

que se corresponde con el límite de exclusión:

$$R_{bq} < 2.6 \times 10^{-3} (90\% \; CL)$$

- **Podemos definir también:**

$$R'_{bq} \equiv \sum_{q=d,s} \frac{\Gamma(Z \to b\overline{q})}{\Gamma(Z \to b\overline{b})}$$

- **Se demuestra (trivialmente):**

$$R'_{bq} = R_{bq}/R_b$$

- **Teniendo en cuenta las correlaciones, obtenemos:**

$$R'_{bq} = (3.1 \pm 4.0(stat) \pm 3.8(sist)) \times 10^{-3}$$

RESÚMEN

- Se ha llevado a cabo una búsqueda de procesos FCNC

$$e^+e^- \to Z^0 \to b\overline{d} + b\overline{s}$$

✔ Prácticamente todos los parámetros se obtienen de los datos ($\sim$ indep. del MC y modelos FCNC).

- El observable FCNC es:

$$R_{bq} = \sum_{q=d,s} \frac{\Gamma(Z \to b\overline{q})}{\Gamma(Z \to hadrones)}$$

- El resultado obtenido es:

$$R_{bq} = (0.67 \pm 0.87(stat) \pm 0.81(sist)) \times 10^{-3}$$

que se corresponde con el límite de exclusión:

$$\boxed{R_{bq} < 2.6 \times 10^{-3} (90\%\ CL)}$$

✔ Muy próximo al límite que se obtiene asumiendo SM:

$$R_b^{FCNC} \leq 2.0 \times 10^{-3} (90\%\ CL)$$