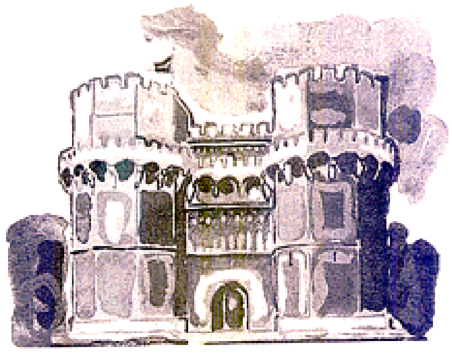
Búsqueda de charginos con el detector DELPHI de LEP

Inés Gil Botella

Instituto de Física Corpuscular – Universidad de Valencia

XXVII Reunión Bienal
de la Real Sociedad
Española de Física
VALENCIA
20 – 24 de Septiembre 1999



- SUSY es una simetría que relaciona bosones con fermiones
  $\longrightarrow$ nuevas partículas

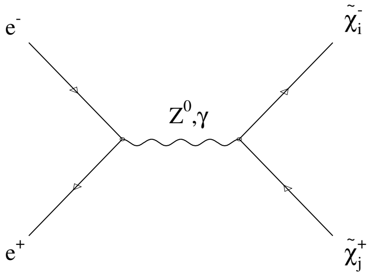
Partícula Estándar	$\tilde{J} = J \pm \frac{1}{2}$ $\Longleftrightarrow$	$\tilde{P}$artícula SUSY
Paridad–R = 1	$R = (-1)^{2J+3B+L}$	Paridad–R = -1

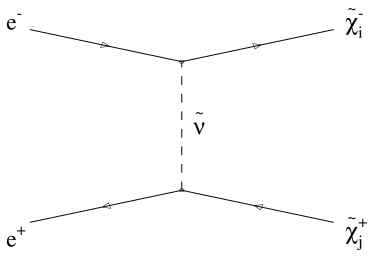
Estados de interacción		*Estados de masa*	
$\tilde{W}^{\pm}$, $\tilde{H}^{\pm}$	$\longleftrightarrow$	$\tilde{\chi}^{\pm}_{1\,,\,2}$	(Charginos)
$\tilde{B}$, $\tilde{W}^0$, $\tilde{H}^0_1$, $\tilde{H}^0_2$	$\longleftrightarrow$	$\tilde{\chi}^0_{1\,,\,2\,,\,3\,,\,4}$	(Neutralinos)

- Si SUSY existe, los charginos serán una de las primeras partículas SUSY en detectarse:
  - ✔ se encuentran entre las partículas SUSY más ligeras
  - ✔ la sección eficaz de producción en colisiones $e^+ e^-$ es alta en la mayor parte de regiones del espacio MSSM

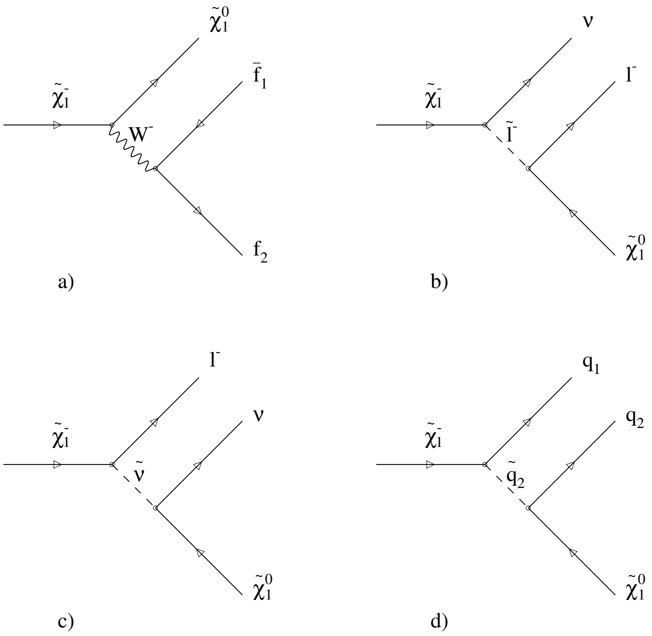
- Marco teórico:
  - ✔ Modelo Estándar Supersimétrico Mínimo (MSSM)
  - ✔ Gran Unificación: $M_1 = \frac{5}{3}\, tan^2\theta_W\ M_2 \simeq 0.5\ M_2$ a la escala electrodébil
  - ✔ Conservación de la paridad–R
  - ✔ m_0 (masa de los escalares) es $\sim$ 1 Tev/c^2

PRODUCCIÓN:





DESINTEGRACIÓN:



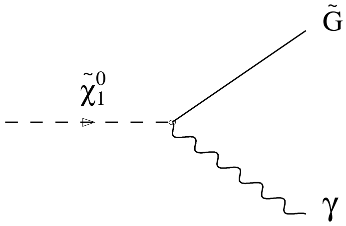
✔ **MSUGRA:** $\tilde{\chi}^0_1$ LSP

$$\begin{cases} \tilde{\chi}^{\pm}_{1,2} \rightarrow f_1 \bar{f}_2 \; \tilde{\chi}^0_1 \\ \tilde{\chi}^{\pm}_{1,2} \rightarrow f_1 \bar{f}_2 \; \tilde{\chi}^0_2 \begin{cases} \tilde{\chi}^0_2 \rightarrow \gamma \; \tilde{\chi}^0_1 \\ \tilde{\chi}^0_2 \rightarrow f_1 \bar{f}_2 \; \tilde{\chi}^0_1 \end{cases} \end{cases}$$

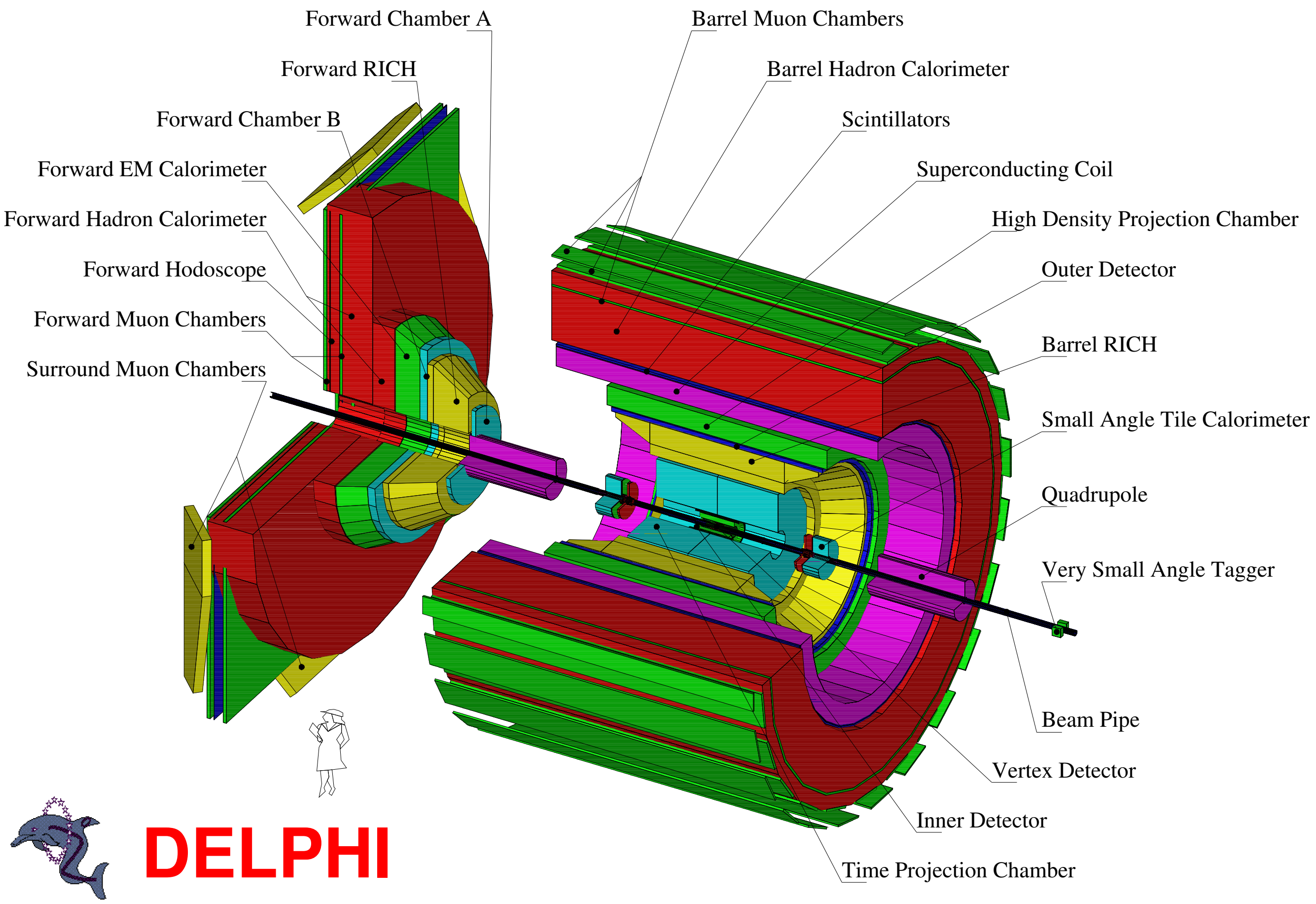
Canales de desintegración

Hadrónico	$\Rightarrow$	jets	$+ \not{E}$
Semileptónico	$\Rightarrow$	jets ℓ	$+ \not{E}$
Leptónico	$\Rightarrow$	$\ell \; \ell$	$+ \not{E}$
Radiativo	$\Rightarrow$		$+ \gamma \; \not{E}$

✔ **GMSB:** $\tilde{G}$ LSP:



$\boxed{\gamma \; \gamma \text{ aislados} + \not{E}}$



DELPHI

- ✔ Buena reconstrucción tridimensional
- ✔ Buena identificación de partículas
- ✔ Alta granularidad de los calorímetros
- ✔ Determinación precisa de los vértices

Year	$\sqrt{s}$ (GeV)	Luminosity (pb^{-1})
1997	183	53.9
1998	188.7	158.0

SEÑAL $\tilde{\chi}^{\pm}$:

✔ Variables con mayor influencia en la eficiencia de detección:

- $M_{\tilde{\chi}_1^{\pm}}$
- $\Delta \mathrm{M} = M_{\tilde{\chi}^{\pm}} - M_{\tilde{\chi}_1^0}$
- $\Delta \mathrm{M}_2 = M_{\tilde{\chi}^{\pm}} - M_{\tilde{\chi}_2^0}$ (canal radiativo)

✔ Generación:

Representativa de diferentes regiones del espacio de parámetros MSSM (μ, M_2, $\tan\beta$)

76 puntos $\tilde{\chi}^{\pm}$ $\tilde{\chi}_1^0$ LSP $\Rightarrow$ $\boxed{45 \leq M_{\tilde{\chi}_1^+} \leq 94.5 \text{ GeV/c}^2 \quad 3 \leq \Delta\mathrm{M} \leq 70 \text{ GeV/c}^2}$

17 puntos $\tilde{\chi}^{\pm}$ $\tilde{G}$ LSP $\Rightarrow$ $\boxed{85 \leq M_{\tilde{\chi}_1^+} \leq 94.5 \text{ GeV/c}^2 \quad 1 \leq \Delta\mathrm{M} \leq 65 \text{ GeV/c}^2}$

FONDO SM:

Procesos $e^+ e^-$ del Modelo Estándar

$$\Delta\mathrm{M} \uparrow\uparrow \Longrightarrow \tilde{\chi}_1^+ \, \tilde{\chi}_1^- \equiv W^+ W^-$$
$$\Delta\mathrm{M} \downarrow\downarrow \Longrightarrow \tilde{\chi}_1^+ \, \tilde{\chi}_1^- \equiv \gamma\,\gamma$$

❍ Topología radiativa:

Al menos 1 fotón aislado
($E_\gamma > 5$ GeV ; $15^o < \theta_\gamma < 165^o$; $\alpha_\gamma^{iso} > 15^o$)

❍ Topología $\ell\ell$:

Ningún fotón aislado
Número de trazas ≤ 5

❍ Topología $jj\ell$:

Ningún fotón aislado
Número de trazas > 5
Al menos 1 leptón aislado ($P_\ell > 3$ GeV/c ; $\alpha_\ell^{iso} > 20^o$)

❍ Topología *jets*:

Ningún fotón aislado
Número de trazas > 5
Ningún leptón aislado

REGIONES ΔM

$3 \leq$	ΔM	< 5	GeV/c^2
$5 \leq$	ΔM	< 10	GeV/c^2
$10 \leq$	ΔM	< 25	GeV/c^2
$25 \leq$	ΔM	< 35	GeV/c^2
$35 \leq$	ΔM	< 50	GeV/c^2
$50 \leq$	ΔM		GeV/c^2

SUCESOS

$\mathcal{L} = 158.0\ pb^{-1}$

$E_{cm} = 189$ GeV

$\Downarrow$

para una topología dada

Cortes topológicos

(iguales para todas las regiones ΔM)

$\Downarrow$

Cortes de preselección

(diferentes para cada región ΔM)

$\Downarrow$

Corte en la Likelihood Ratio

(diferentes para cada región ΔM)

CONSTRUCCIÓN DE LA FUNCIÓN LIKELIHOOD RATIO PARA CADA REGIÓN ΔM

construcción automática de las
funciones de densidad de probabilidad (pdf)
para sucesos de señal ($f_i^s(x_i)$) y fondo ($f_i^b(x_i)$)

$\Downarrow$

filtrado de señales:

filtro triangular + interpolación lineal entre bines

$\Downarrow$

Función Likelihood Ratio:

$$\mathcal{L}(\mathbf{x}_1,\mathbf{x}_2,\ldots,\mathbf{x}_n) = \frac{f_1^s(x_1)\cdots f_n^s(x_n)}{f_1^b(x_1)\cdots f_n^b(x_n)}$$

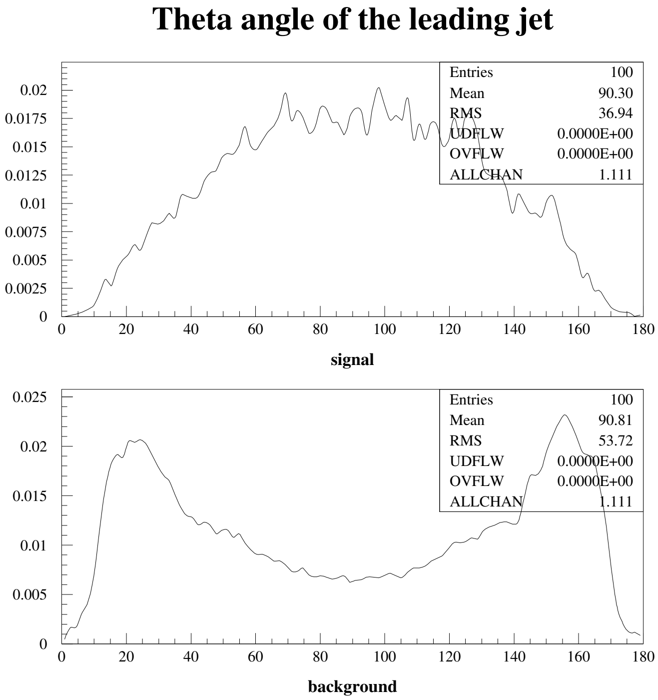
$\Downarrow$

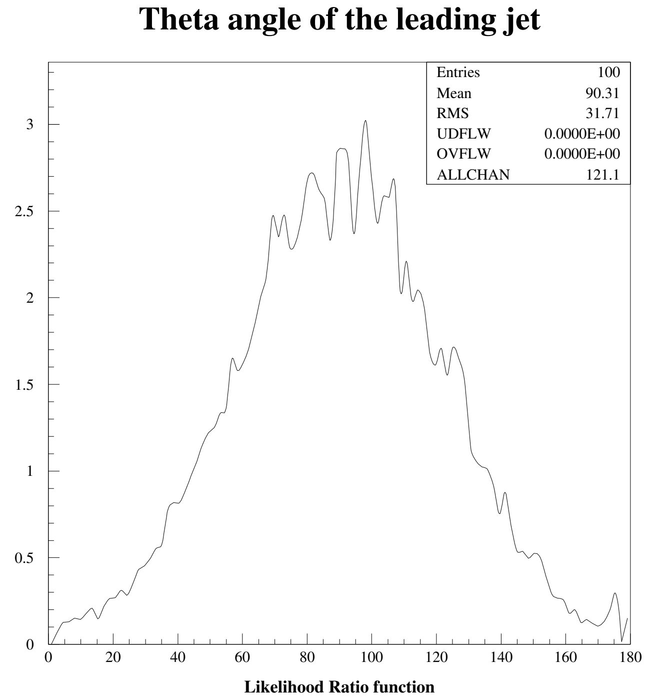
distribuciones de eficiencia y N_{back} esperado
$\Rightarrow$ $\sigma_{exclusion}$ esperada

$\Downarrow$

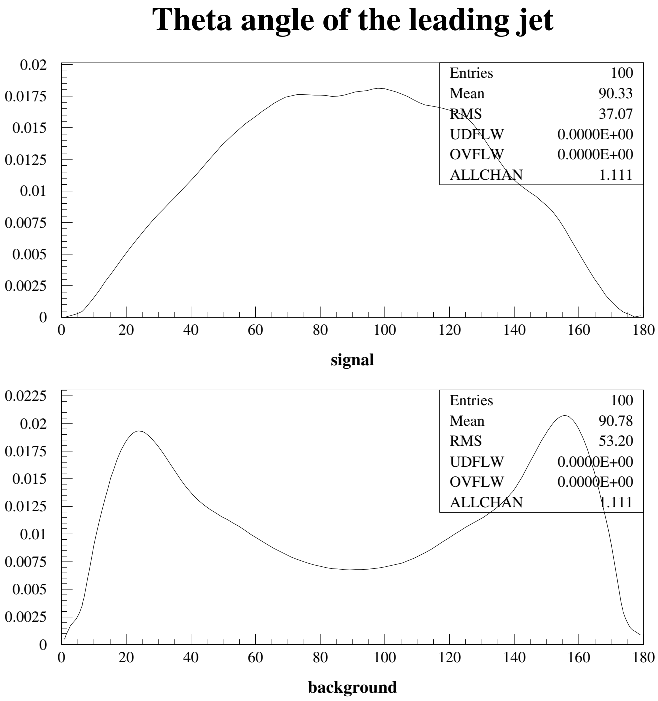
combinación óptima de variables ($x_1,x_2,\ldots,x_n$)
y $\mathcal{L}_{cut}$

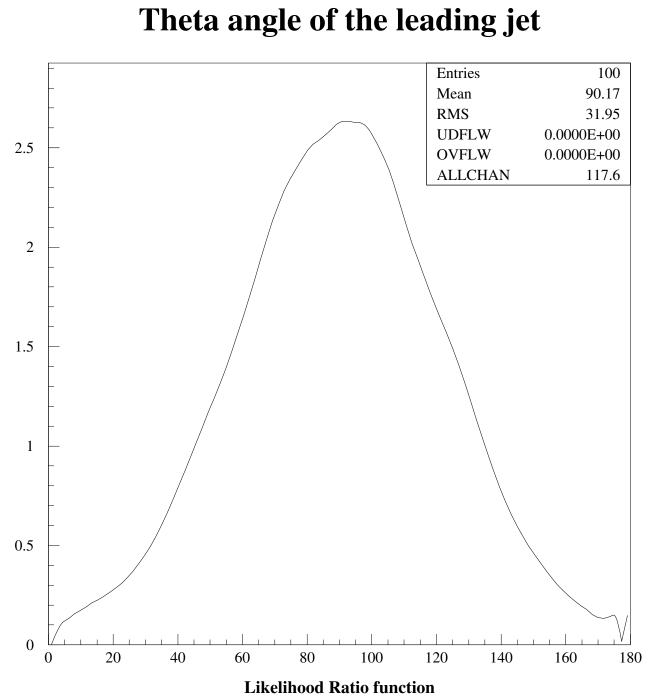
$f_i^s(x_i)/f_i^b(x_i)$





Después de filtrar ...



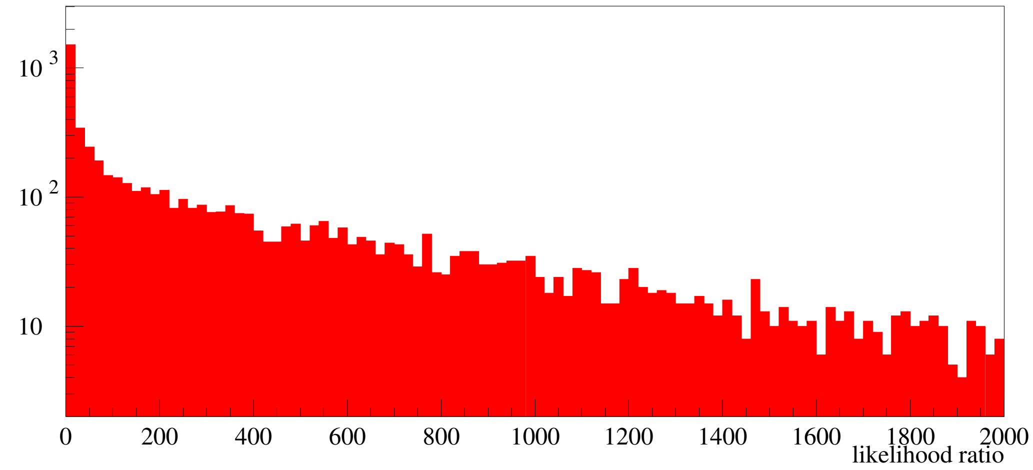


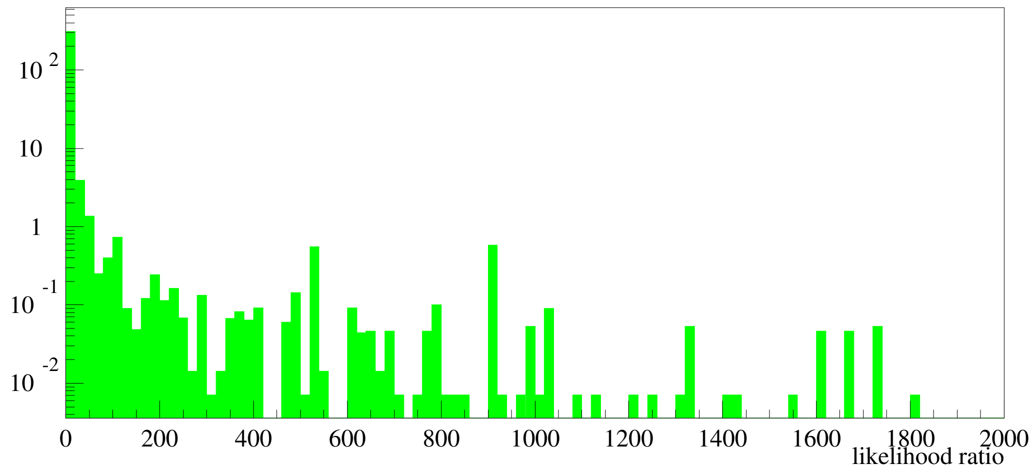
1. Para cada región ΔM:

$$\mathcal{L}(\mathrm{x}_1,\mathrm{x}_2,\ldots,\mathrm{x}_n) = \frac{f_1^s(x_1)\cdots f_n^s(x_n)}{f_1^b(x_1)\cdots f_n^b(x_n)}$$

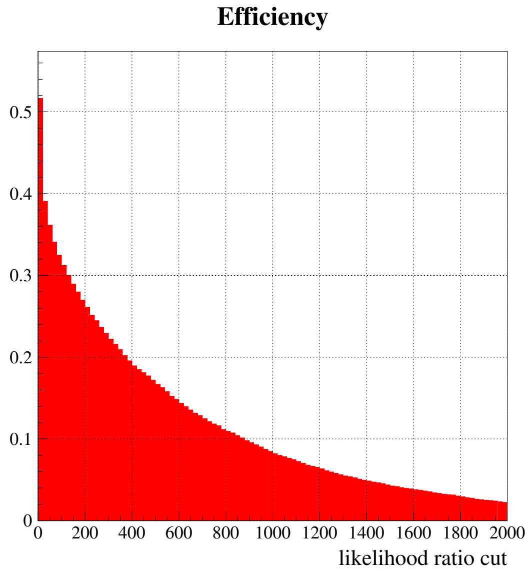
Para una combinación de n variables: (ejemplo)

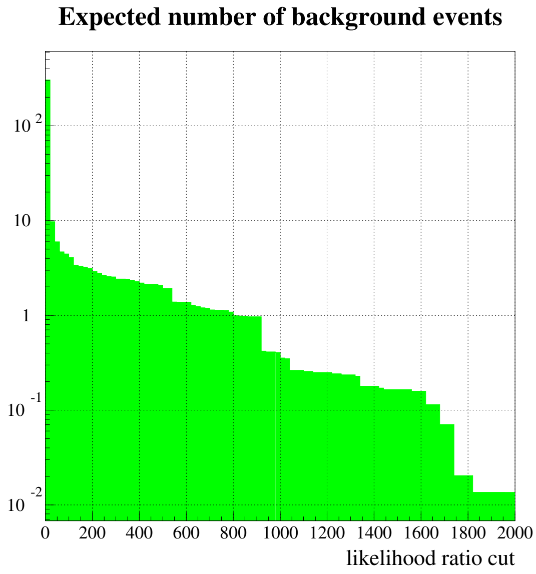
$$\mathcal{L}(\mathrm{Ntot},\mathrm{acopl},\not{P}_t,\theta_{\not{P}_t},\%\mathrm{Econ}_{20^o},\mathrm{Evis},\mathrm{P}^{max}_{track})$$



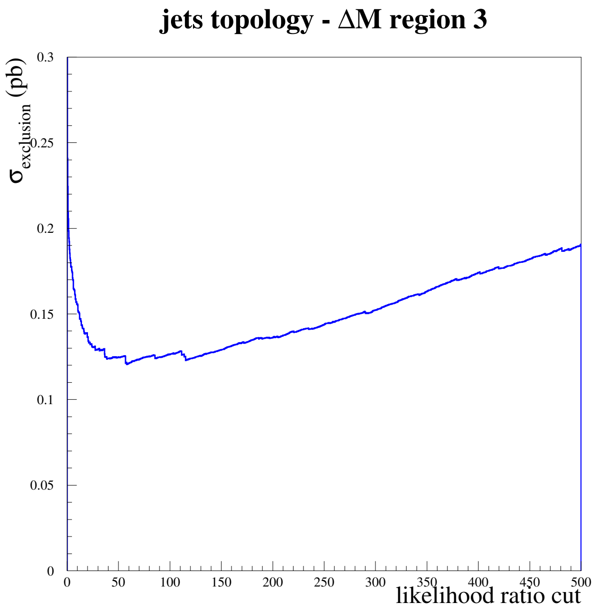


2. Usando los puntos $\tilde{\chi}^{\pm}$ y el fondo MC se dibujan las distribuciones de la eficiencia y el número de fondo esperado en función del corte Likelihood Ratio





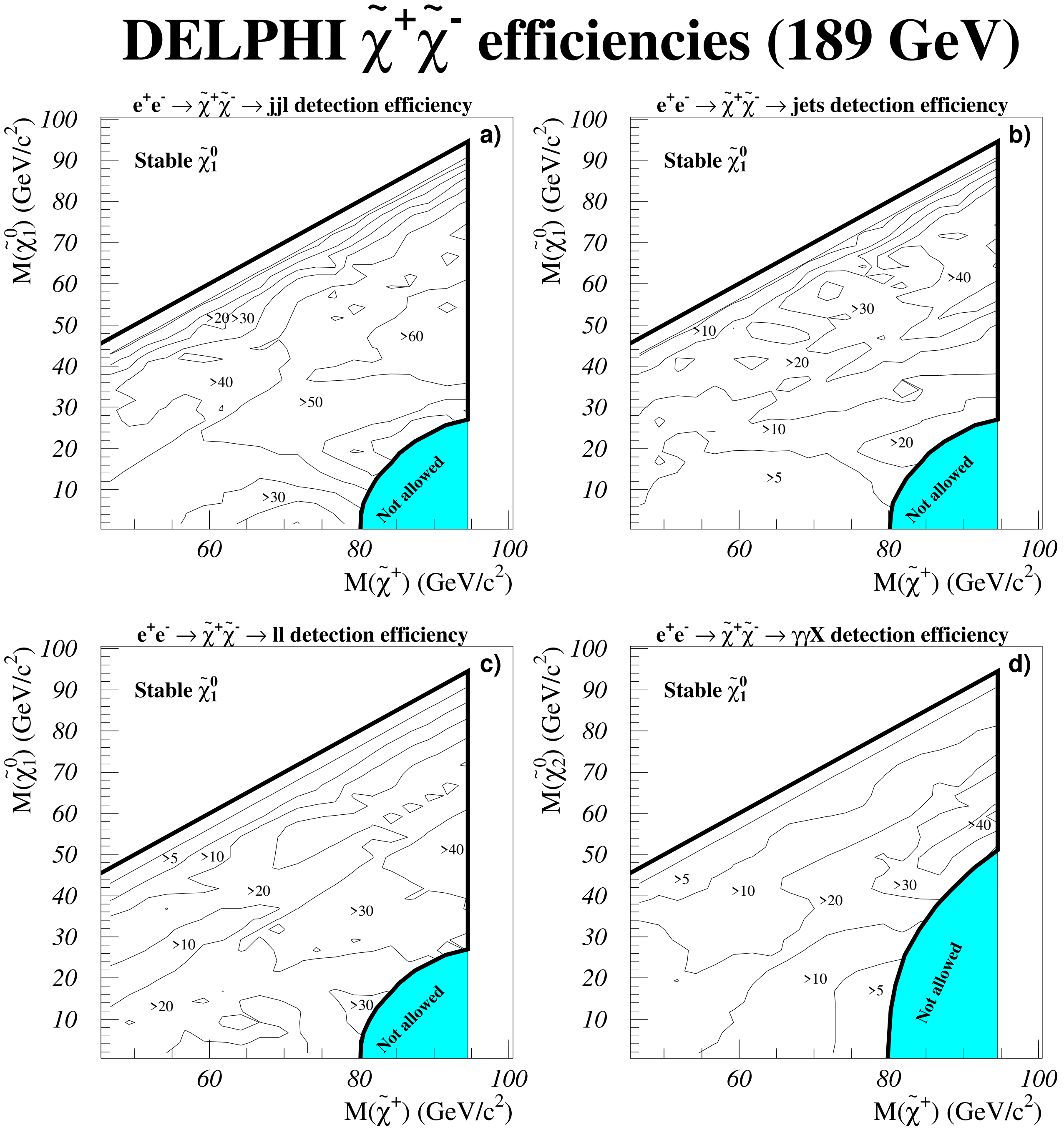
3. Con ε and N_{back} esperado $\Rightarrow$ $\sigma_{exclusion}$ esperada:

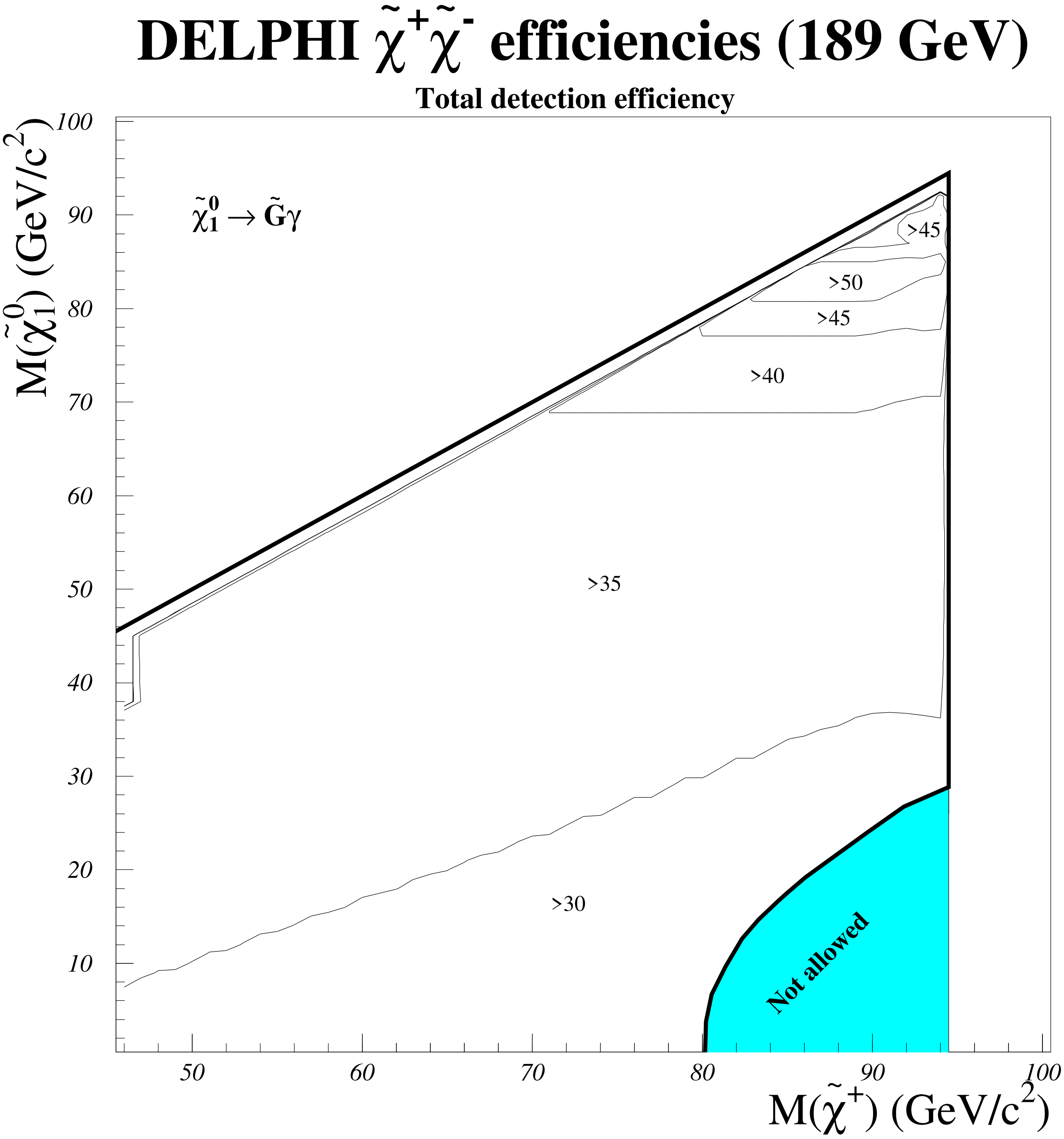


Para cada región ΔM, se encuentra automáticamente la combinación óptima de variables y el valor de $\mathcal{L}_{cut}$ que dan lugar a la mínima $\sigma_{exclusion}$ esperada

EFICIENCIAS $\tilde{\chi}^0_1$ LSP
Análisis Likelihood Ratio

Parametrización de la eficiencia en todo el espacio de parámetros MSSM para las 4 topologías.




DELPHI $\tilde{\chi}^+\tilde{\chi}^-$ efficiencies (189 GeV)
Total detection efficiency
$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tilde{G}\gamma$
>45
>50
>45
>40
>35
>30
Not allowed
$M(\tilde{\chi}_1^0)$ (GeV/c^2)
$M(\tilde{\chi}^+)$ (GeV/c^2)
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

RESULTADOS $\tilde{\chi}_1^0$ LSP

$E_{cm} = 189$ GeV, $\mathcal{L} = 158$ pb^{-1} "Escenario Neutralino"

Topología:	$jj\ell$	*jets*	$\ell\ell$	rad	**Total**
	3 $\leq \Delta$**M** $<$ **5** GeV/c^2				
Obs. events:	0	1	46	4	51
Exp. events:	0.26 $\pm$ 0.95	0.81 $\pm$ 0.98	43.22 $\pm$ 2.84	2.85 $\pm$ 0.99	47.14 $\pm$ 3.30
	5 $\leq \Delta$**M** $<$ **10** GeV/c^2				
Obs. events:	0	4	14	4	22
Exp. events:	0.26 $\pm$ 0.95	2.27 $\pm$ 1.07	14.29 $\pm$ 1.61	2.85 $\pm$ 0.99	19.68 $\pm$ 2.37
	10 $\leq \Delta$**M** $<$ **25** GeV/c^2				
Obs. events:	0	9	25	4	38
Exp. events:	0.48 $\pm$ 0.95	5.36 $\pm$ 1.14	25.22 $\pm$ 1.76	2.85 $\pm$ 0.99	33.91 $\pm$ 2.51
	25 $\leq \Delta$**M** $<$ **35** GeV/c^2				
Obs. events:	0	4	11	4	19
Exp. events:	0.26 $\pm$ 0.94	5.81 $\pm$ 0.97	13.00 $\pm$ 1.19	2.85 $\pm$ 0.99	21.91 $\pm$ 2.06
	35 $\leq \Delta$**M** $<$ **50** GeV/c^2				
Obs. events:	0	21	24	2	47
Exp. events:	0.94 $\pm$ 0.95	17.48 $\pm$ 1.04	25.81 $\pm$ 1.29	1.71 $\pm$ 0.97	45.94 $\pm$ 2.14
	50 $\mathrm{GeV}/c^2 \leq \Delta$**M**				
Obs. events:	1	27	24	2	54
Exp. events:	1.32 $\pm$ 0.96	21.80 $\pm$ 1.06	19.74 $\pm$ 1.06	1.71 $\pm$ 0.97	44.57 $\pm$ 2.02

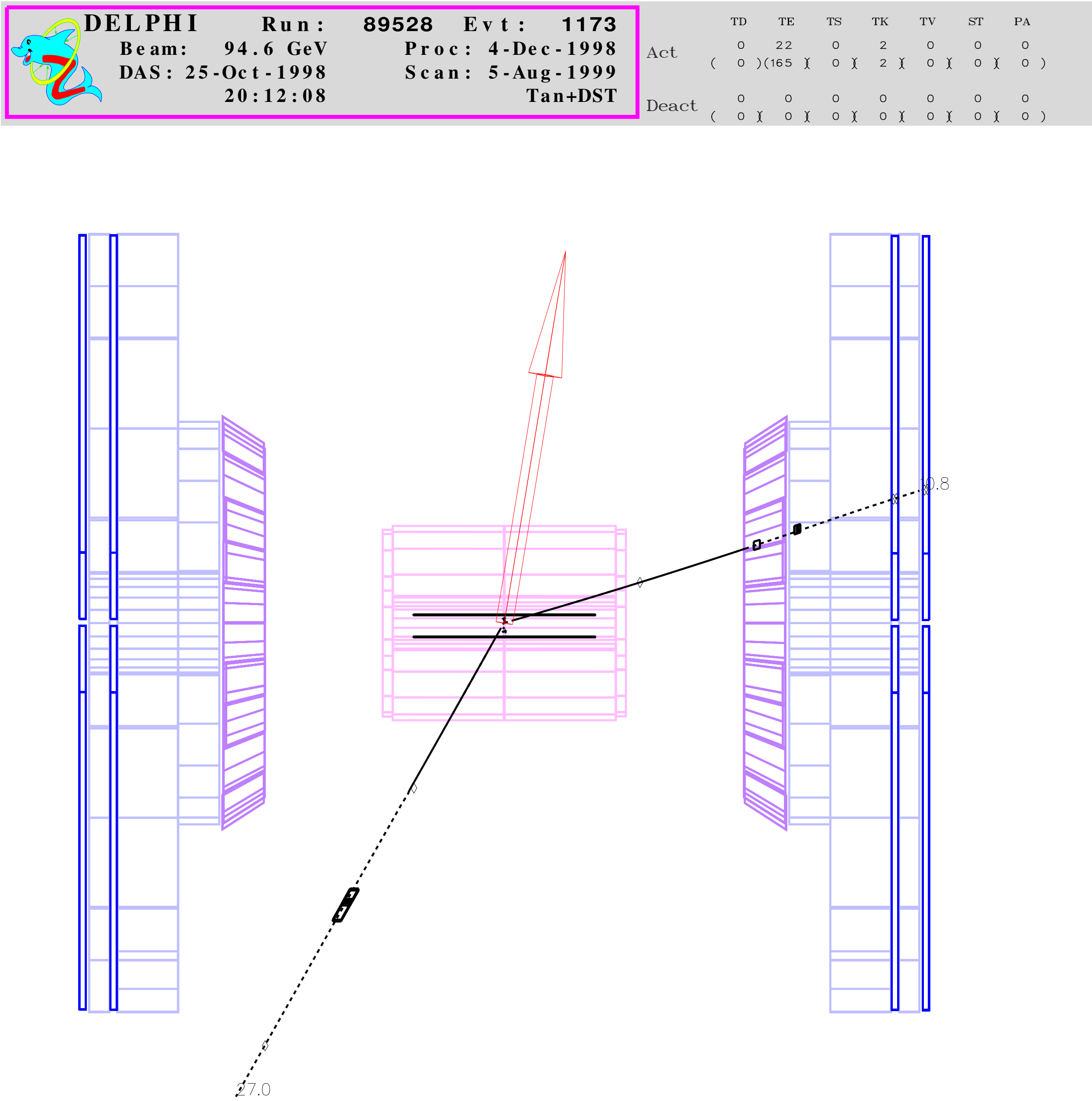
RESULTADOS $\tilde{G}$ LSP

$E_{cm} = 189$ GeV, $\mathcal{L} = 158$ pb^{-1} "Escenario Gravitino LSP"

	$\Delta M > 10 \mathrm{GeV}/c^2$	$5 \leq \Delta M \leq 10 \mathrm{GeV}/c^2$	$\Delta M < 5 \mathrm{GeV}/c^2$
Obs. events:	14	6	4
Expect. events:	15.1 ± 1.3	2.6 ± 1.0	2.2 ± 1.0

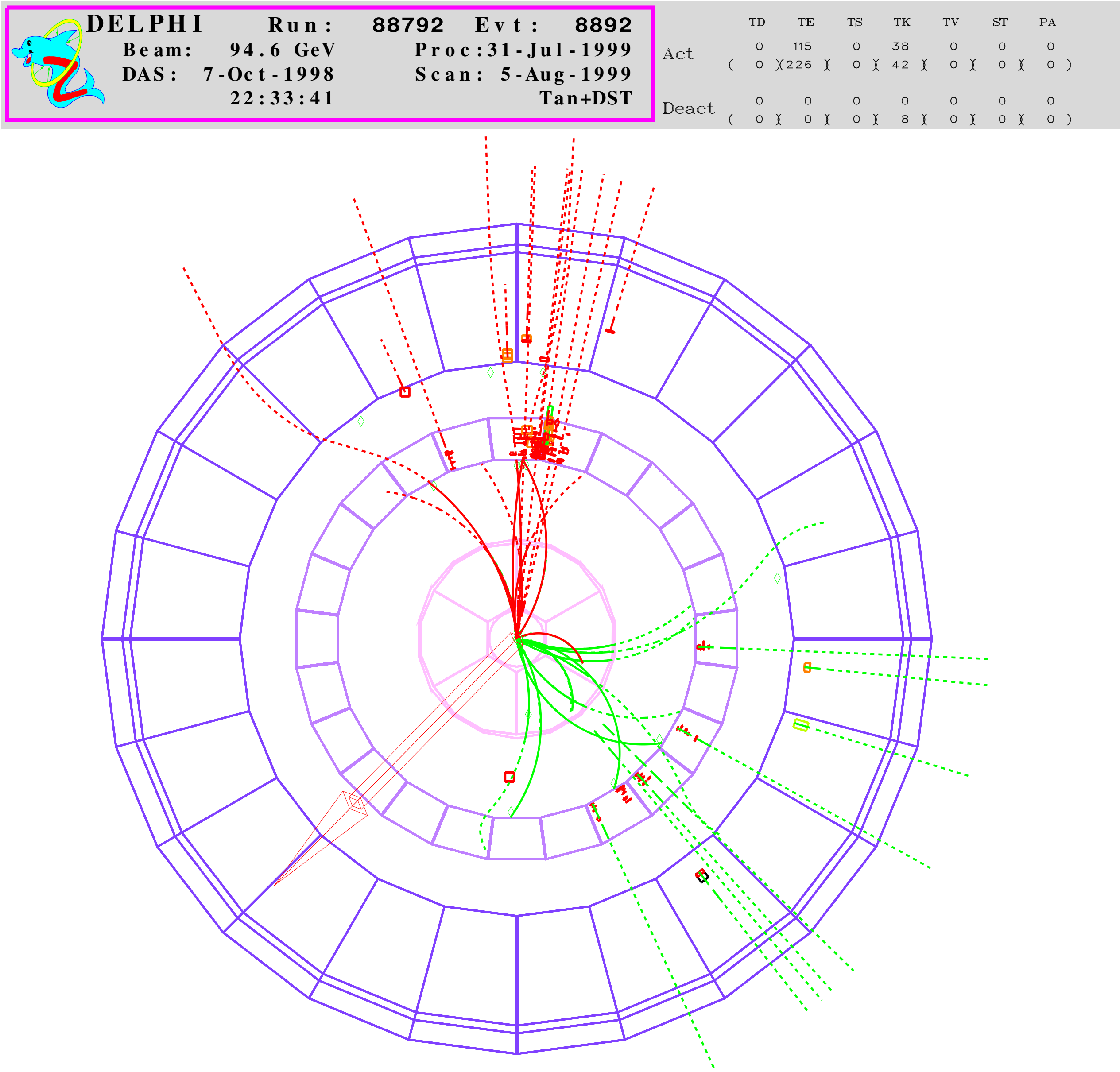
No hay evidencia de Supersimetría

Candidato $\ell\ell$ (189 GeV)



$$(p,\theta,\phi) = (27.0 \text{ GeV/c}, 118.7^\circ, 257.1^\circ)$$
$$(p,\theta,\phi) = (10.8 \text{ GeV/c}, 27.3^\circ, 33.8^\circ)$$
$$\not{P}_t = 20.4 \text{ GeV/c}$$

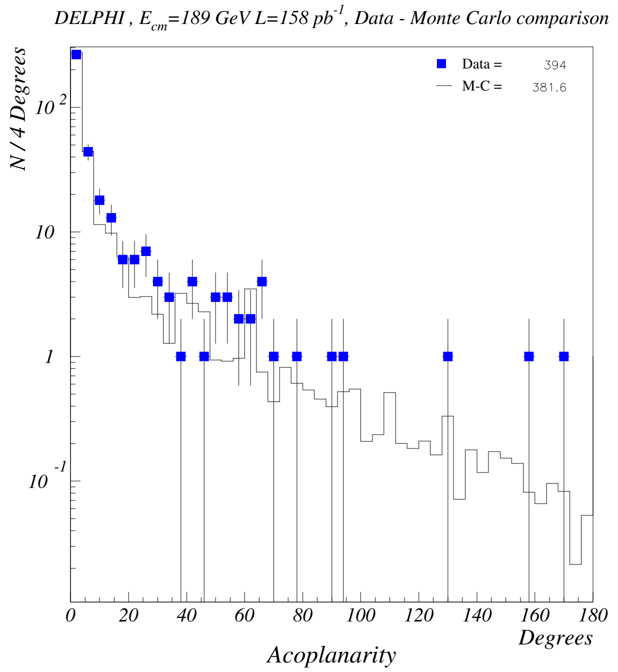
Candidato *jets* (189 GeV)

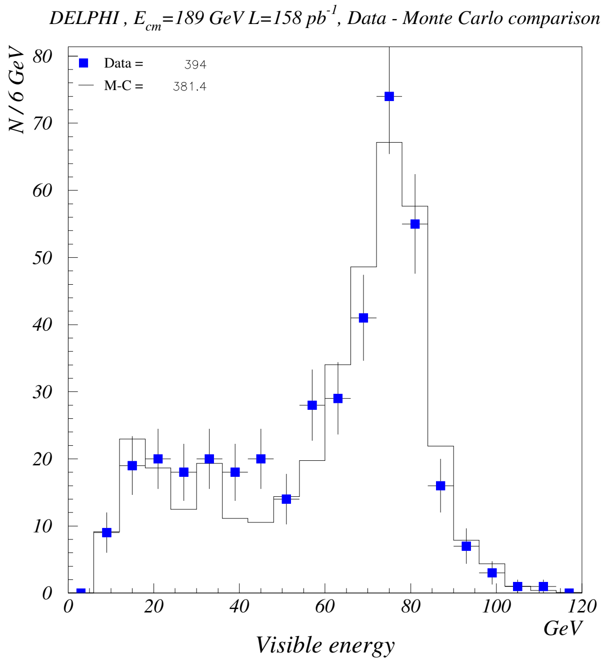


$$\text{Colinealidad} = 120.9^\circ$$
$$\text{Acoplanaridad} = 56.4^\circ$$
$$\text{M}_{inv}(jets) = 53.1\ \text{GeV/c}^2$$
$$\not{P}_t = 29.3\ \text{GeV/c}$$

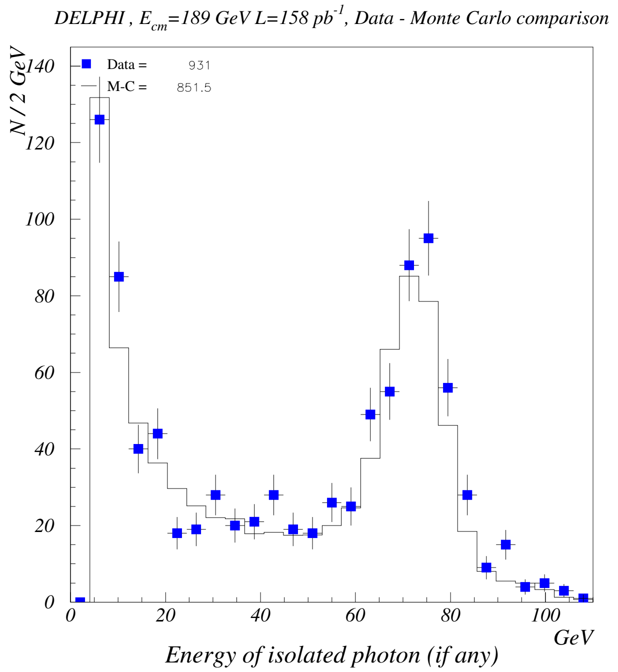
COMPARACIÓN DATOS-MC
nivel preselección

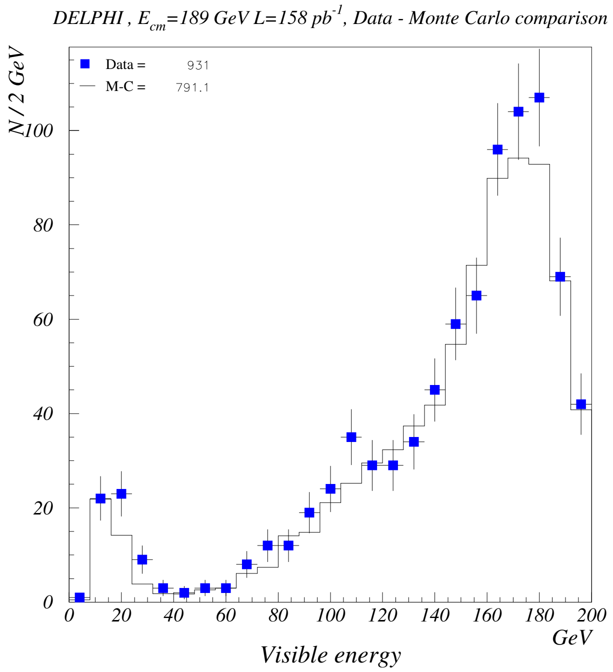
topología *jets* $35 \leq \Delta M < 50$





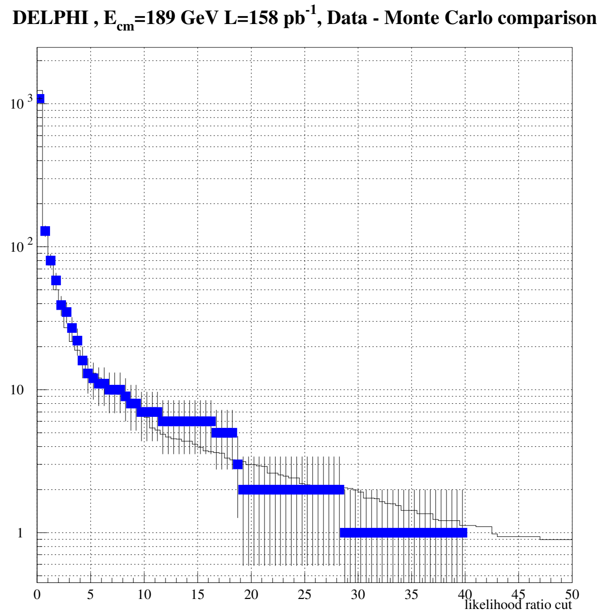
topología radiativa $35 \leq \Delta M$



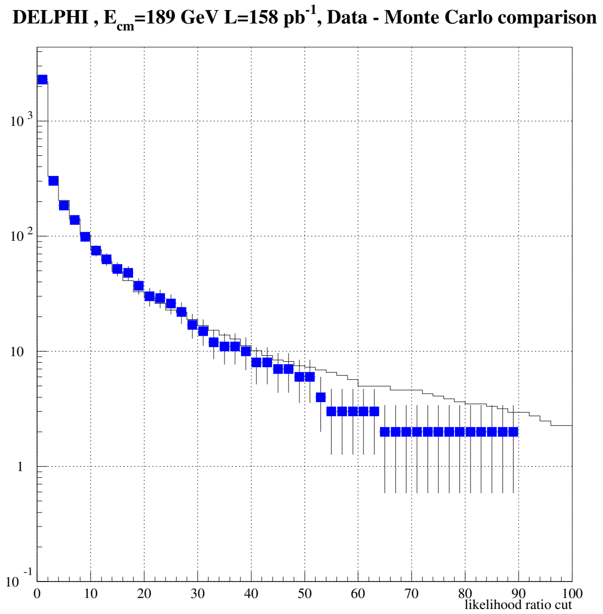


COMPARACIÓN DATOS-MC
en función del $\mathcal{L}_{cut}$

topología $\jmath\jmath\ell$ $35 \leq \Delta M < 50$



topología $\ell\ell$ $3 \leq \Delta M < 5$



Si $\mathrm{N}_{esp} > \mathrm{N}^{95\%}_{obs} \Rightarrow$ Punto MSSM EXCLUÍDO

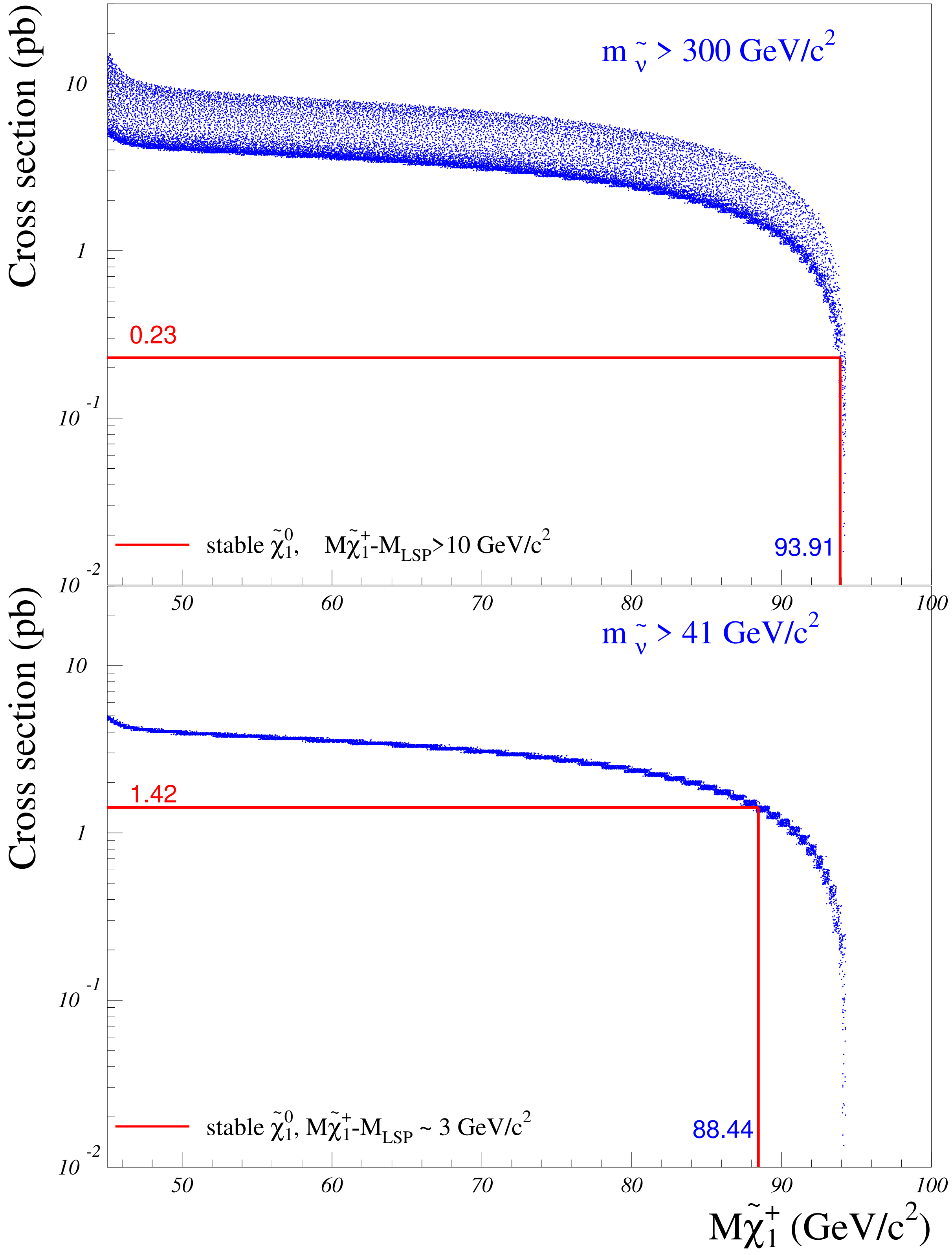
- Se combinan las diferentes topologías:

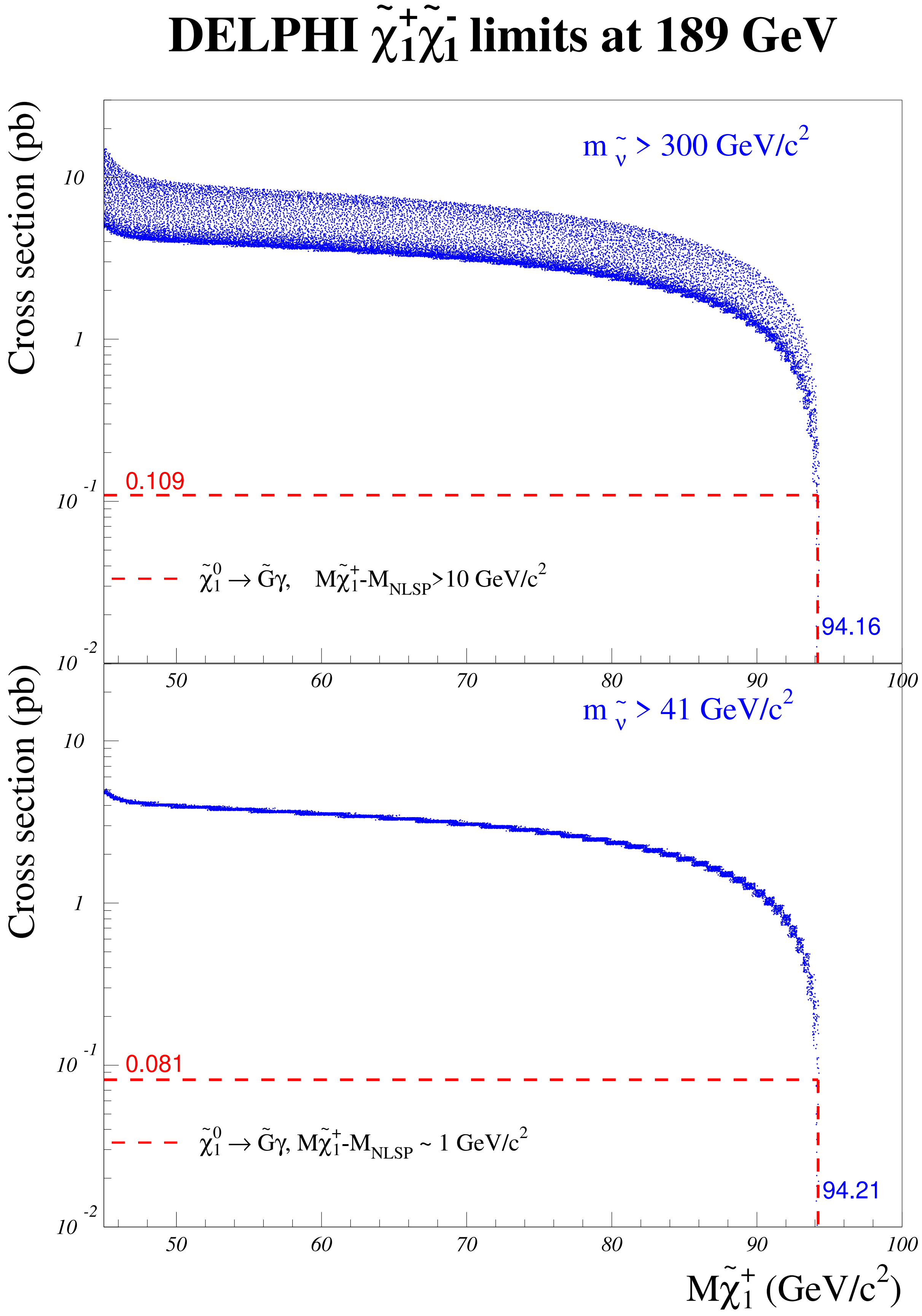
  método multi–canal

- Canal = conjunto de cortes de selección (diferentes para cada topología $\rightarrow \Delta$M)
- 8 canales a $\sqrt{s} = 189$ GeV:
  - 4 canales (cortes *jets*, $\jmath\jmath\ell$, $\ell\ell$ y radiativos) para $\Delta\mathrm{M} = M_{\tilde{\chi}^{\pm}_1} - M_{\tilde{\chi}^0_1}$
  - 4 canales (cortes *jets*, $\jmath\jmath\ell$, $\ell\ell$ y radiativos) para $\Delta\mathrm{M}_2 = M_{\tilde{\chi}^{\pm}_1} - M_{\tilde{\chi}^0_2}$
- 4 canales a $\sqrt{s} = 183$ GeV si $M_{\tilde{\chi}^{\pm}_1} < 183/2\ \mathrm{GeV}/c^2$
- $\mathrm{N}^{obs}_{\alpha}$, $\mathrm{N}^{esp}_{\alpha}$ y $\mathrm{P}_{\alpha} \Rightarrow \mathrm{N}^{95\%}_{obs}$
- $\mathrm{N}_{esp} = \sum_{\sqrt{s}=183,189} \epsilon_{tot} \cdot \mathcal{L} \cdot \sigma$
- Barrido:

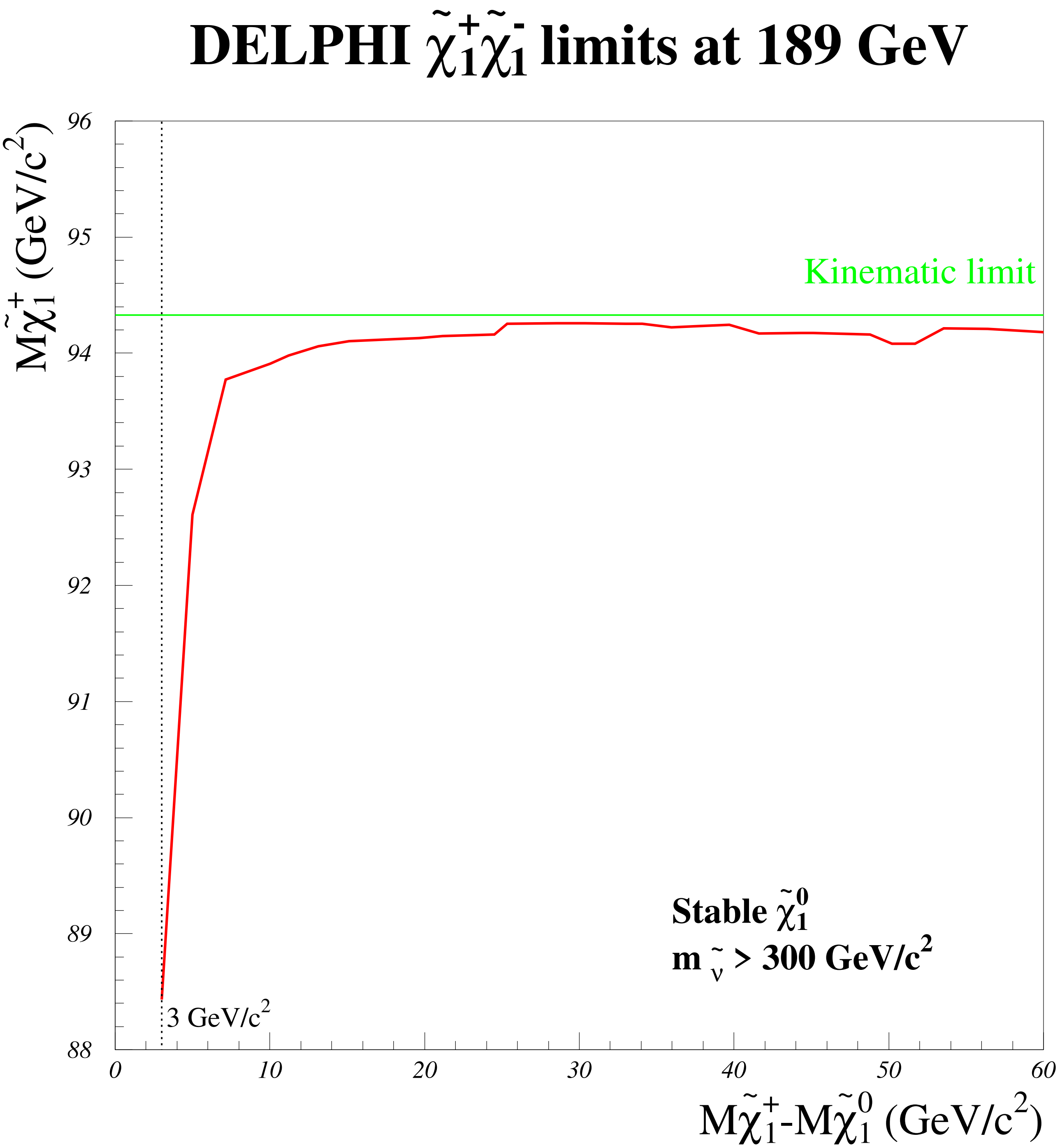
$$\boxed{\begin{array}{c} 0\ \mathrm{GeV}/c^2 \leq M_2 \leq 3000\ \mathrm{GeV}/c^2 \\ -200\ \mathrm{GeV}/c^2 \leq \mu \leq 200\ \mathrm{GeV}/c^2 \\ \tan\beta = 1\ ,\ 1.5\ ,\ 35 \\ m_{\tilde{\nu}} > 41\ \mathrm{GeV}/c^2 \\ m_{\tilde{\nu}} > 300\ \mathrm{GeV}/c^2 \end{array}}$$

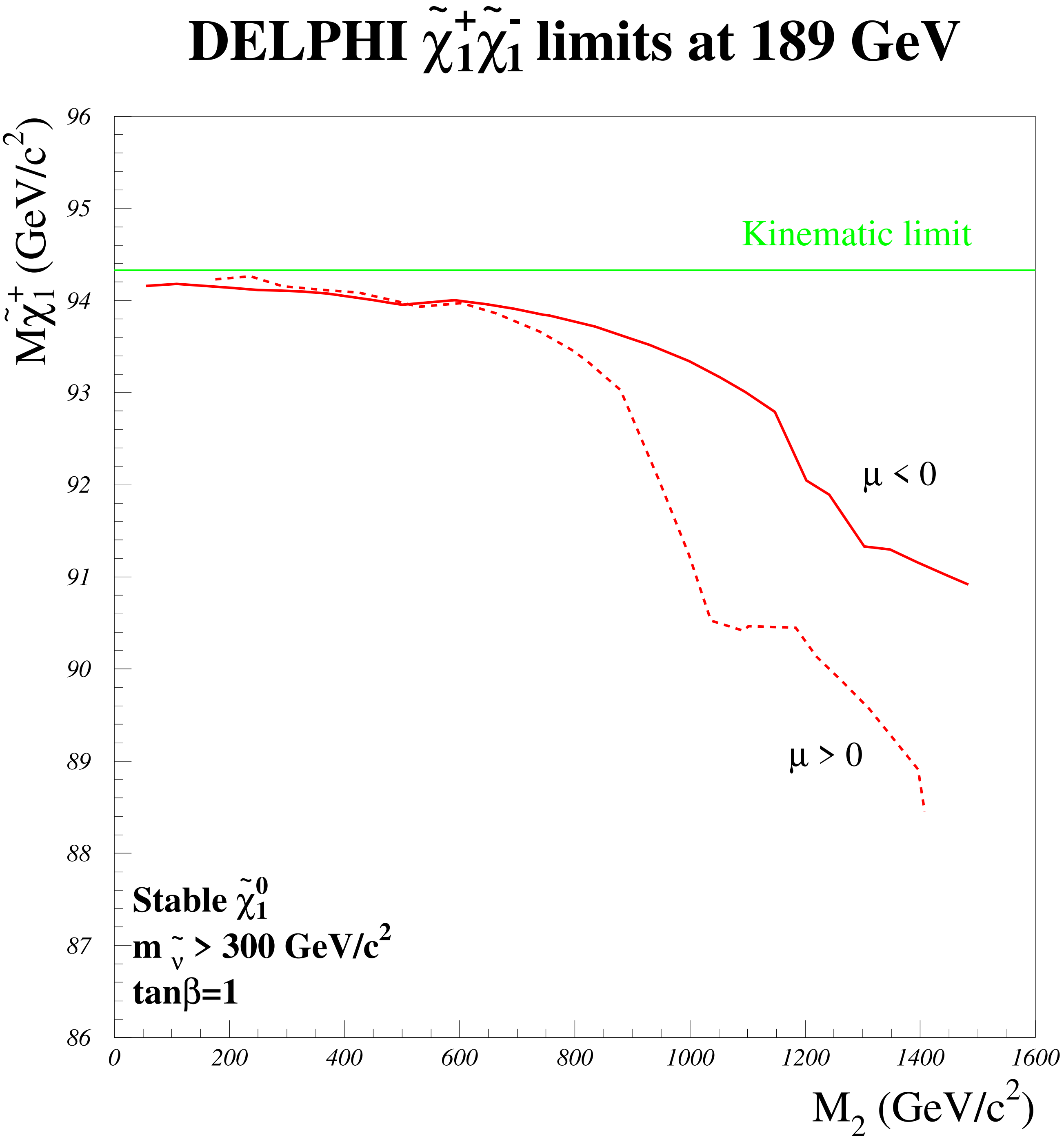
DELPHI $\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-$ limits at 189 GeV

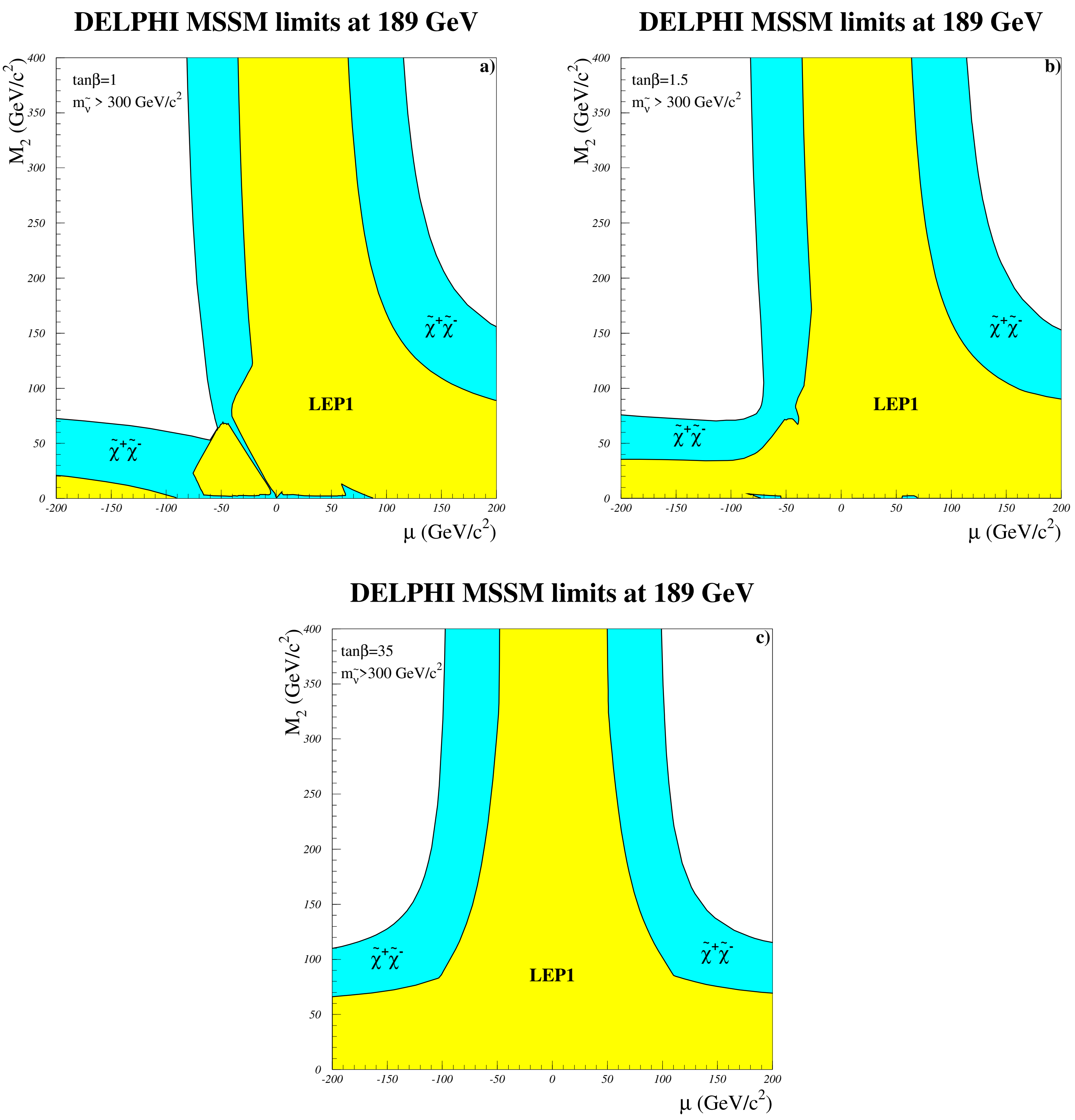


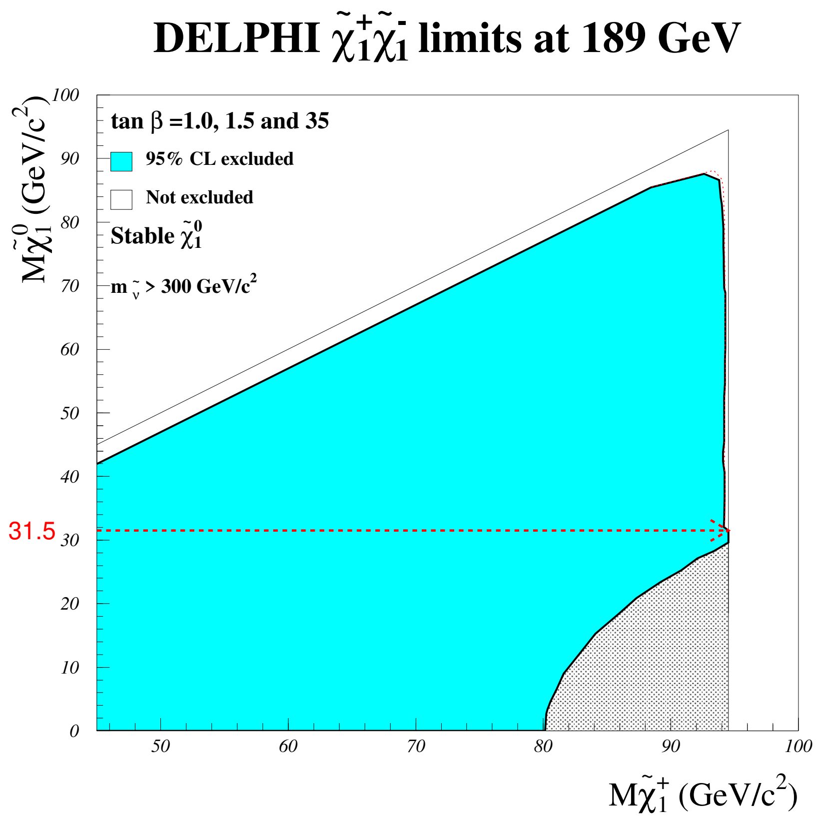

DELPHI $\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-$ limits at 189 GeV
Cross section (pb)
$m_{\tilde{\nu}}$ > 300 GeV/c^2
0.109
$\tilde{\chi}_1^0 \to \tilde{G}\gamma$, $M\tilde{\chi}_1^+ - M_{NLSP}$>10 GeV/$c^2$
94.16
$m_{\tilde{\nu}}$ > 41 GeV/c^2
0.081
$\tilde{\chi}_1^0 \to \tilde{G}\gamma$, $M\tilde{\chi}_1^+ - M_{NLSP}$ ~ 1 GeV/c^2
94.21
$M\tilde{\chi}_1^+$ (GeV/c^2)

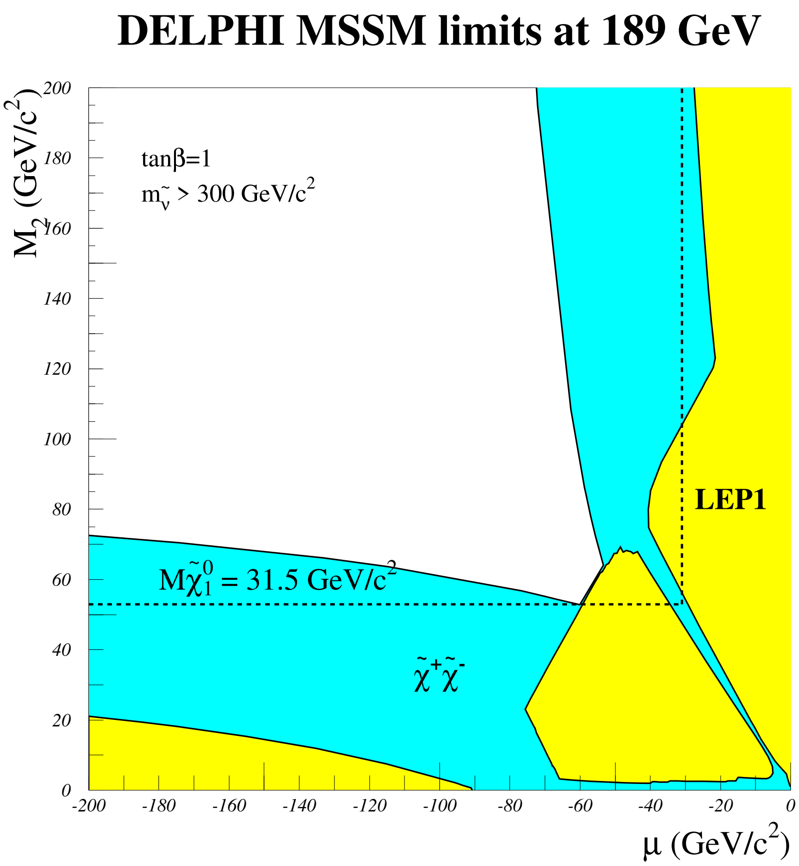
Caso	$m_{\tilde{\nu}}$ (GeV/c^2)	$\mathbf{M}_{\chi^\pm}^{min}$ (GeV/c^2)	σ^{max} (pb)
Neutralino estable			
ΔM > 20 GeV/c^2	$>$ 300	94.1	0.13
ΔM > 10 GeV/c^2	$>$ 300	93.9	0.23
ΔM $= 3$ GeV/c^2	$>$ 41	88.4	1.42
Neutralino inestable			
ΔM > 10 GeV/c^2	$>$ 300	94.2	0.11
ΔM $= 1$ GeV/c^2	$>$ 41	94.2	0.08


DELPHI $\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-$ limits at 189 GeV
$M\tilde{\chi}_1^+$ (GeV/c^2)
96
95
94
93
92
91
90
89
88
Kinematic limit
Stable $\tilde{\chi}_1^0$
$m_{\tilde{\nu}}$ > 300 GeV/c^2
3 GeV/c^2
0
10
20
30
40
50
60
$M\tilde{\chi}_1^+$-$M\tilde{\chi}_1^0$ (GeV/c^2)


DELPHI $\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-$ limits at 189 GeV
$M\tilde{\chi}_1^+$ (GeV/c^2)
Kinematic limit
μ < 0
μ > 0
Stable $\tilde{\chi}_1^0$
$m_{\tilde{\nu}}$ > 300 GeV/c^2
tanβ=1
M_2 (GeV/c^2)
96
95
94
93
92
91
90
89
88
87
86
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600


DELPHI MSSM limits at 189 GeV
a)
tanβ=1
$m_{\tilde{\nu}}$ > 300 GeV/c²
LEP1
$\tilde{\chi}^+\tilde{\chi}^-$
$\tilde{\chi}^+\tilde{\chi}^-$
M₂ (GeV/c²)
μ (GeV/c²)
DELPHI MSSM limits at 189 GeV
b)
tanβ=1.5
$m_{\tilde{\nu}}$ > 300 GeV/c²
LEP1
$\tilde{\chi}^+\tilde{\chi}^-$
$\tilde{\chi}^+\tilde{\chi}^-$
M₂ (GeV/c²)
μ (GeV/c²)
DELPHI MSSM limits at 189 GeV
c)
tanβ=35
$m_{\tilde{\nu}}$>300 GeV/c²
LEP1
$\tilde{\chi}^+\tilde{\chi}^-$
$\tilde{\chi}^+\tilde{\chi}^-$
M₂ (GeV/c²)
μ (GeV/c²)


DELPHI $\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-$ limits at 189 GeV
tan β =1.0, 1.5 and 35
95% CL excluded
Not excluded
Stable $\tilde{\chi}_1^0$
$m_{\tilde{\nu}}$ > 300 GeV/c^2
31.5
$M\tilde{\chi}_1^0$ (GeV/c^2)
$M\tilde{\chi}_1^+$ (GeV/c^2)


DELPHI MSSM limits at 189 GeV
tanβ=1
$m_{\tilde{\nu}}$ > 300 GeV/c^2
$M\tilde{\chi}_1^0$ = 31.5 GeV/c^2
$\tilde{\chi}^+\tilde{\chi}^-$
LEP1
M_2 (GeV/c^2)
μ (GeV/c^2)

- Búsqueda de charginos con los datos recogidos por DELPHI a $E_{cm} = 183 - 189$ GeV en dos escenarios dentro del MSSM:
  - ✔ $\tilde{\chi}_1^0$ LSP (MSUGRA)
  - ✔ $\tilde{G}$ LSP (GMSB)
- Desarrollo de un nuevo análisis basado en el método "Likelihood Ratio":
  - ✔ optimización del análisis a alta luminosidad
  - ✔ sensibilidad del método depende de un sólo parámetro
  - ✔ proporciona la mejor sección eficaz de exclusión o descubrimiento a un nivel de confianza dado
  - ✔ mejores resultados que el método secuencial
- Buen acuerdo entre datos y Monte Carlo
- No hay evidencia de Supersimetría
- Nuevos límites de exclusión en:
  - ✔ la masa y sección eficaz de producción de los charginos
  - ✔ el espacio de parámetros MSSM
  - ✔ el límite en la masa del neutralino ($M_{\tilde{\chi}_1^0} > 31.5\ \mathrm{GeV}/c^2$)