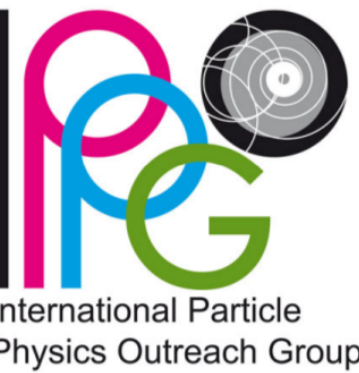


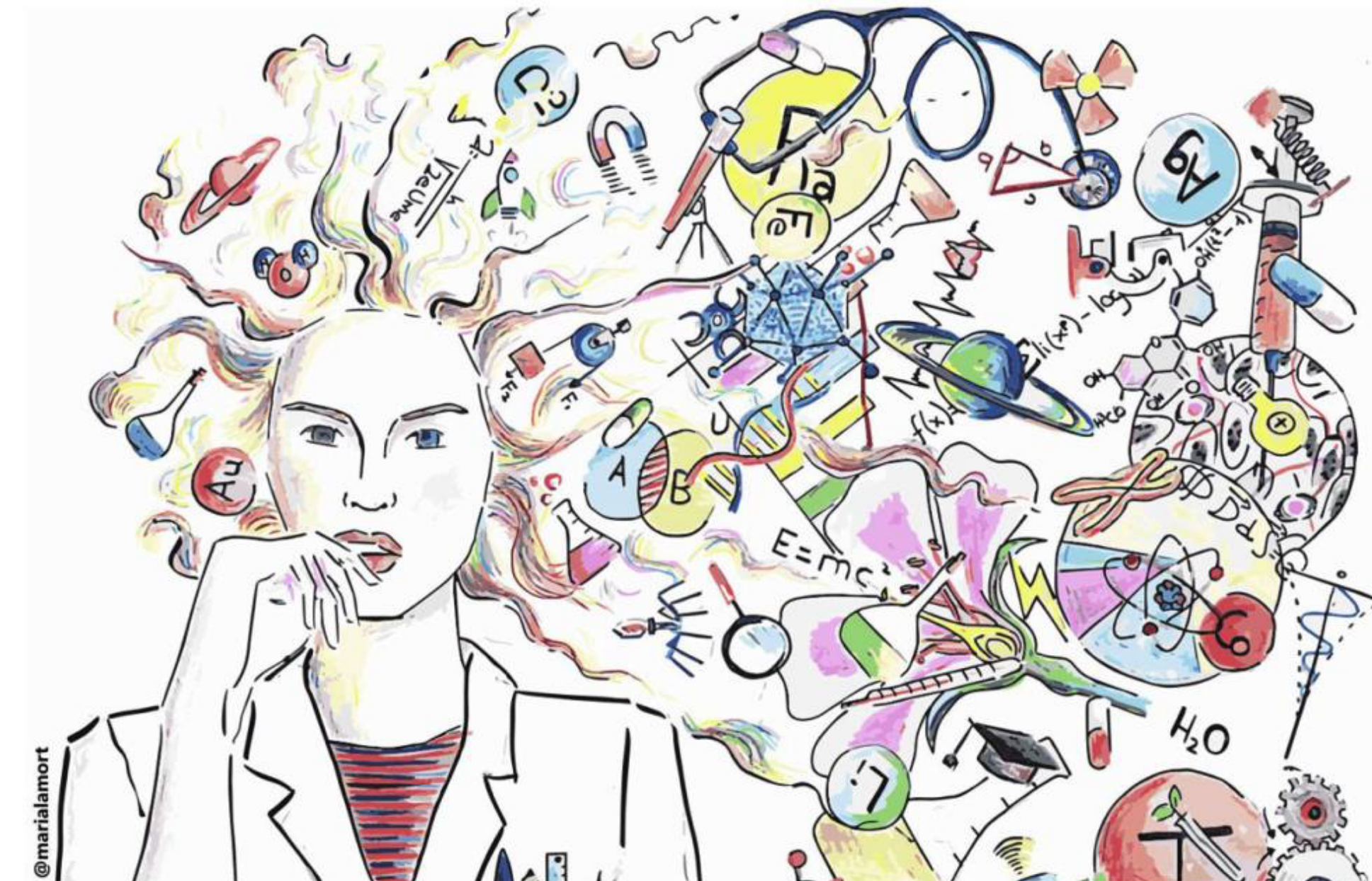


Recorrido del bosón Z en ATLAS

Emma Torró
IFIC

11 febrero 2025

Basado en transparencias de
Clara Remón y Clara Murgui



Componentes fundamentales de la materia

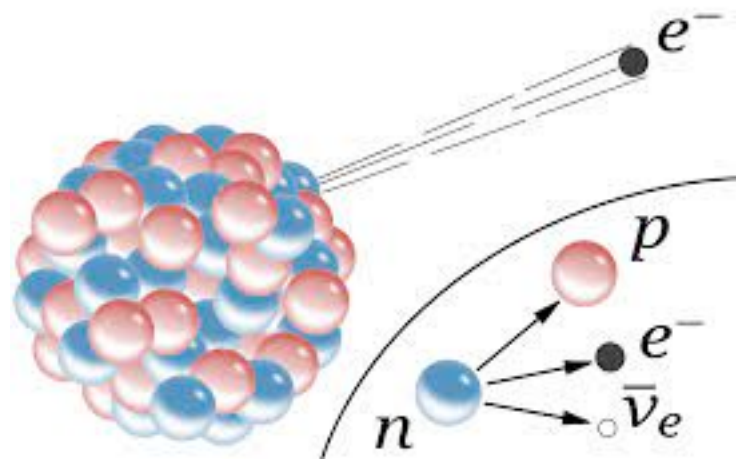
El modelo Estándar

	Fermions			Bosons	Force carriers
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	
	d down	s strange	b bottom	Z Z boson	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
	e electron	μ muon	τ tau	g gluon	

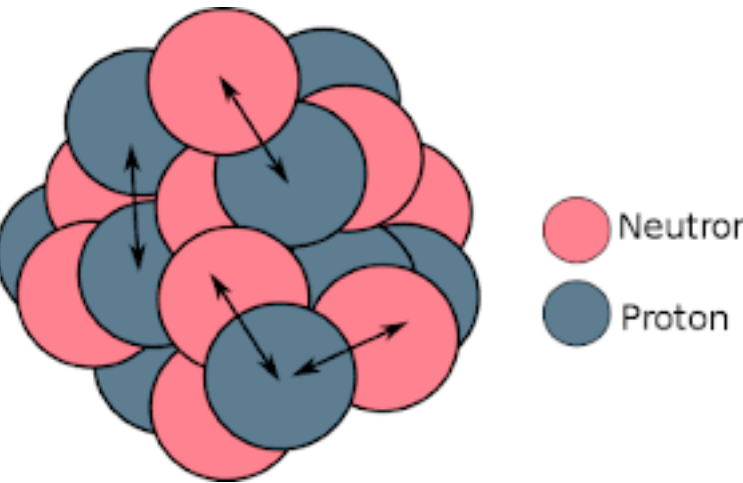
Interacción
electromagnética



Interacción nuclear débil



Interacción nuclear fuerte



Nuestro objetivo....

1. Redescubrir el bosón Z

El bosón Z

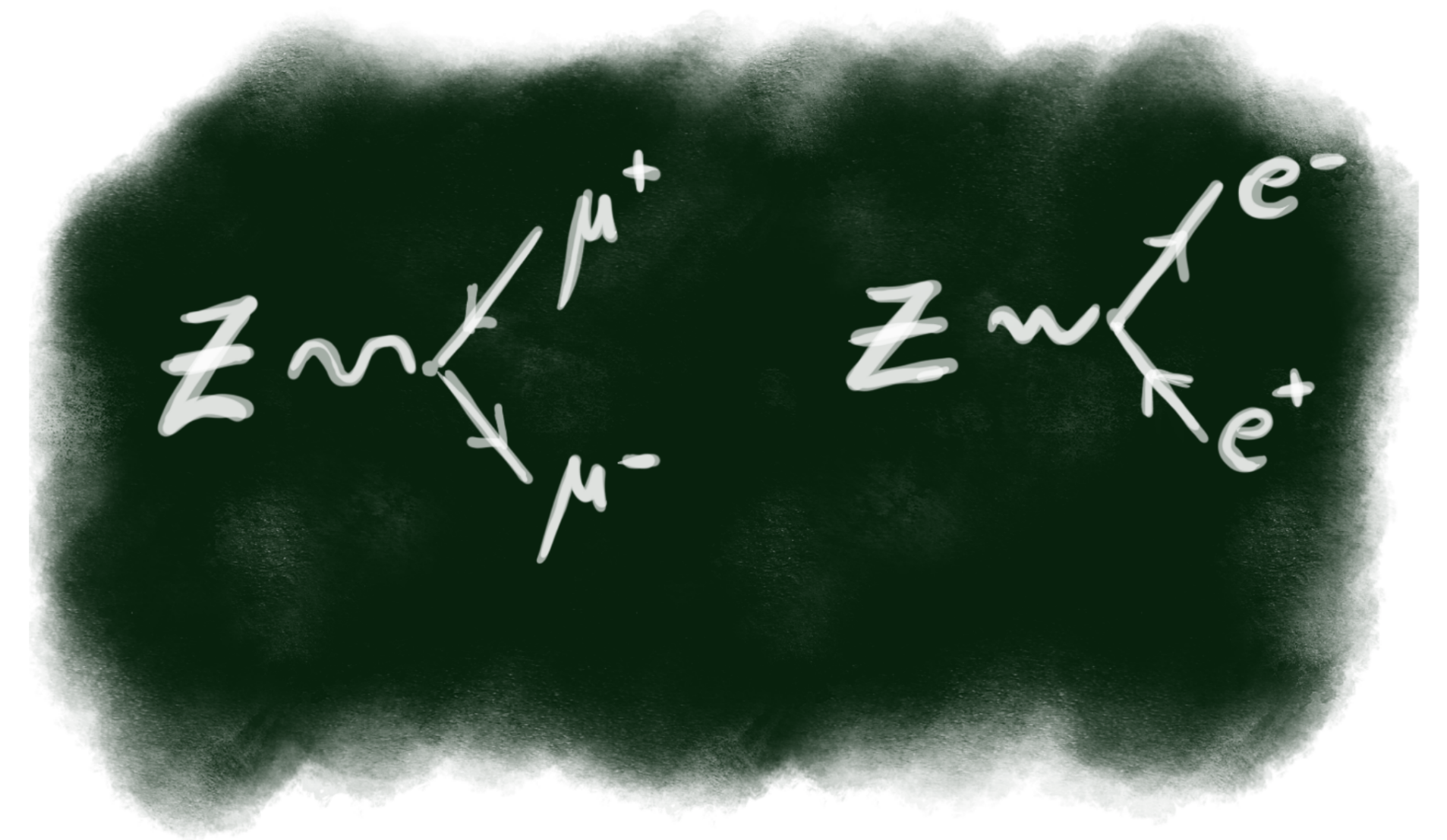


Masa: 91.2 GeV
Carga: neutra
Spin: 1

Vida media: tarda unos
0.00000000000000000000000003 segundos
en desintegrarse!!

El bosón Z es una partícula inestable

Detectamos sus productos de desintegración



Nuestro objetivo....

1. Redescubrir el bosón Z
2. Buscar el bosón de Higgs

El bosón H

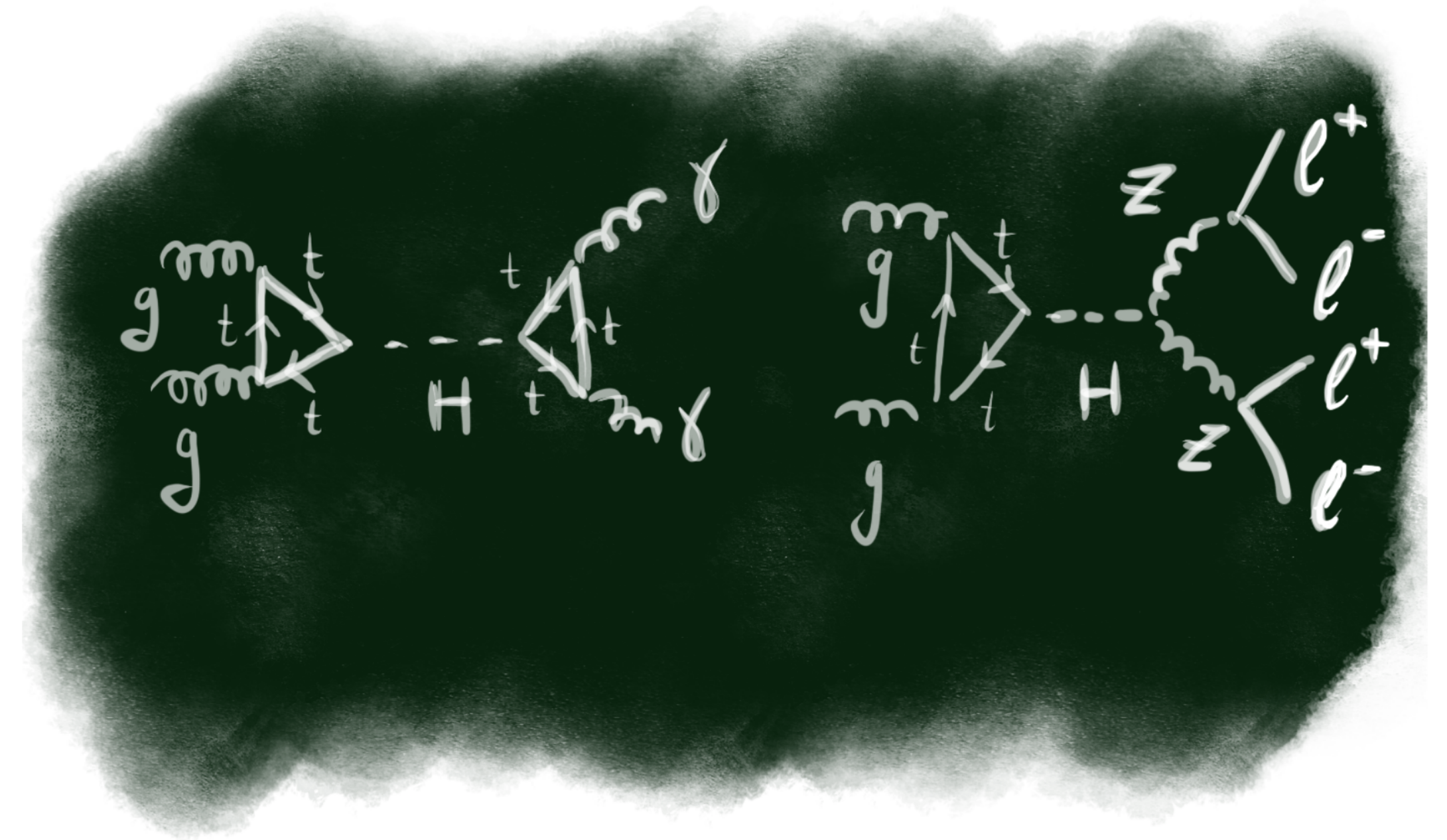


Masa: 125 GeV
Carga: neutra
Spin: 0
Descubierta en
2012!!

Vida media: tarda unos
0.000000000000000000000002 segundos
en desintegrarse!!

El bosón H también es una
partícula inestable

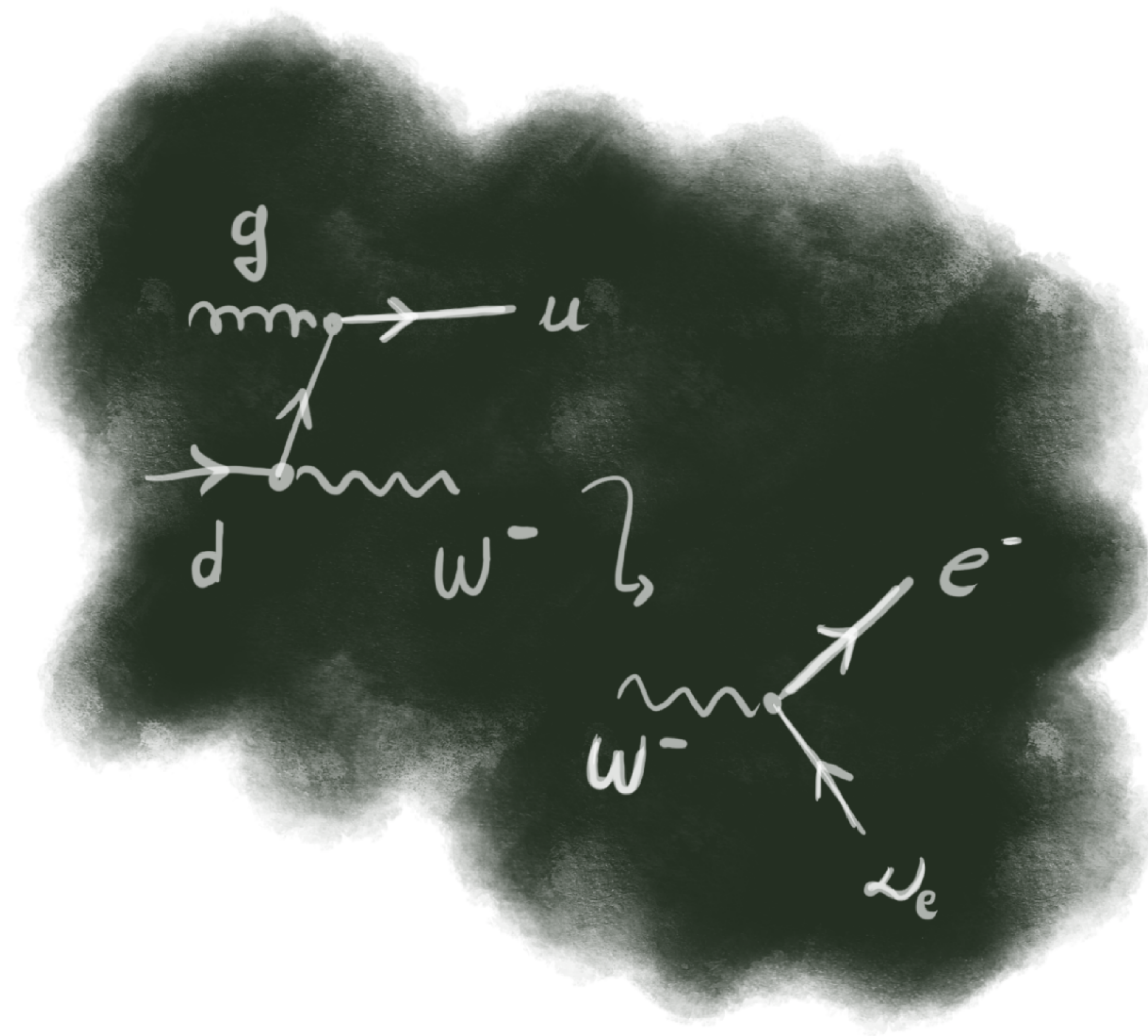
Detectamos sus productos de
desintegración



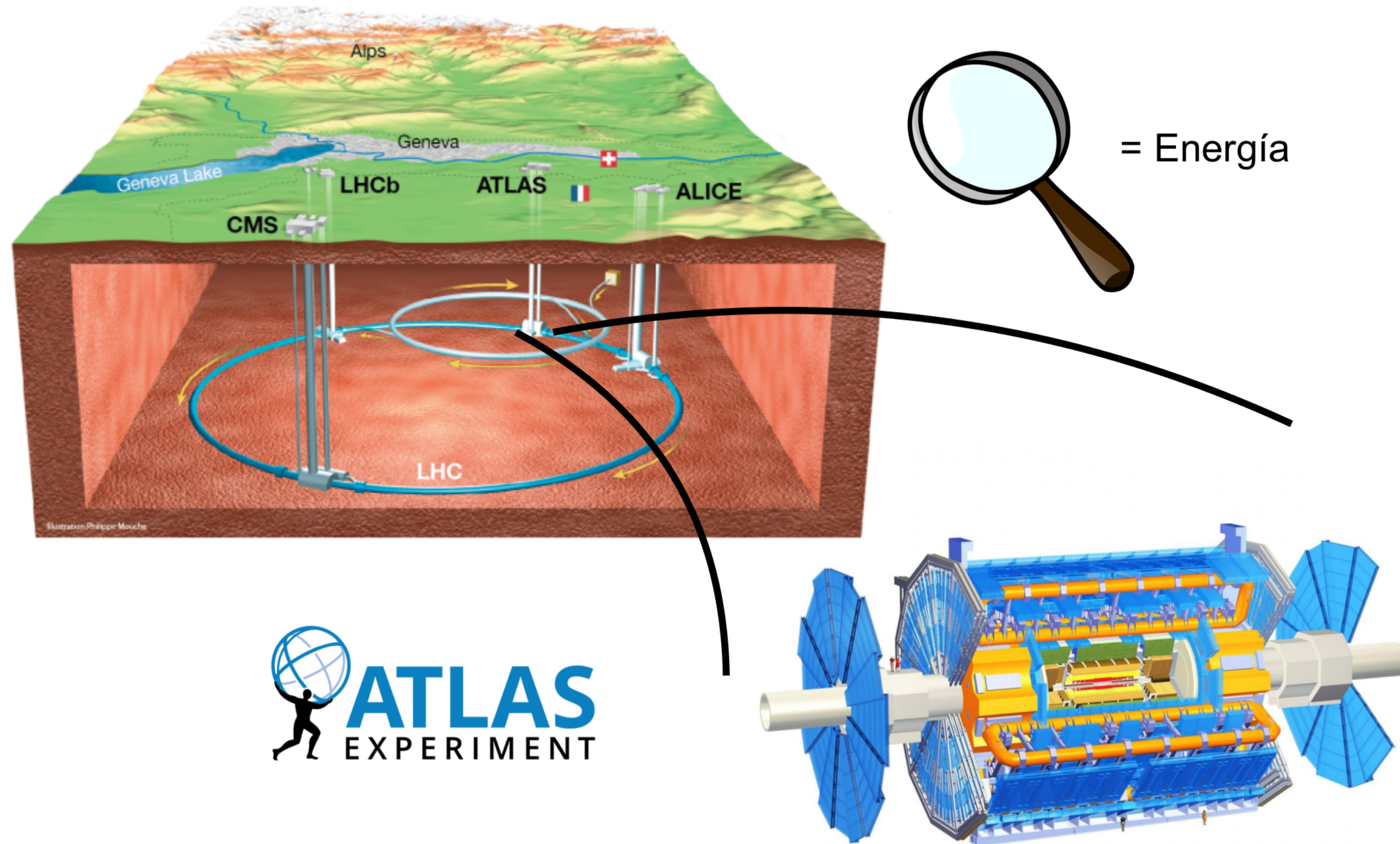
¿Qué más nos podemos encontrar?

“Background”

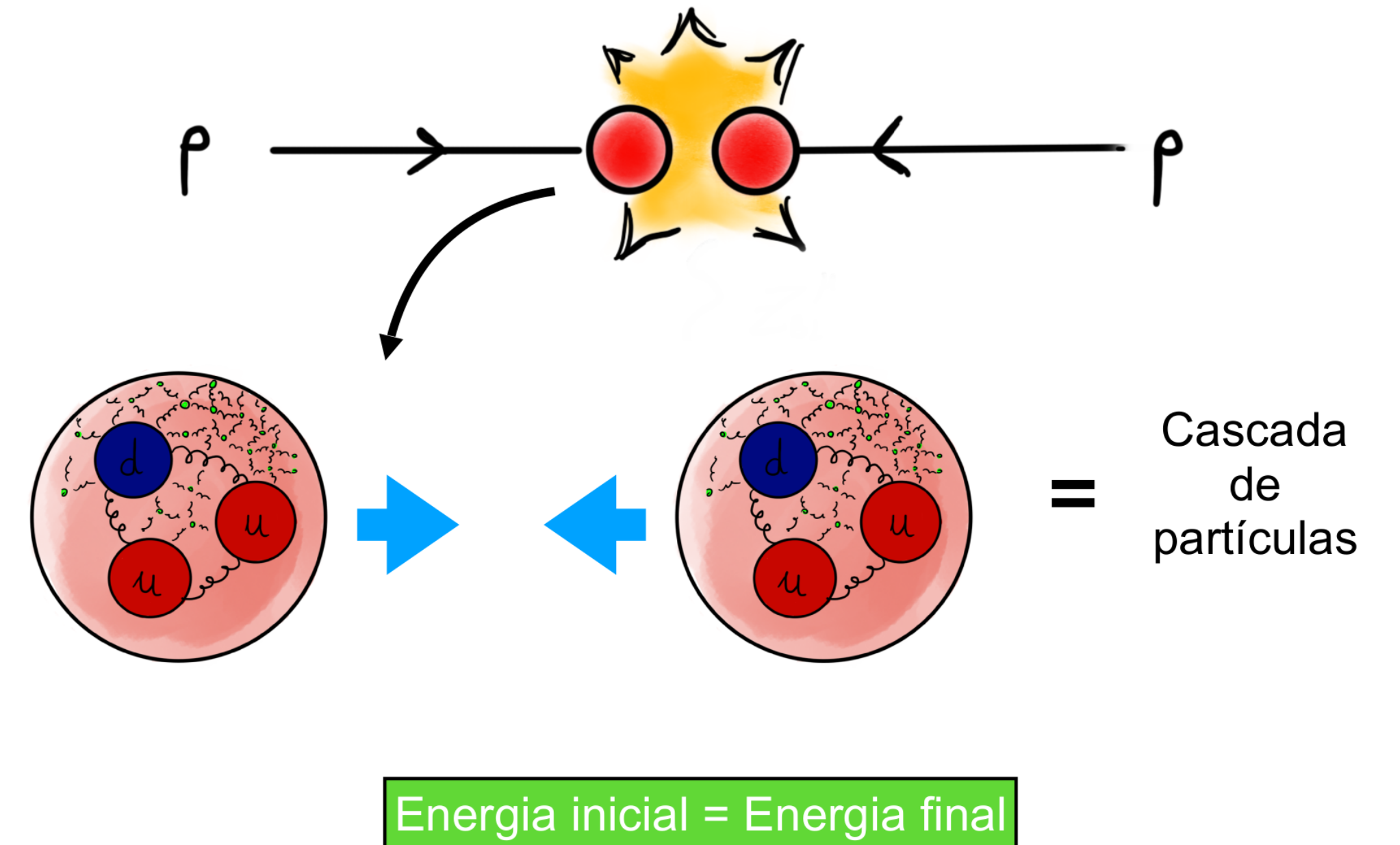
A parte de las partículas que queremos observar (Z y H),
otras partículas pueden aparecer en la colisión!



¿Cómo podemos “ver” partículas?



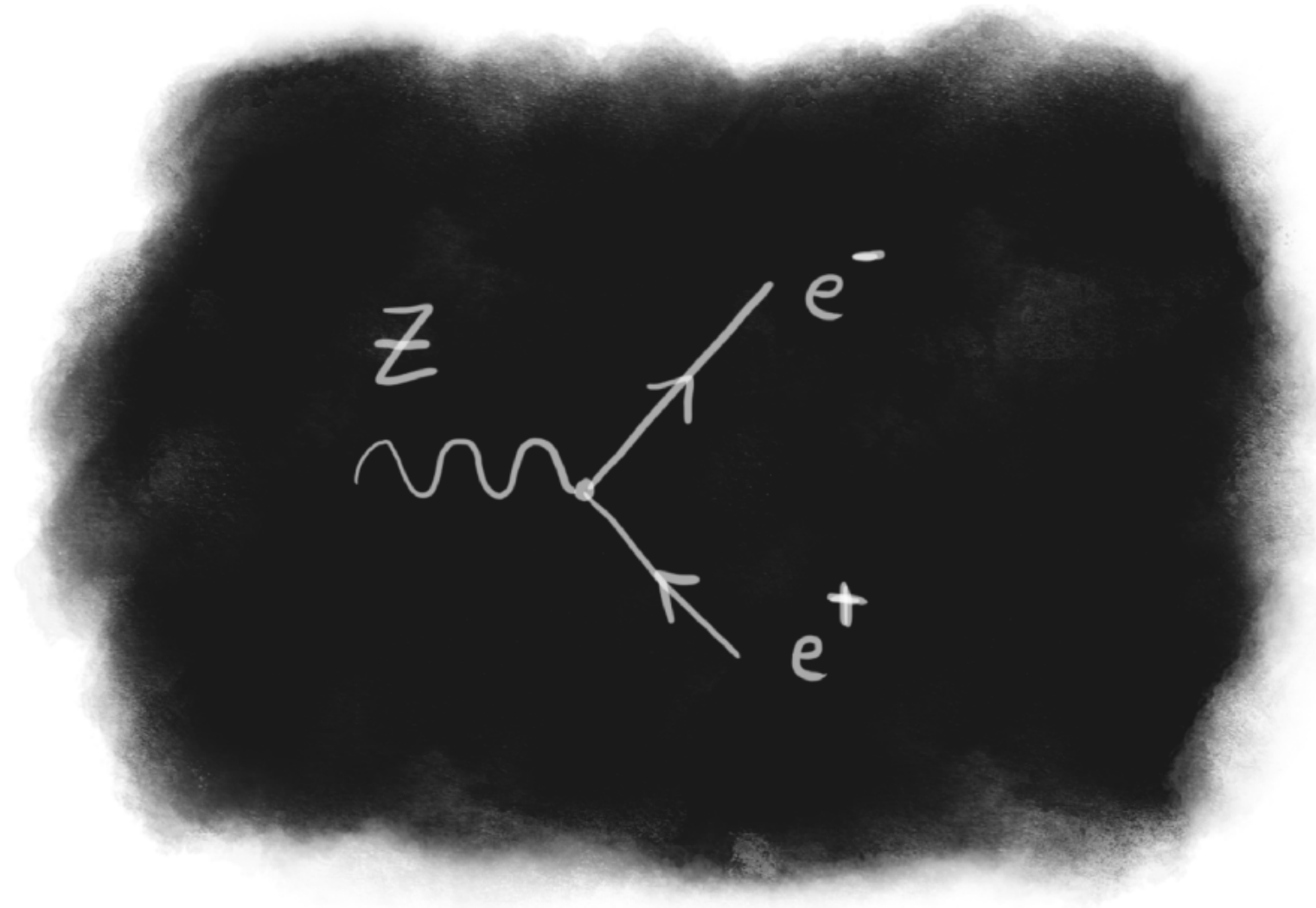
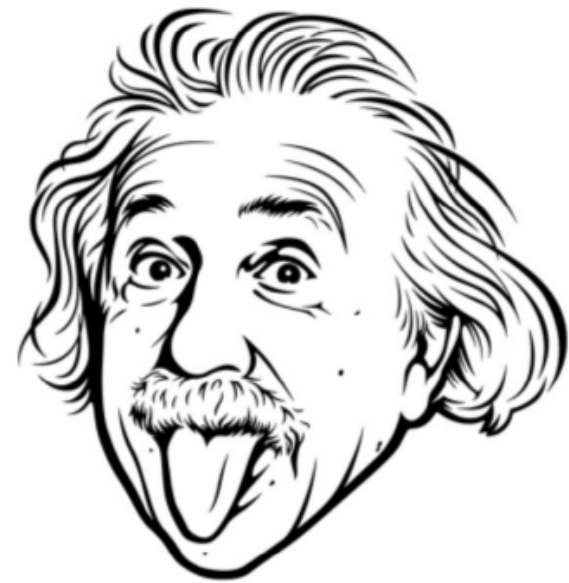
 **ATLAS**
EXPERIMENT



Masa Invariante

Energia inicial = Energia final

$$E = mc^2$$

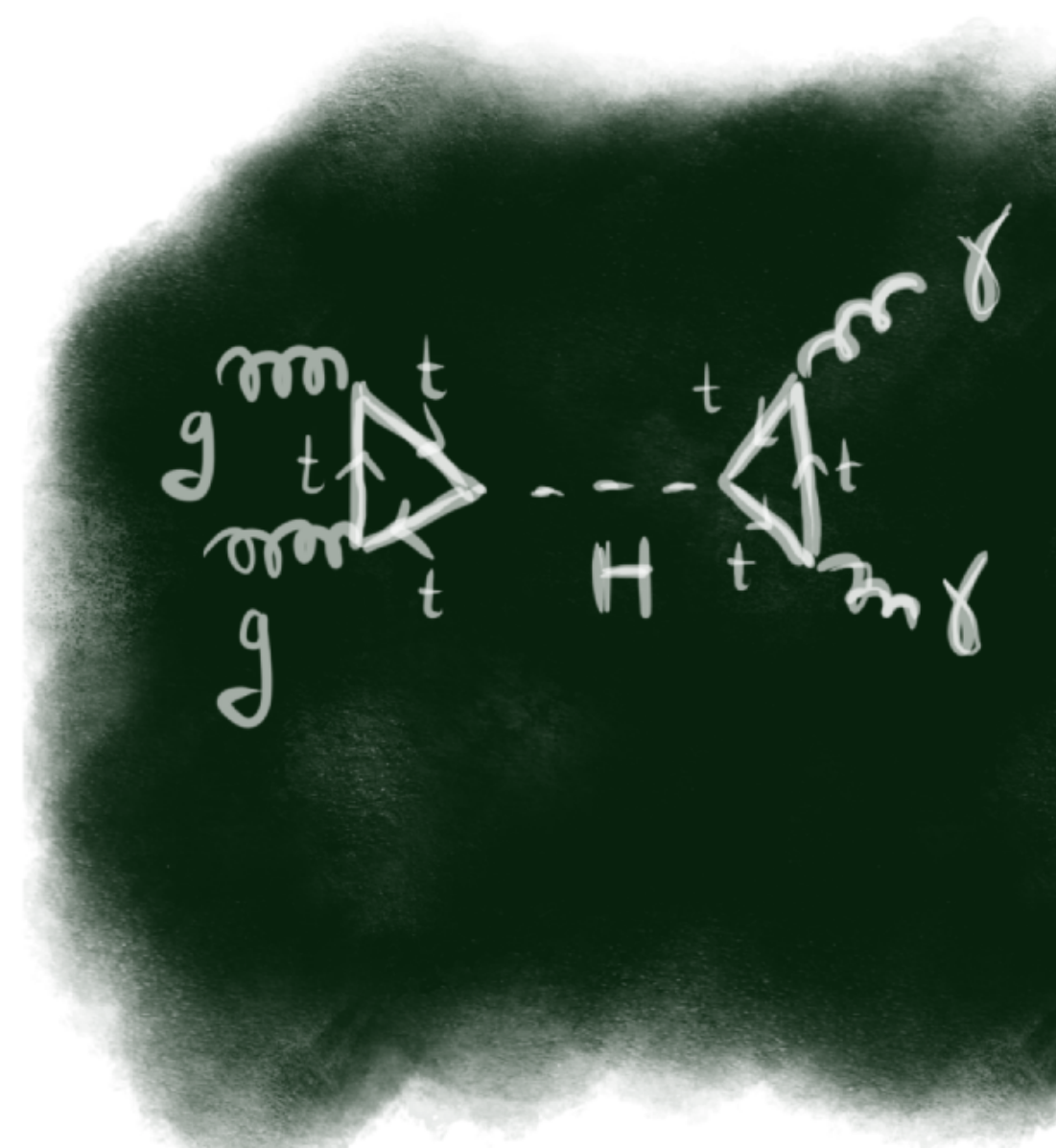
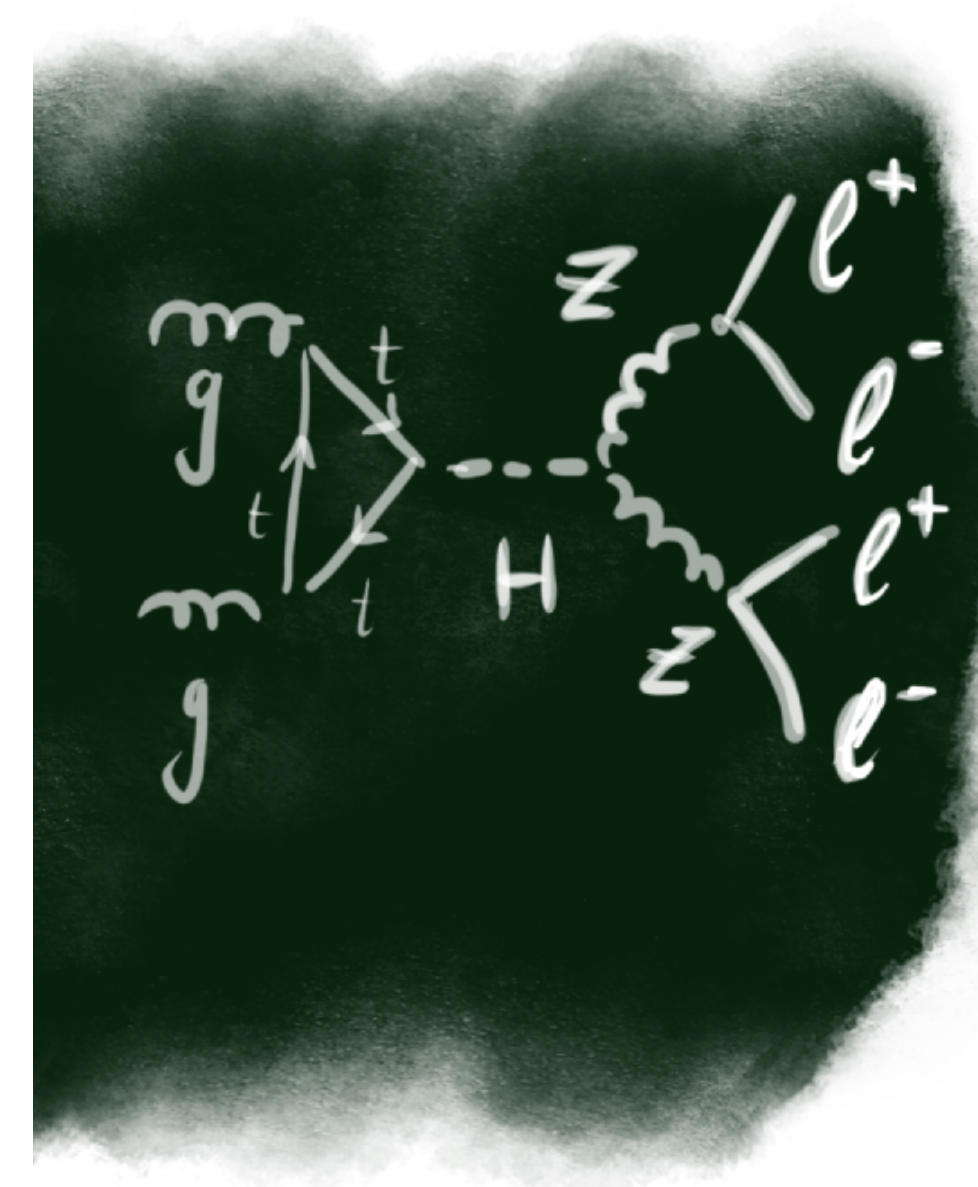


$$M_0^{(Z)} = \sqrt{\left(\frac{E_{e^-} + E_{e^+}}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{\vec{p}_{e^-} + \vec{p}_{e^+}}{c}\right)^2}$$

Masa Invariante

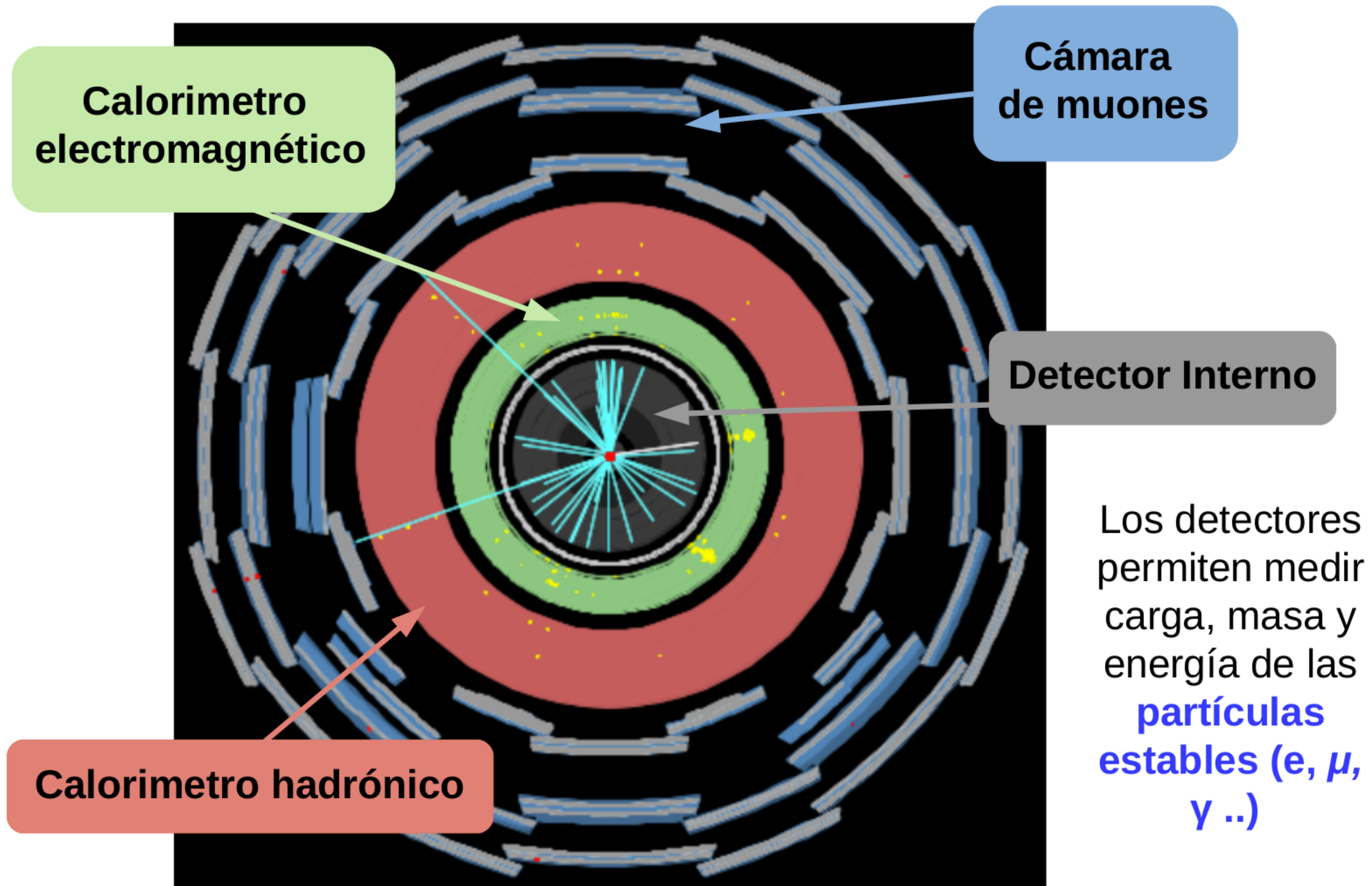
Energia inicial = Energia final

$$M_0^{(H)} = \sqrt{\left(\frac{E_\gamma + E_\gamma}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{\vec{p}_\gamma + \vec{p}_\gamma}{c}\right)^2}$$



$$M_0^{(H)} = \sqrt{\left(\frac{E_{\ell_1^+} + E_{\ell_1^-} + E_{\ell_2^+} + E_{\ell_2^-}}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{\vec{p}_{\ell_1^+} + \vec{p}_{\ell_1^-} + \vec{p}_{\ell_2^+} + \vec{p}_{\ell_2^-}}{c}\right)^2}$$

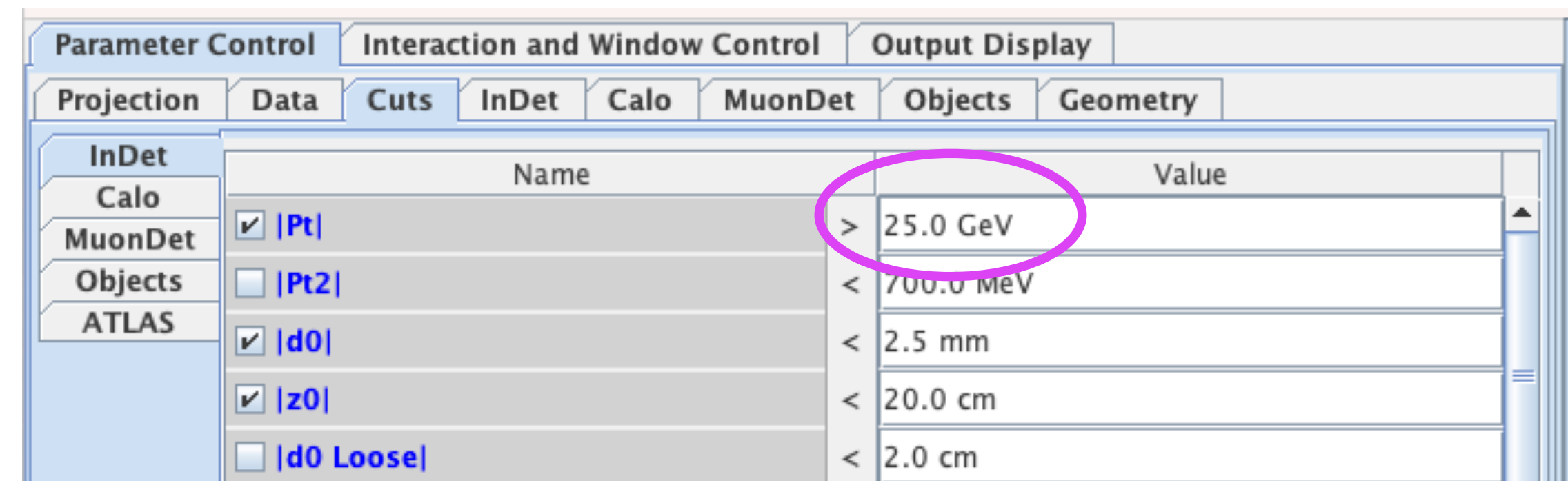
Visualización en Hypatia del detector ATLAS



¿En qué nos tenemos que fijar en Hypatia?

1: eliminemos las partículas con poca energía

Cuts: $pt > 25 \text{ GeV}$



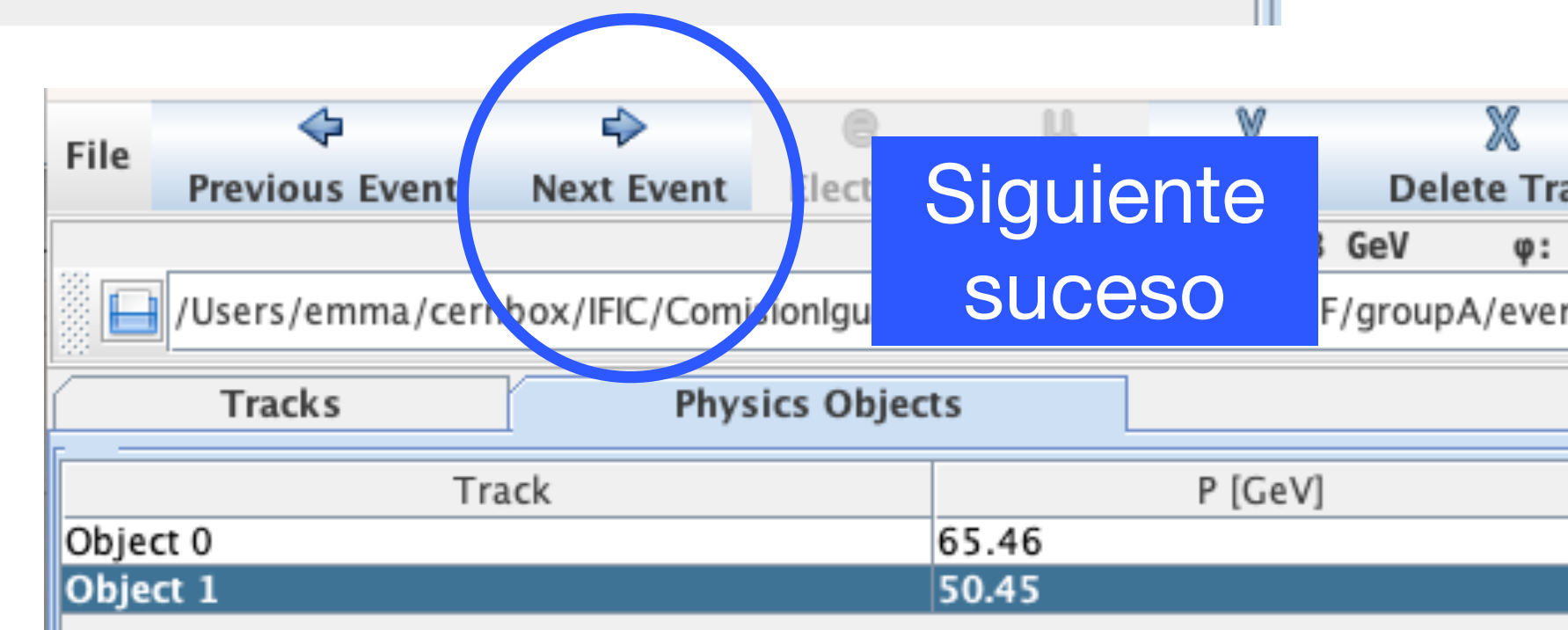
Energía faltante
buscamos MET < 30 GeV

The screenshot shows the main interface of Hypatia. The 'Electron' button is circled in red, and a red arrow points to it from the text 'Energía faltante buscamos MET < 30 GeV'. The 'ETMis: 30.472 GeV' is also circled in red. The 'Tracks' tab is selected, and the table below shows the following data:

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 7	+	45.66	35.03	1.565	2.267
Tracks 21	-	125.38	64.85	-1.771	2.598
Tracks 593	+	583.02	428.01	-1.466	0.824
Tracks 597	-	40.33	27.14	-1.980	0.738

Carga de las partículas
Buscamos pares + / -

Momento transverso
de las partículas
Buscamos partículas
de alto momento

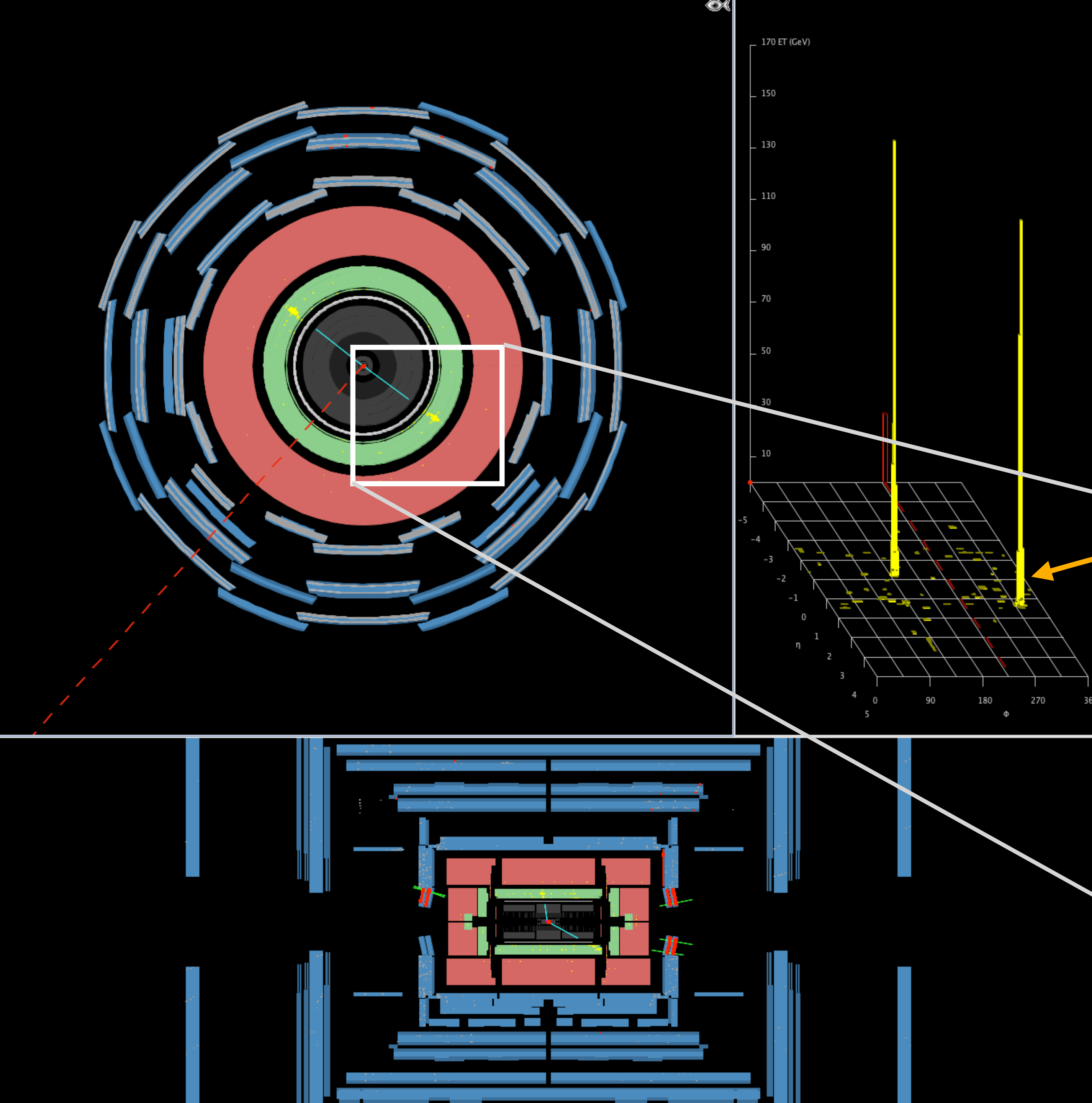


Identificación de electrones

e^- Electrón

El electrón tiene carga eléctrica: deja **traza** en la parte interna

Deposita su **energía** en el calorímetro electromagnético (parte verde)



Traza en la parte interna

Depósitos de energía en el calorímetro

¿Es un suceso e^+e^- ?

Energía faltante
buscamos MET < 30 GeV



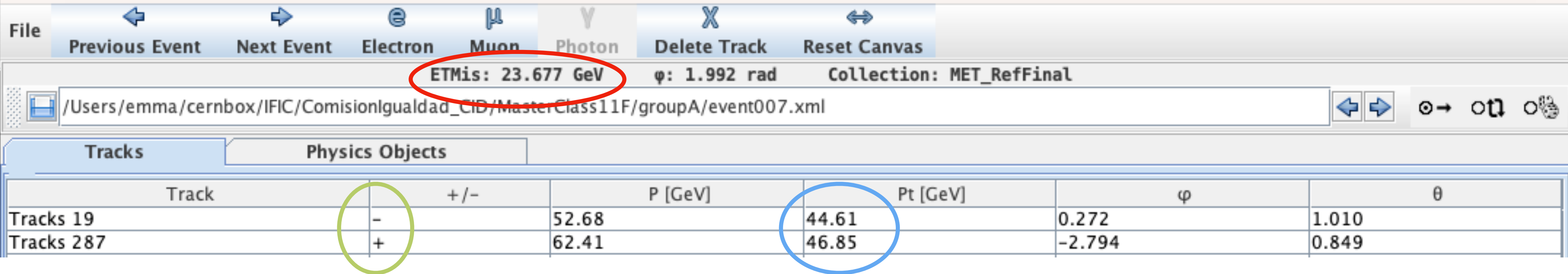
Carga de las partículas
Buscamos pares + / -



Momento transverso de las partículas
Buscamos partículas de alto momento



Sí, lo es!



- Selecciona la primera traza y guarda como electrón
- Selecciona la segunda traza y guarda como electrón

¿Es un suceso $e^+ e^-$?

File	Previous Event	Next Event	e	μ	γ	X	Reset Canvas
ETMis: 23.677 GeV φ: 1.992 rad Collection							
/Users/emma/cernbox/IFIC/ComisionIgualdad_CID/MasterClass11F/groupA/event007.xml							
Tracks				Physics Objects			
Track		+/-		P [GeV]		Pt [GeV]	
Tracks 19		-		52.68		44.61	
Tracks 287		+		62.41		46.85	

Energía faltante
buscamos MET < 30 GeV



Carga de las partículas
Buscamos pares + / -



Momento transverso de las partículas
Buscamos partículas de alto momento



Sí, lo es!

Masa invariante cercana a 91 GeV
Podría ser un Z!!!

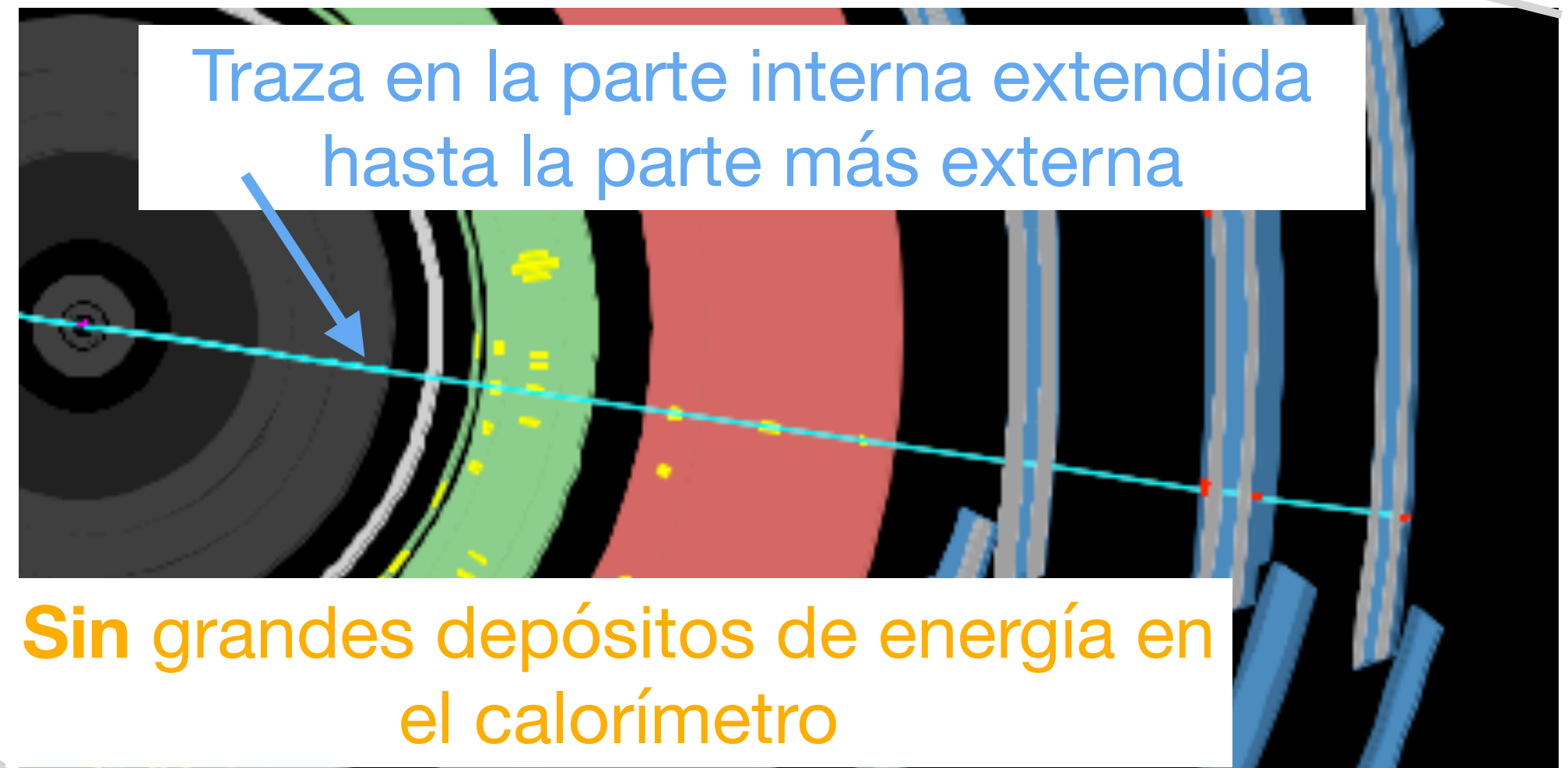
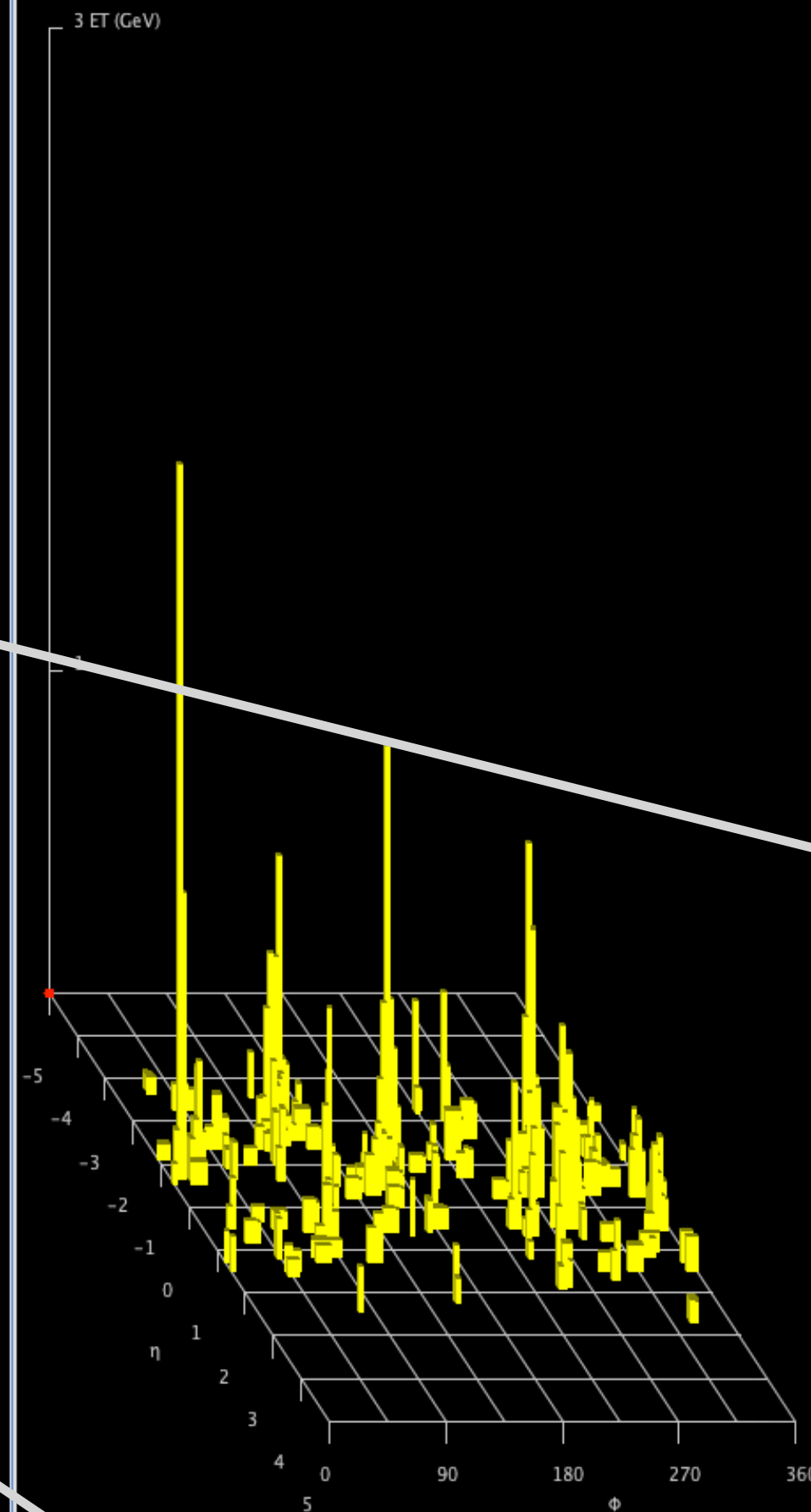
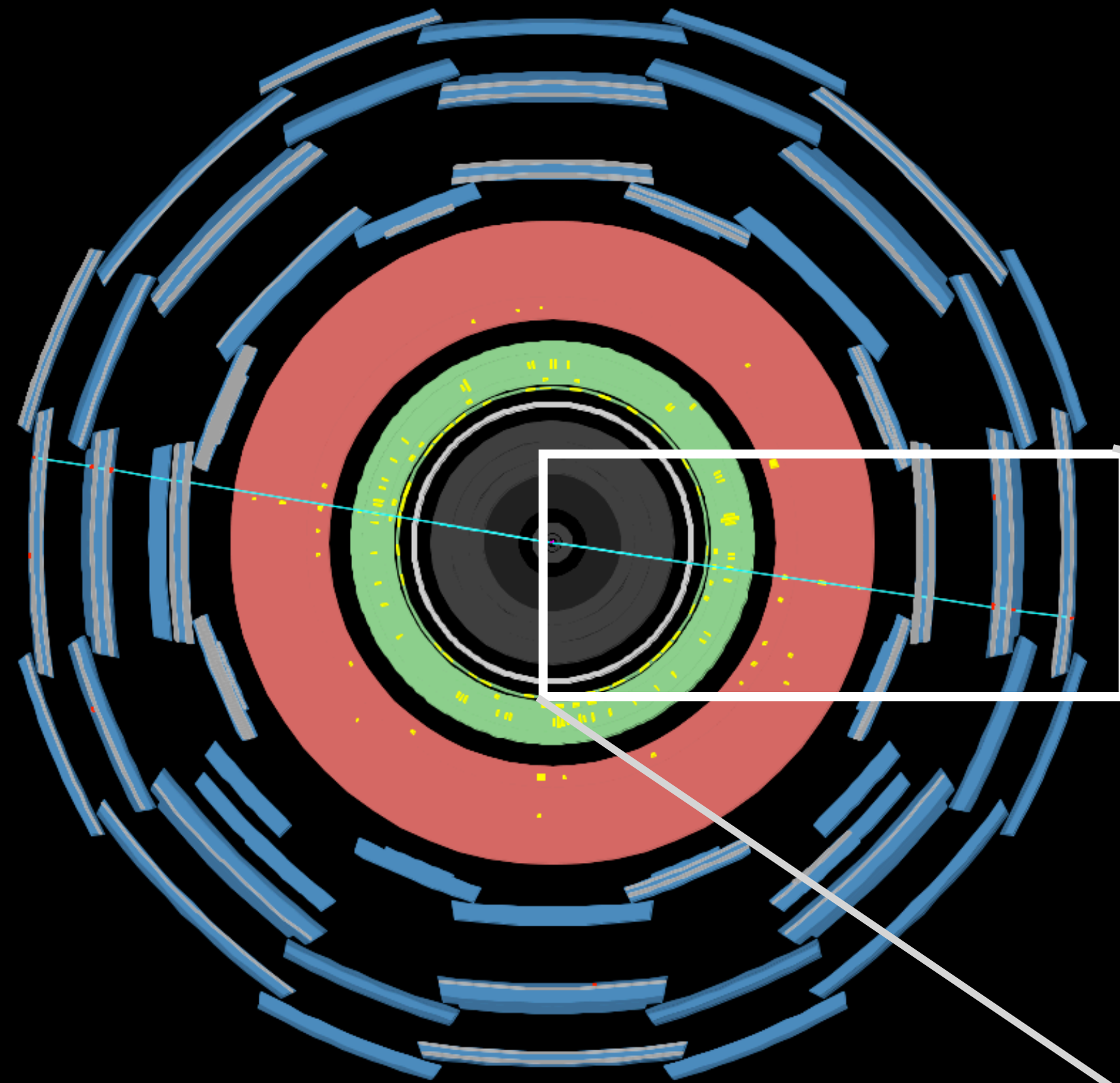
File View Histograms Preferences Help												
File Name	ETMis [G...	Track	P [GeV]	...	Pt [GeV]	φ	η	M(2) [GeV]	M(eeee) [...]	M(eemm)...	M(mmm...	e /...
event007.xml	23.677	Tracks 19	52.7	-	44.6	0.272	0.593	91.829				e
		Tracks 287	62.4	+	46.8	-2.794	0.794					e

Identificación de muones

μ^- Muón

El muón tiene carga eléctrica: deja **traza** en la parte interna y otra **traza** en la parte externa

No deposita su energía en el calorímetro electromagnético (parte verde)



¿Es un suceso $\mu^+ \mu^-$?

Energía faltante
buscamos MET < 30 GeV



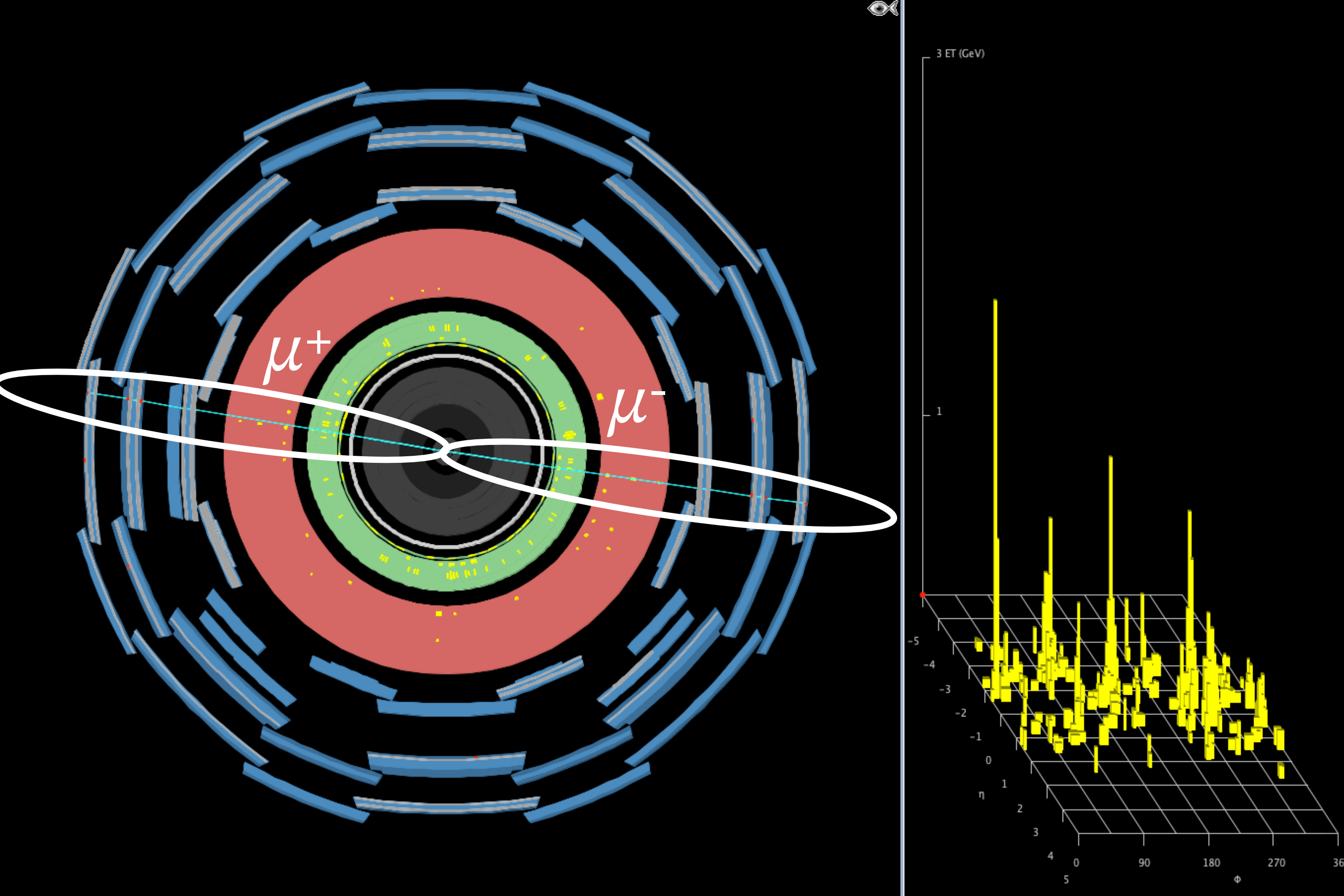
Carga de las partículas
Buscamos pares + / -



Momento transverso de las partículas
Buscamos partículas de alto momento



Sí, lo es!



File Previous Event Next Event Electron Muon Photon Delete Track Reset Canvas						
ETMis: 6.887 GeV ϕ : 0.282 rad Collection: MET_RefFinal						
/Users/emma/cernbox/IFIC/ComisionIgualdad_CID/MasterClass11F/groupA/event015.xml						
Tracks		Physics Objects				
Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ	
Tracks 7	+	500.79	356.02	2.979	2.351	
Tracks 218	-	371.95	327.57	-0.147	1.077	

- Selecciona la primera traza y guarda como muón
- Selecciona la segunda traza y guarda como muón

File	Previous Event	Next Event	Electron	Muon	Photon	Delete Track	Reset Canvas
ETMis: 6.887 GeV φ : 0.282 rad Colle							
/Users/emma/cernbox/IFIC/ComisionIgualdad_CID/MasterClass11F/groupA/event015.xml							
Tracks		Physics Objects					
Track		+	-	P [GeV]			
Tracks 7		+		500.79		356.02	
Tracks 218		-		371.95		327.57	



¿Es un suceso $\mu^+ \mu^-$?

Energía faltante
buscamos MET < 30 GeV



Carga de las partículas
Buscamos pares + / -



Momento transverso de las partículas
Buscamos partículas de alto momento



Sí, lo es!

Masa invariante 854 GeV!!
No es un Z, **podría ser nueva física!!**

File View Histograms Preferences Help												
File Name	ETMis [G...	Track	P [GeV]	...	Pt [GeV]	φ	η	M(2) [GeV]	M(eeee) [...]	M(eemm)...	M(mmm...	e/...
event015.xml	6.887	Tracks 7	500.8	+	356.0	2.979	-0.874	854.325				m
		Tracks 218	372.0	-	327.6	-0.147	0.515					m

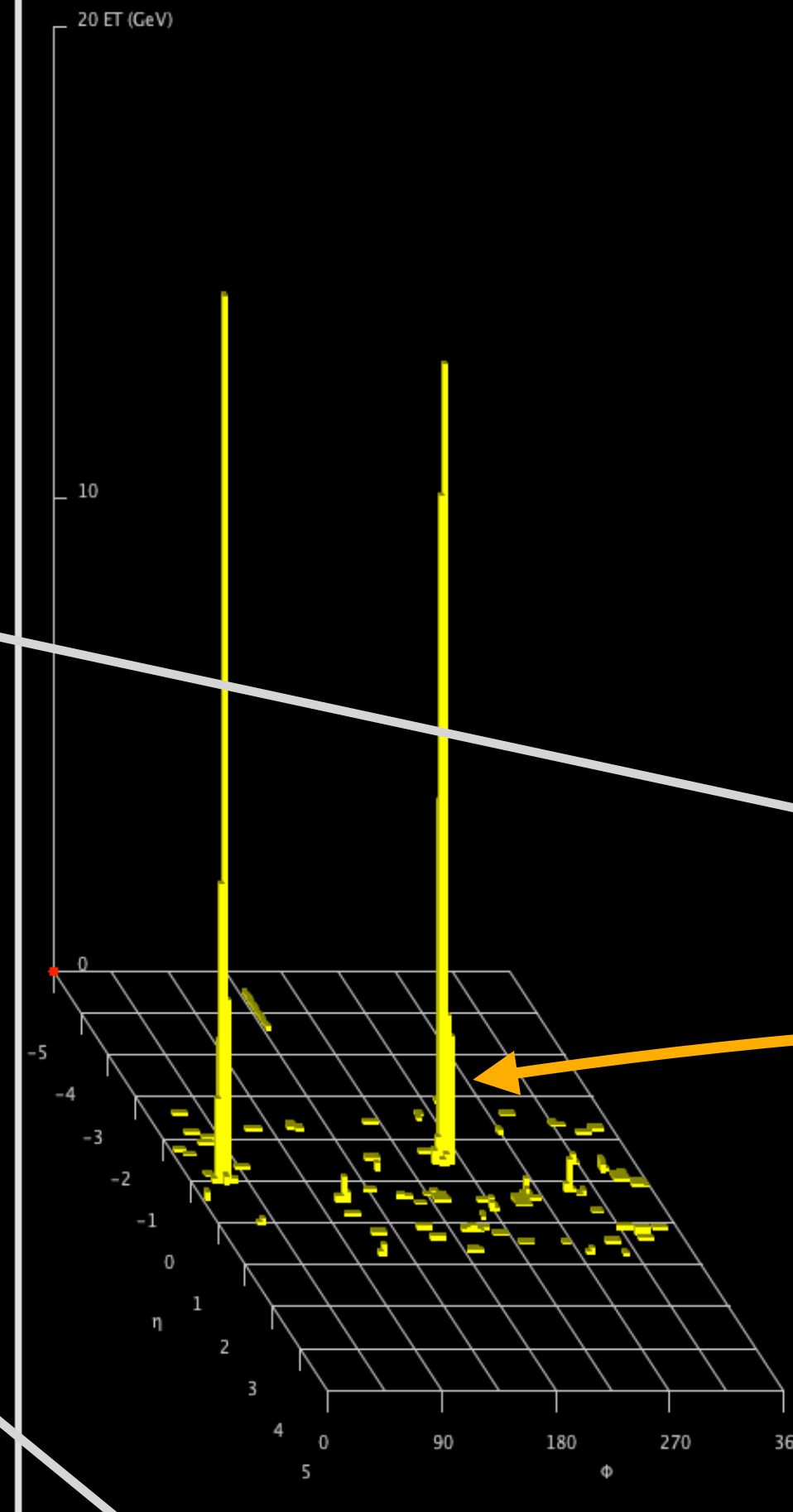
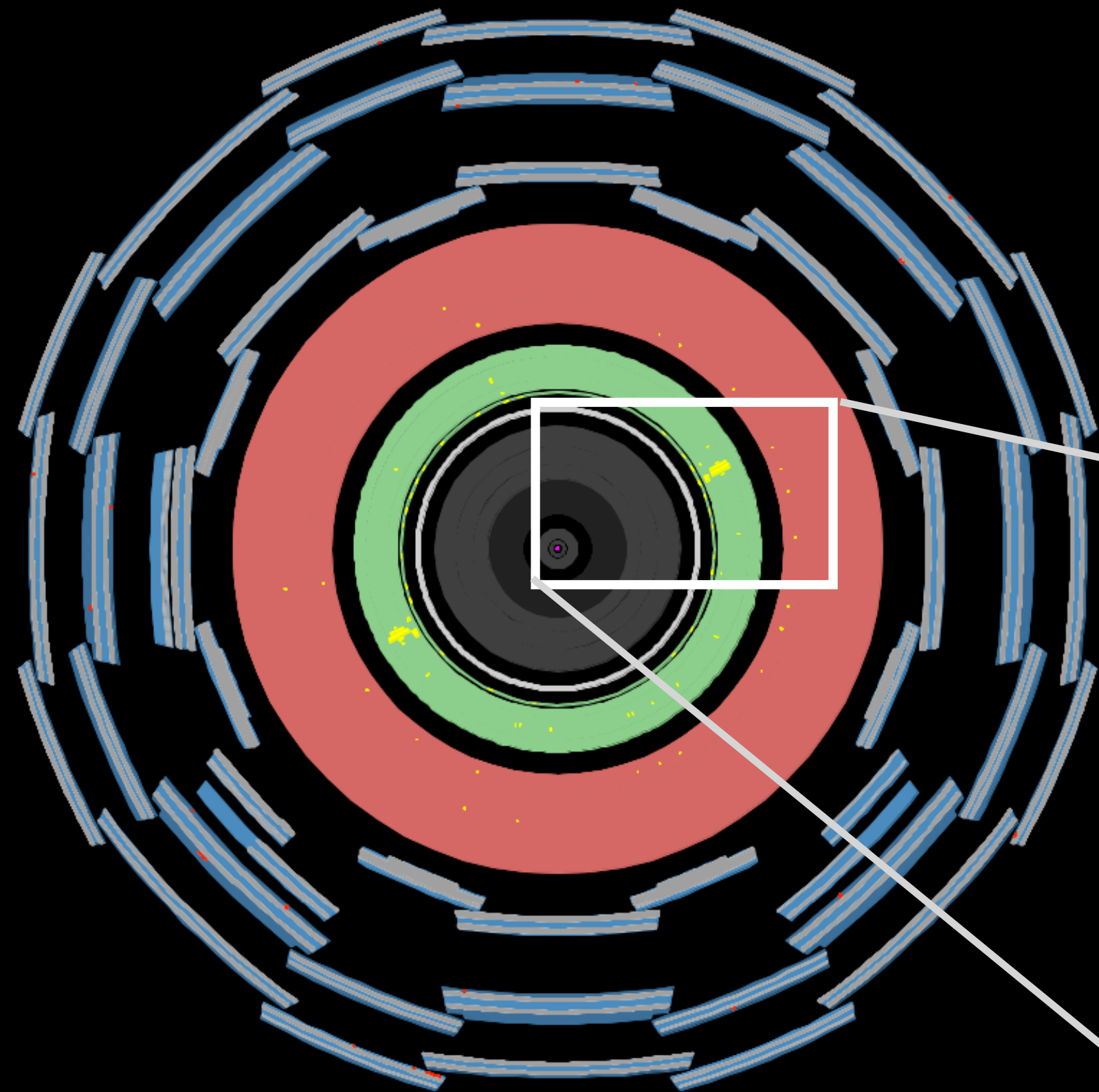
Identificación de fotones



Fotón

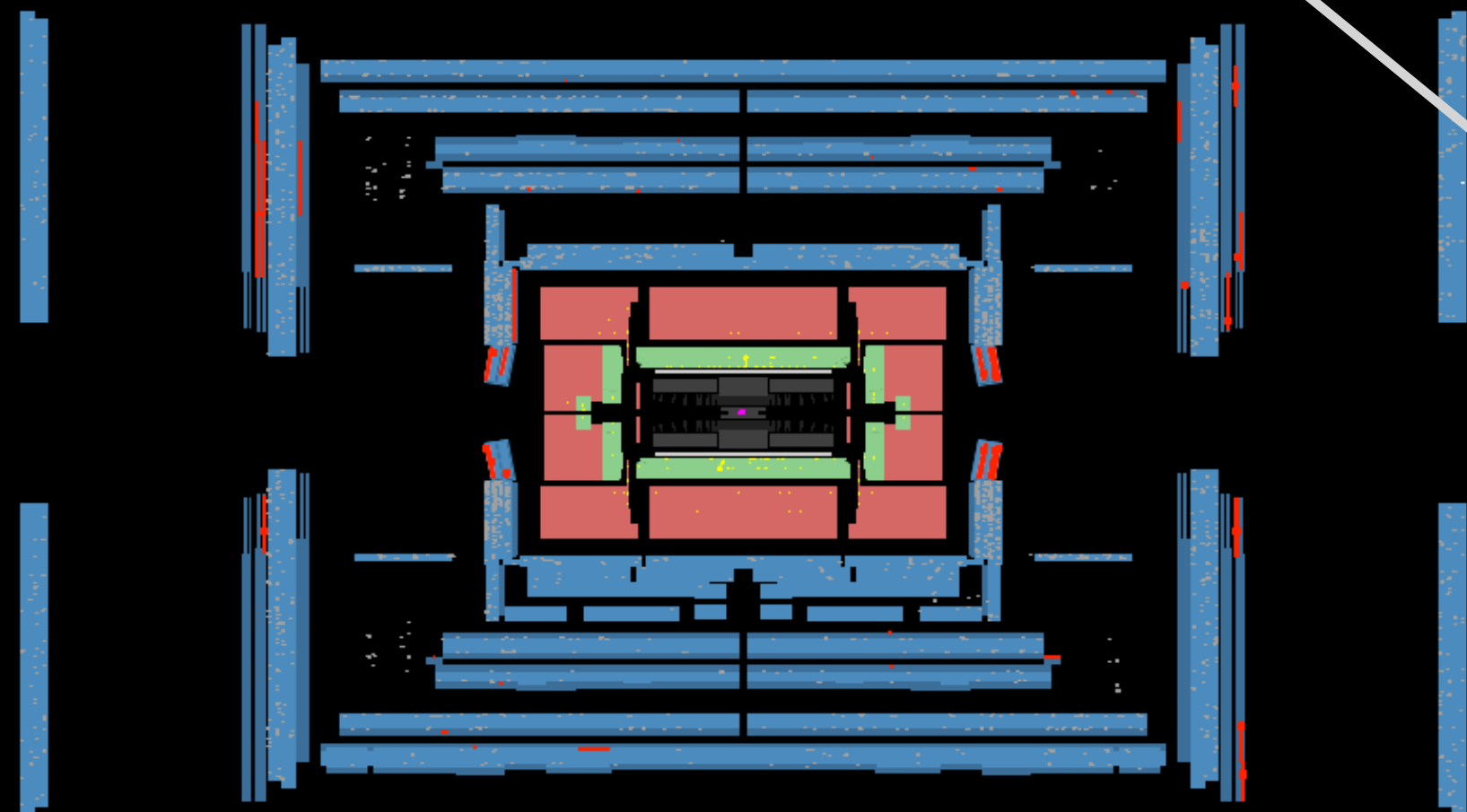
El fotón es neutro: **NO** deja traza la parte interna

Deposita su **energía** en el calorímetro electromagnético (parte verde)



Sin traza en la parte interna

Depósitos de energía en el calorímetro

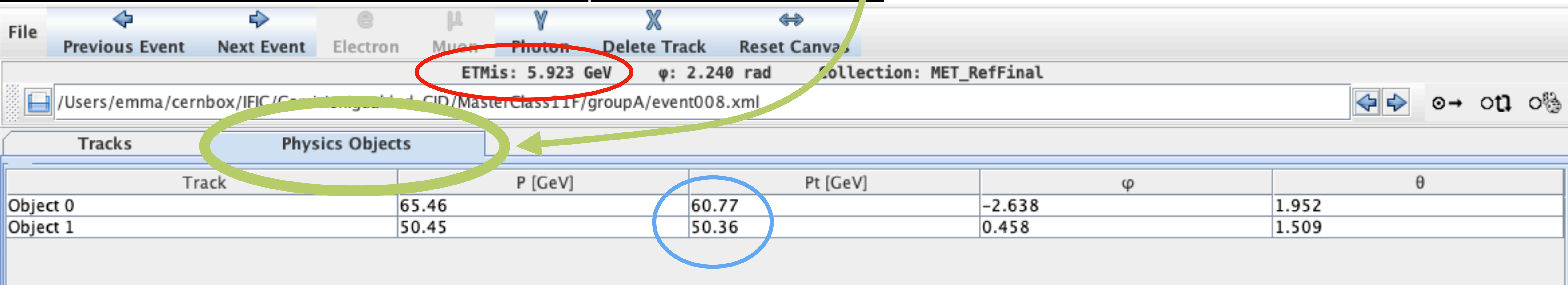




OJO!! Tenemos que ir a
Physics Objects



Sí, lo es!



- Selecciona el primer objeto y guarda como fotón
- Selecciona el segundo objeto y guarda como fotón

File

Previous Event

Next Event

Electron

Muon

Photon

Delete Track

Reset Canvas

ETMis: 5.923 GeV φ : 2.240 rad Colle

/Users/emma/cernbox/IFIC/ComisionIgualdad_CID/MasterClass11F/groupA/event008.xml

Tracks

Physics Objects

Track	P [GeV]	Pt [GeV]
Object 0	65.46	60.77
Object 1	50.45	50.36



File View Histograms Preferences Help												
File Name	ETMis [G...	Track	P [GeV]	...	Pt [GeV]	φ	η	M(2) [GeV]	M(eeee) [...	M(eemm)...	M(mmm...	e /...
event008.xml	5.923	Object 0	65.5		60.8	-2.638	-0.390	113.453				g
		Object 1	50.5		50.4	0.458	0.062					g

¿Es un suceso $H \rightarrow \gamma\gamma$?

Energía faltante
buscamos MET < 30 GeV



Partículas neutras



OJO!! Tenemos que ir a
Physics Objects

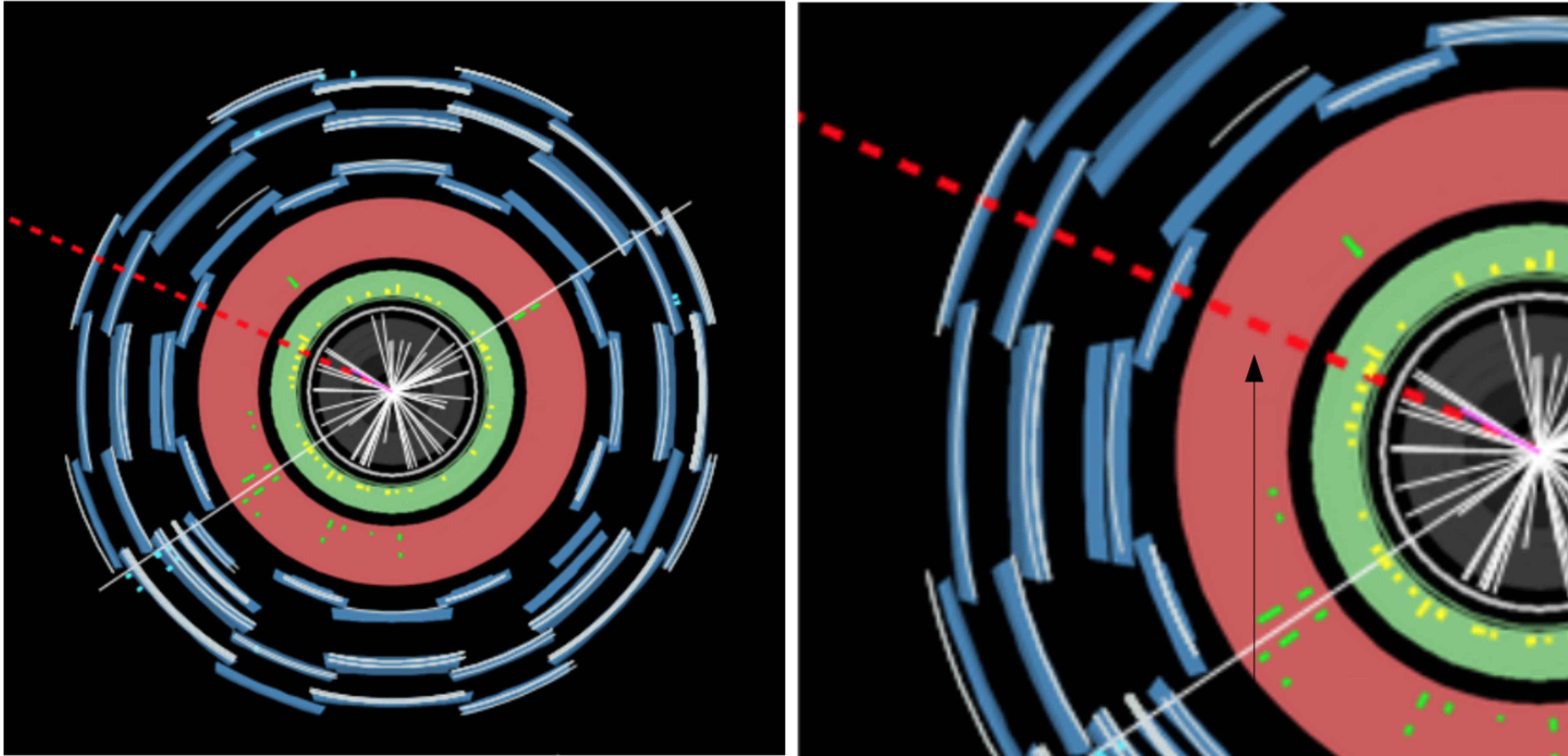
Momento transverso de las partículas
Buscamos partículas de alto momento



Sí, lo es!

Masa invariante cercana a 125 GeV
Podría ser un Higgs!!

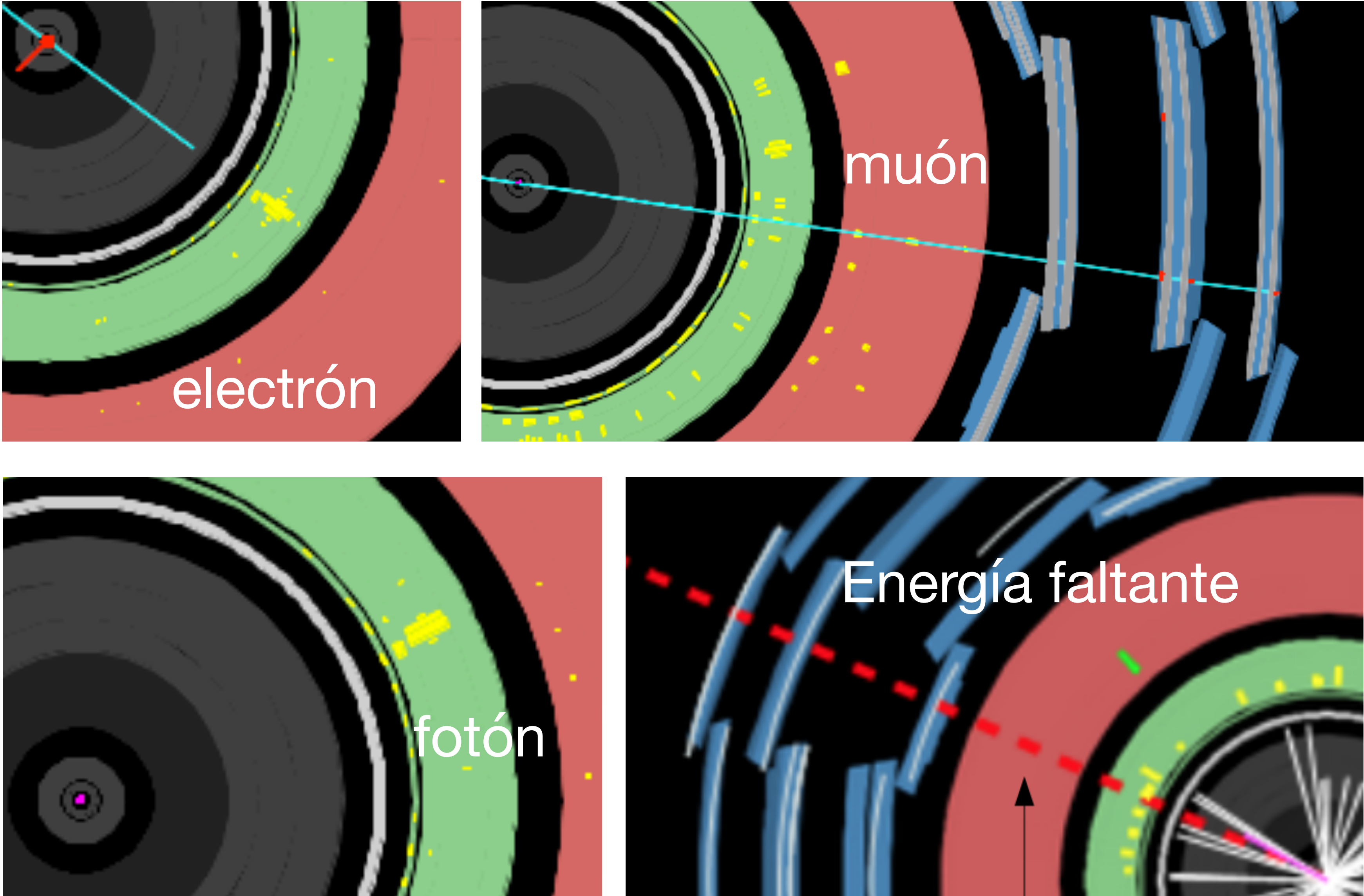
Identificando partículas: **neutrino ν**



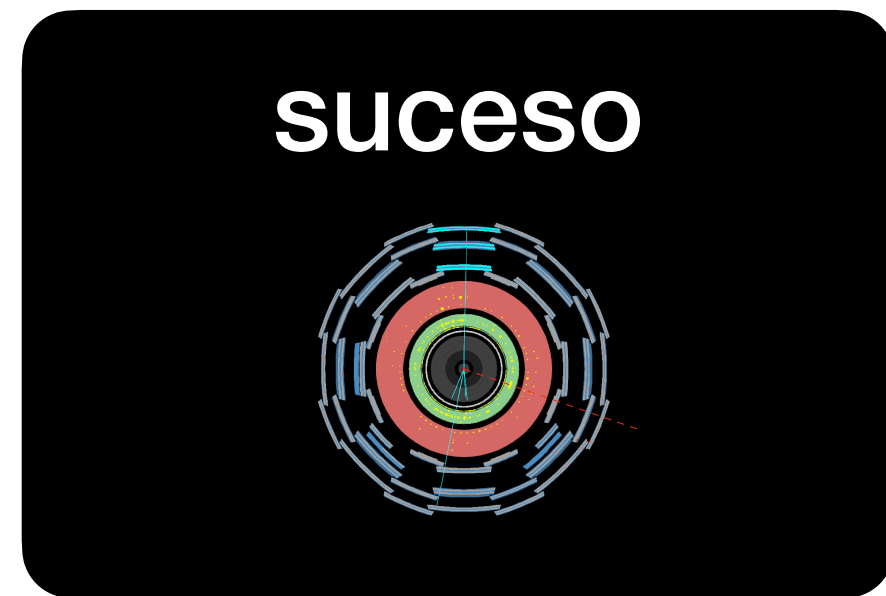
El neutrino es una partícula **neutra** y sin masa que no deja señal en el detector:

Energia Faltante

Resumen de objetos



Resumen de sucesos



Fondo

Producción de W

$$W^+ \rightarrow e^+ \nu$$

$$W^+ \rightarrow \mu^+ \nu$$

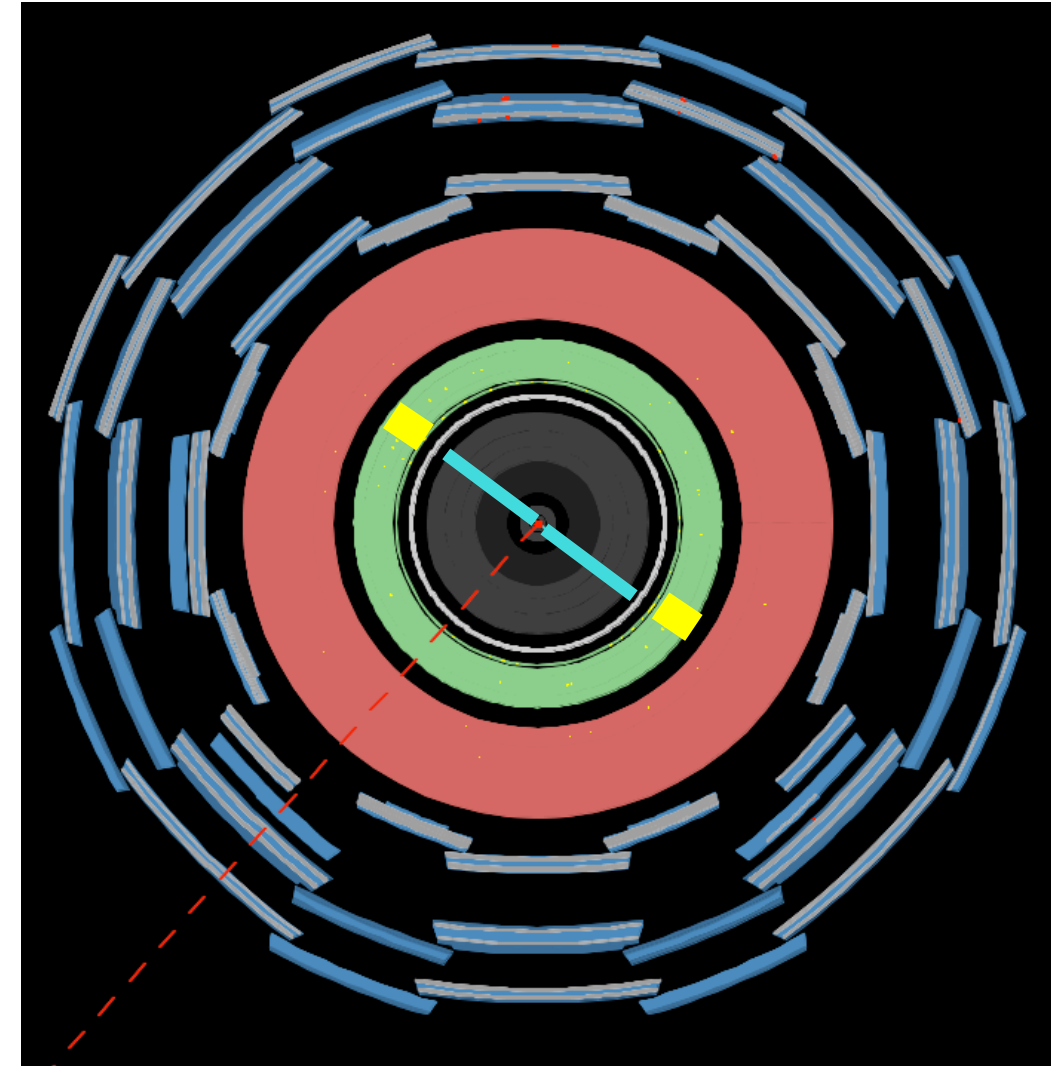
Jets

Todo lo demás

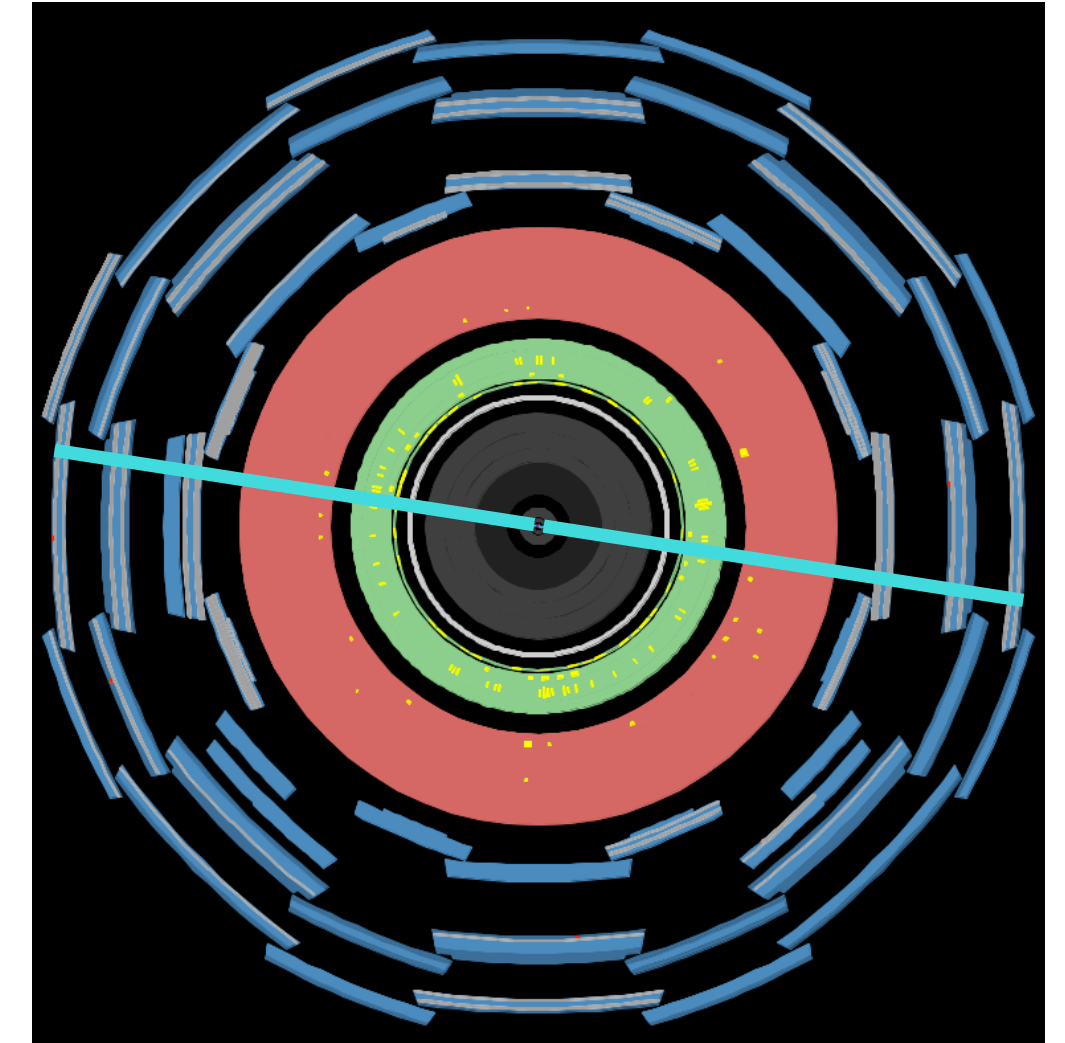
Señal

Bosón Z

$$Z \rightarrow e^+ e^-$$

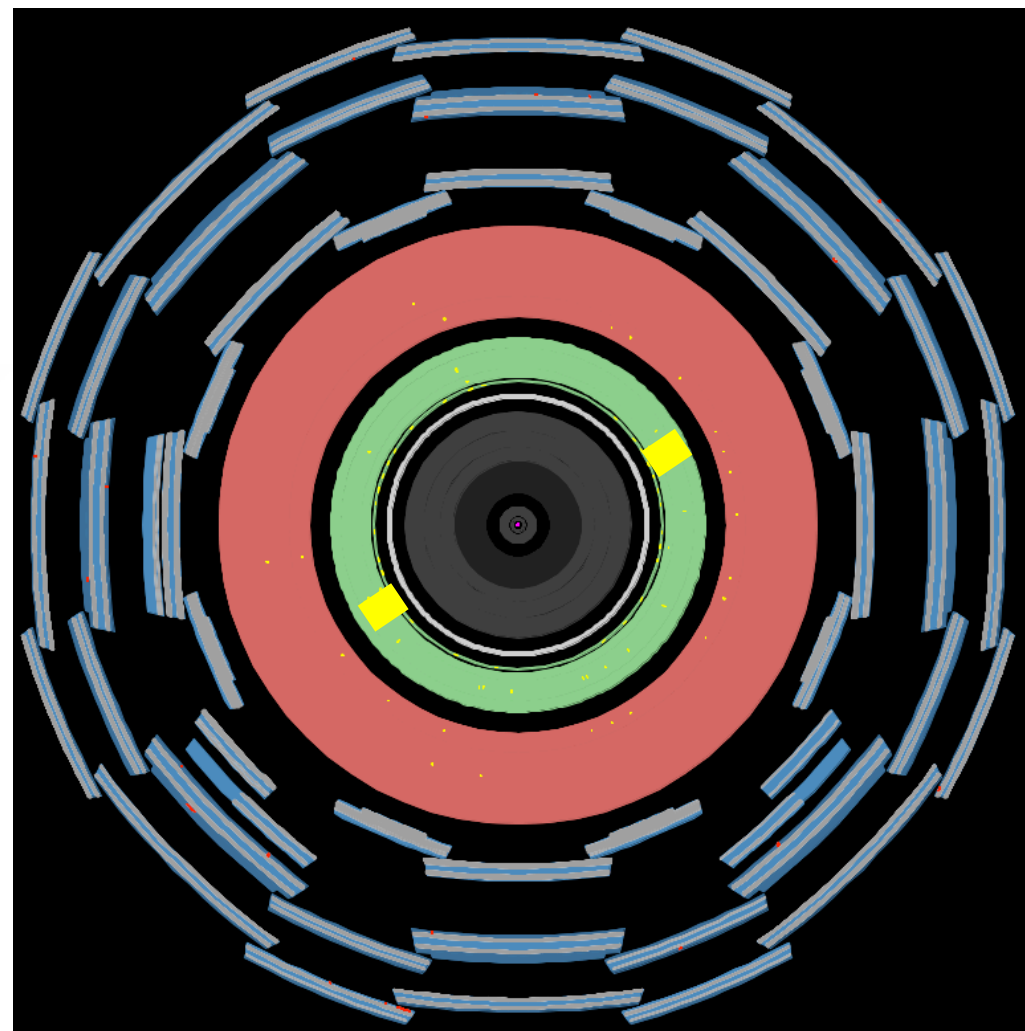


$$Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$$



Bosón H

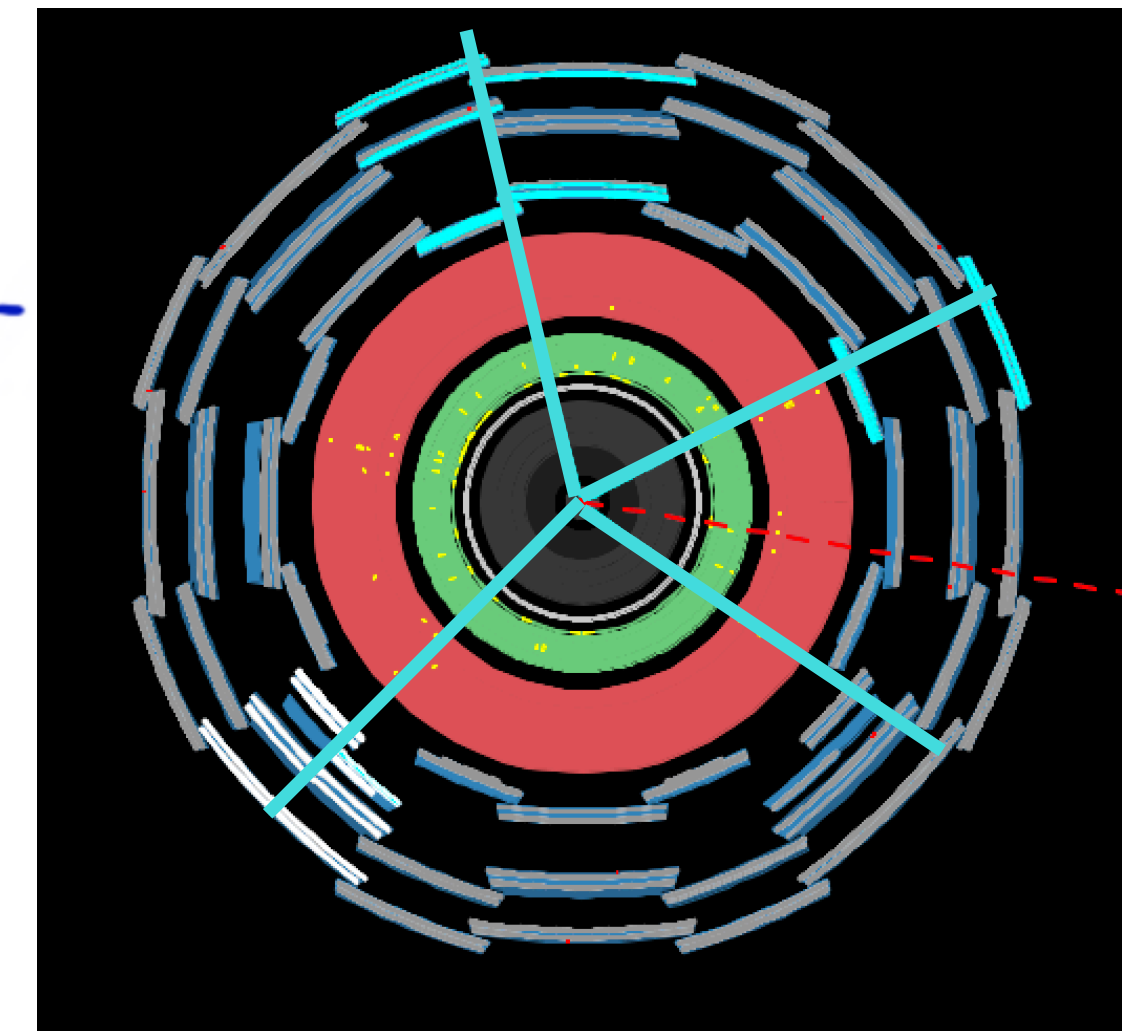
$$H^* \rightarrow \gamma \gamma$$

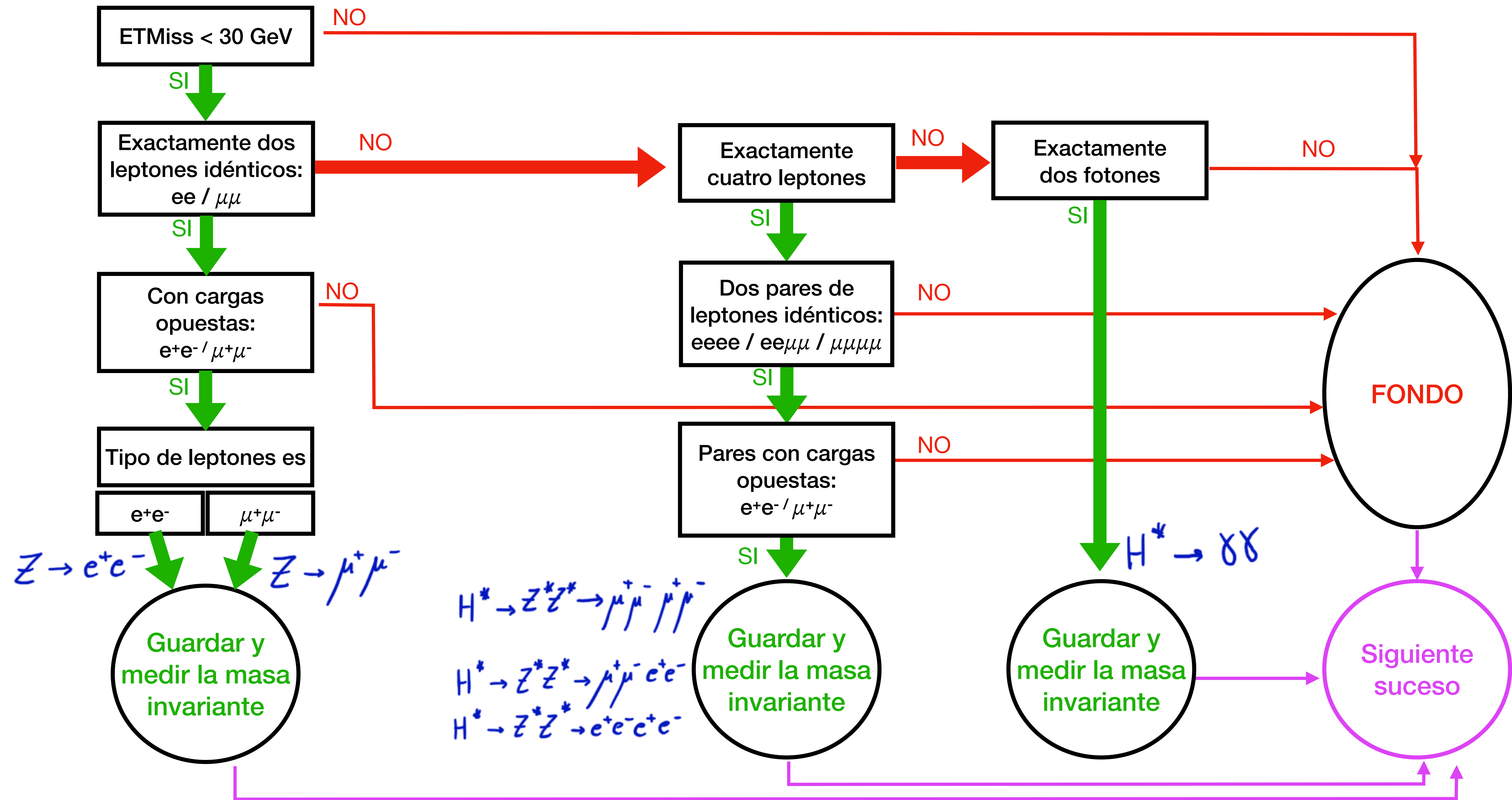


$$H^* \rightarrow Z^* Z^* \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$$

$$H^* \rightarrow Z^* Z^* \rightarrow \mu^+ \mu^- e^+ e^-$$

$$H^* \rightarrow Z^* Z^* \rightarrow e^+ e^- e^+ e^-$$



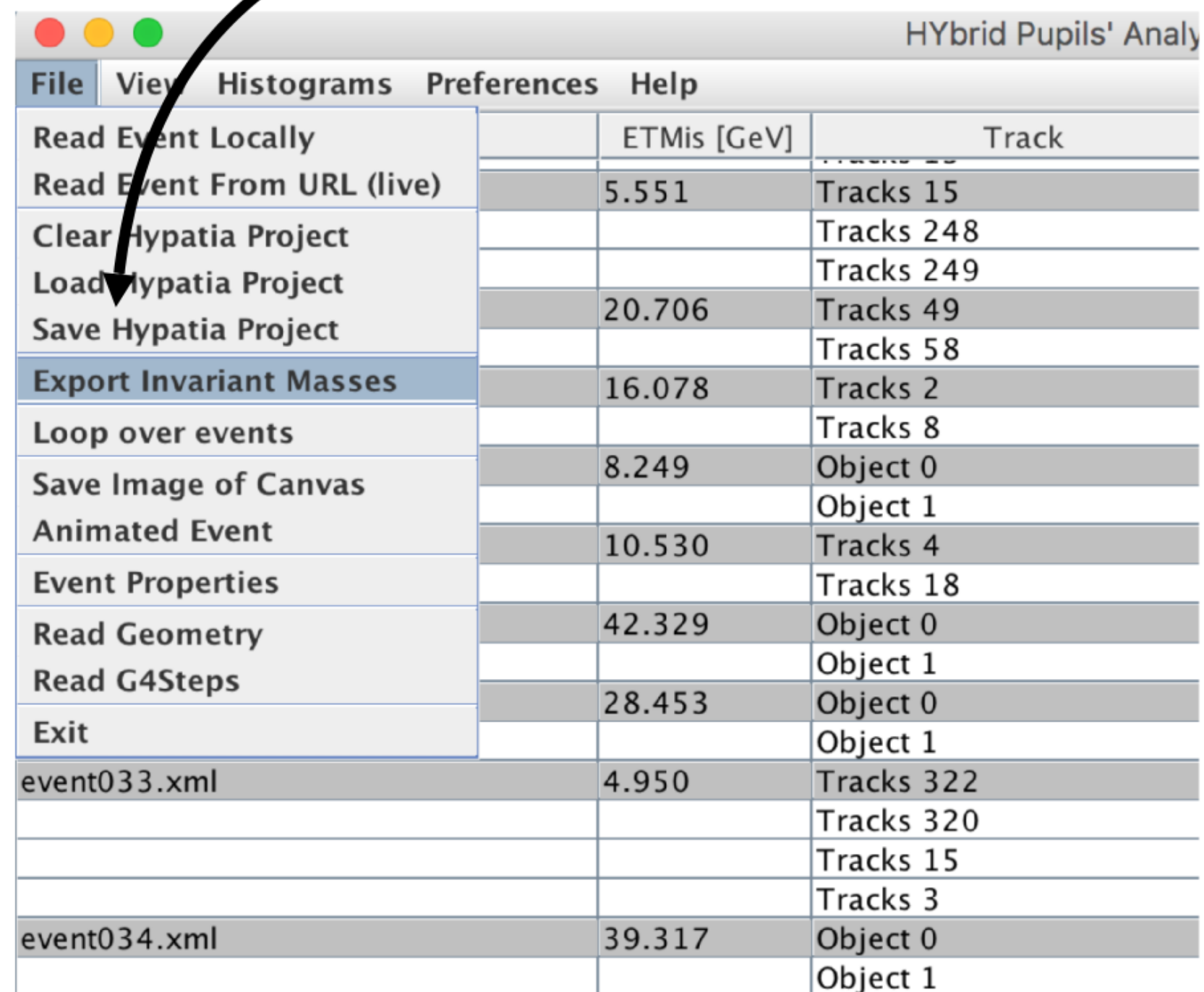


Cuando hayáis examinado vuestros 50 sucesos....

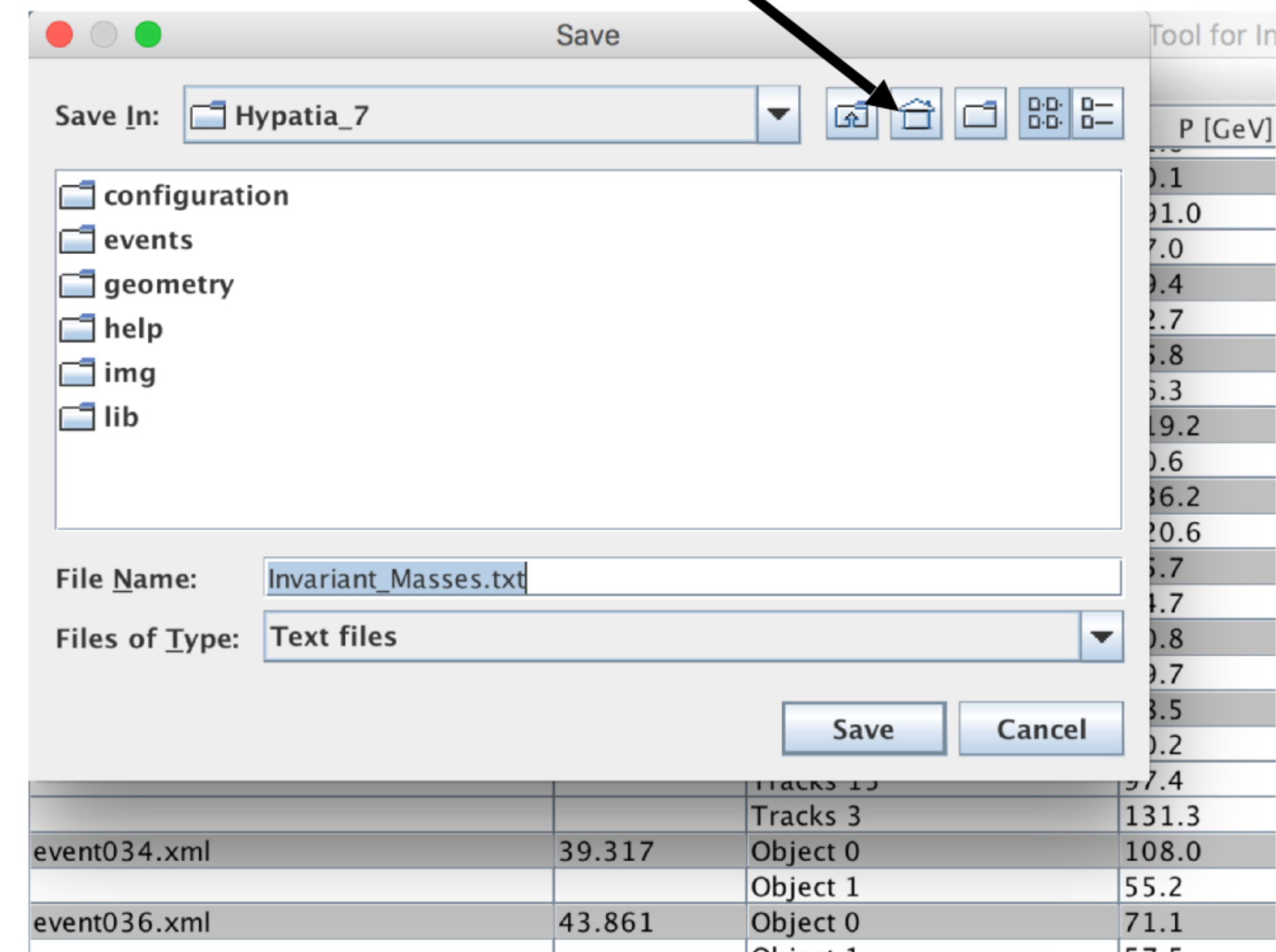
Histograma: Exportar

<http://cernmasterclass.uio.no>

Exportad los datos del histograma



Guardadlo en el Escritorio



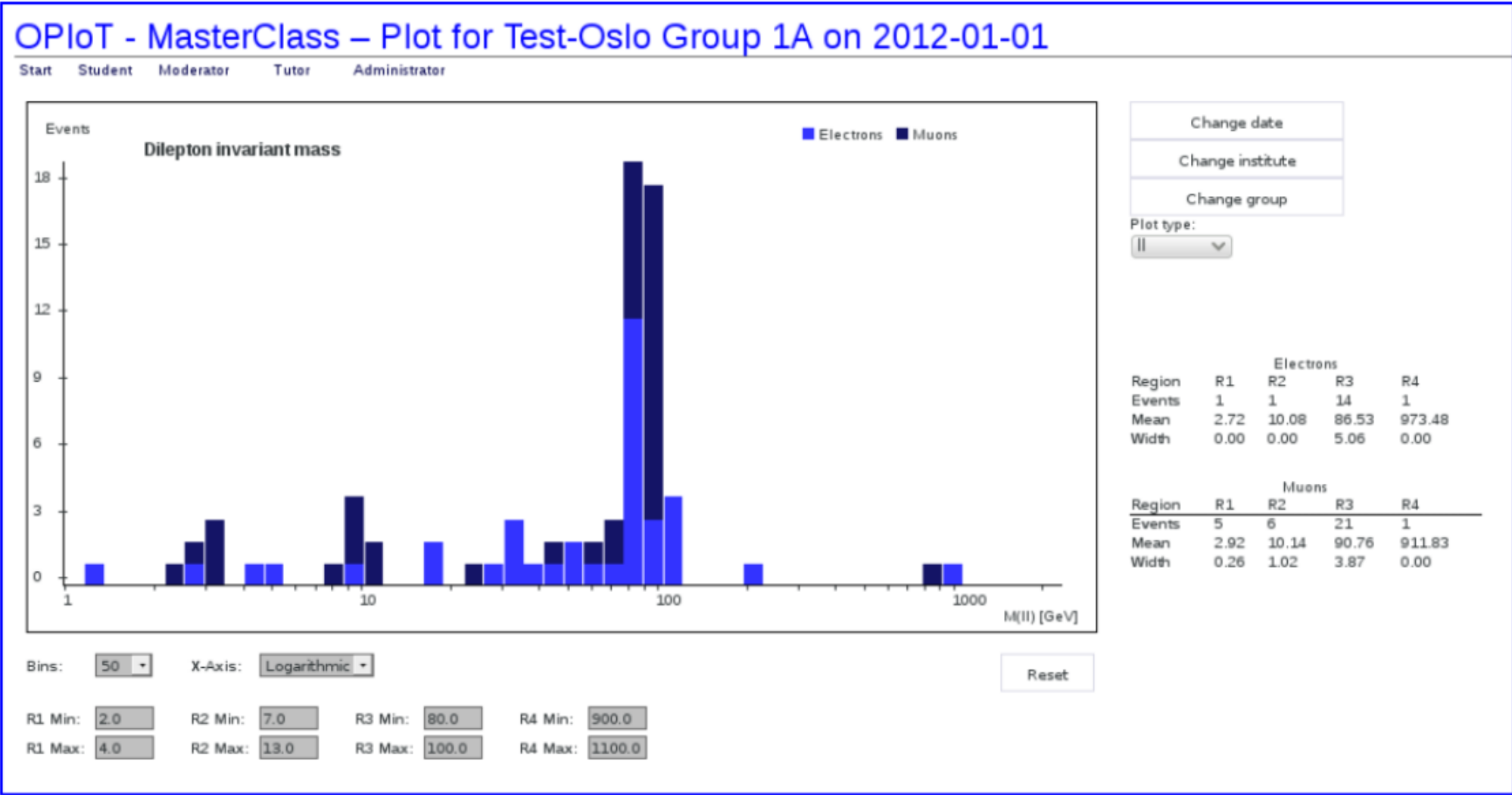
Histograma: Subir

OPlot - the introduction

Introduction OPlot test OPlot

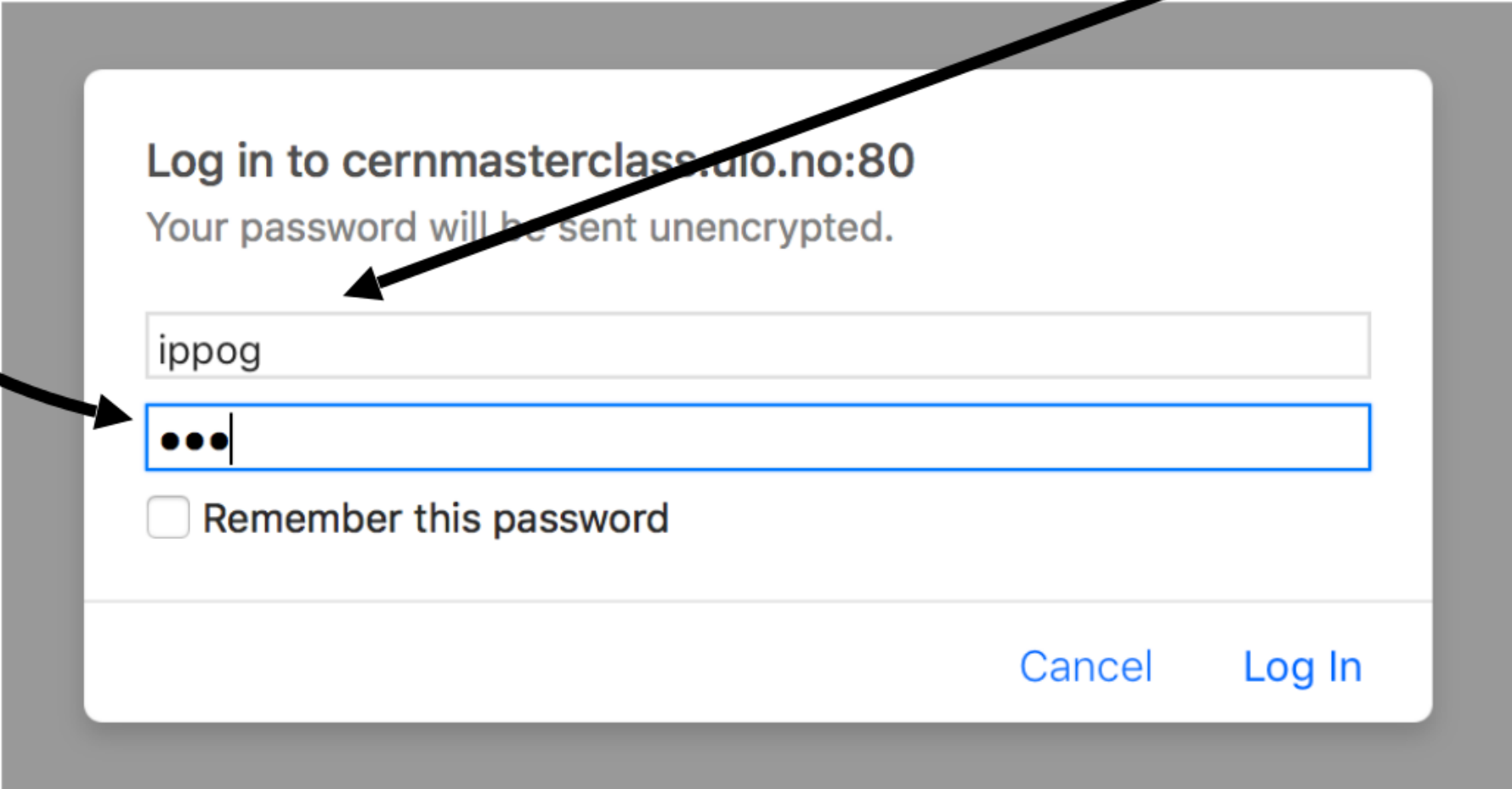
You have now gone through a lot of events in HYPATIA (or the program of your choice), carefully classifying each. OPlot is the tool that will display the fruits of your labor for you - you upload the files with the invariant masses of the events, and up comes a histogram displaying the distribution.

An example of how OPlot can be used, is shown below (to test the plot, go to "OPlot test" in the menu above). Here you can manually input invariant masses of dileptons or dimuons, and the tool plots them for you. You can adjust the number of bins and choose between logarithmic and linear x-axis. The four regions are also adjustable. The mean value and width of the four regions are shown in the table to the far right, for dielectrons and dimuons separately.



Password: **imc**

Username: **ippog**



Log in to cernmasterclass.uio.no:80
Your password will be sent unencrypted.

ippog

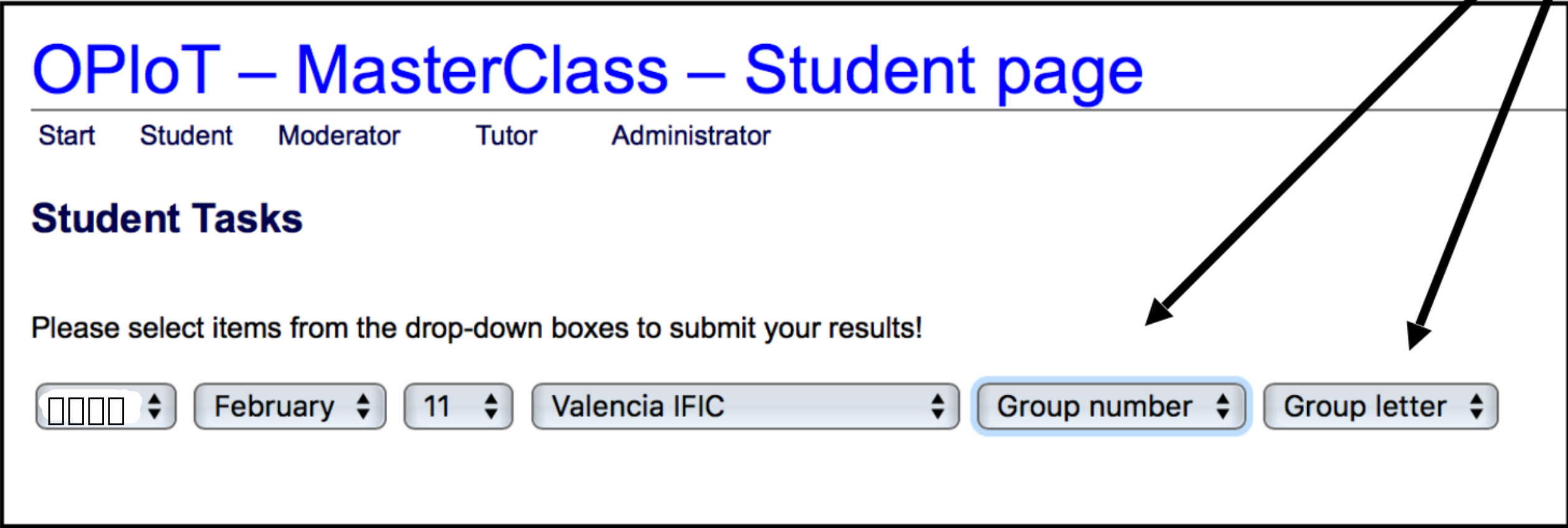
...

☐ Remember this password

Cancel Log In

A login form with a title bar, a warning message, a username field containing 'ippog', a password field with three dots, a 'Remember this password' checkbox, and 'Cancel' and 'Log In' buttons. Arrows point from the external labels to the password and username fields.

Vuestro número
de grupo (**3 o 4**)
y la **letra**!



OPIoT – MasterClass – Student page

Start Student Moderator Tutor Administrator

Student Tasks

Please select items from the drop-down boxes to submit your results!

□□□□ February 11 Valencia IFIC Group number Group letter

The student page header includes navigation links and a title. Below is a 'Student Tasks' section with instructions and a row of dropdown menus. Arrows point from the external text to the 'Group number' and 'Group letter' dropdowns.

Selecciona el fichero:
“Invariant_Masses.txt”

Change date

Change institute

Change group

Upload your file:

Choose Fileno file selected

Bins:50X-Axis:LinearLower:0Upper:2000

Update plotReset

R1 Min:2.0R2 Min:7.0R3 Min:80.0R4 Min:900.0R5 Min:1400.0

R1 Max:4.0R2 Max:13.0R3 Max:100.0R4 Max:1100.0R5 Max:1600.0

Una vez cargado,
haz click en el botón de
“submit”

Change date

Change institute

Change group

Upload your file.

Choose FileInvariant_Masses.txtSubmit