

Desintegraciones del bosón W

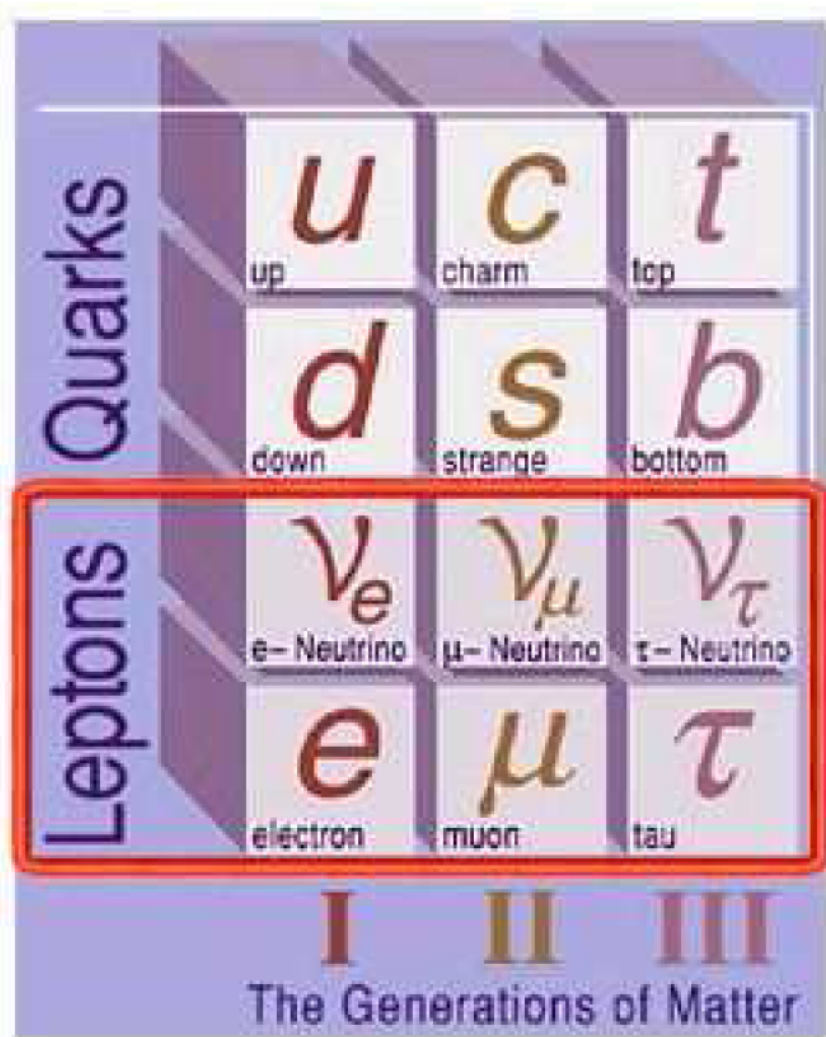
Preparación para el ejercicio práctico

Víctor Martín Lozano

(Diapositivas cedidas por
David G. Cerdeño)



Partículas fundamentales



FERMIONS						matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...		
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2					
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge			
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003	2/3			
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3			
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	c charm	1.3	2/3			
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3			
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3			
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3			

Mesones y Bariones

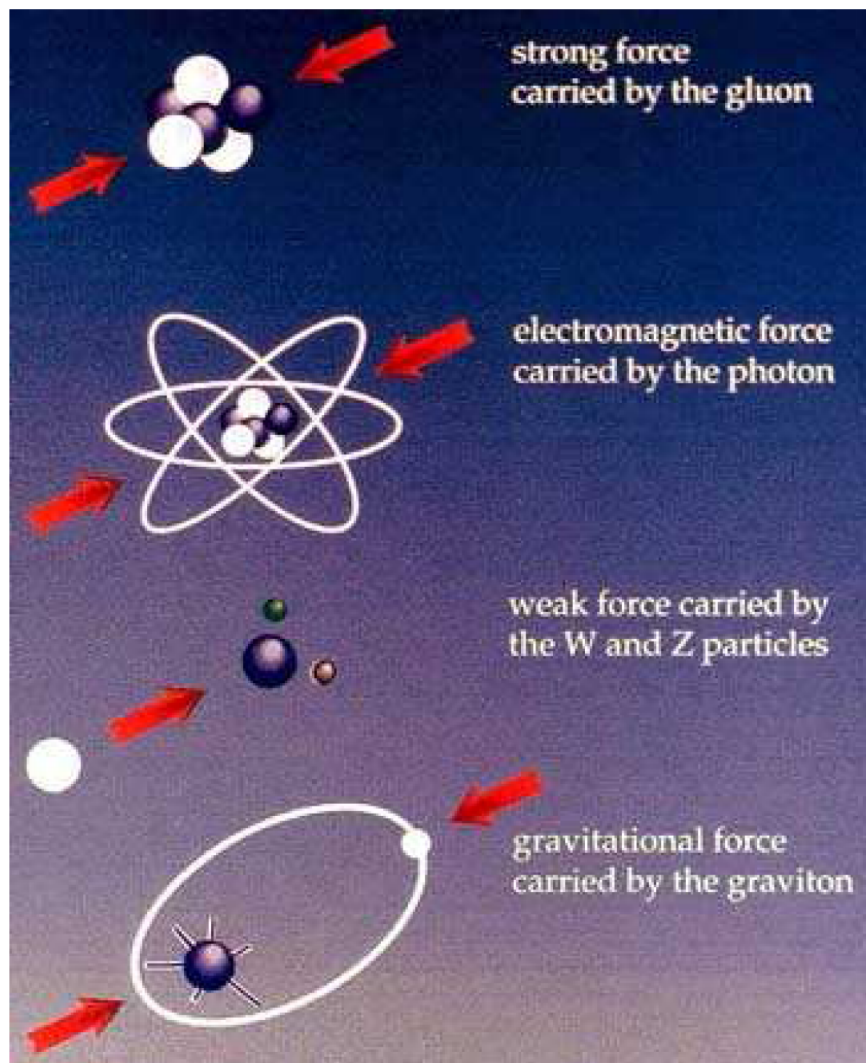
Bariones y Anti-bariones

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

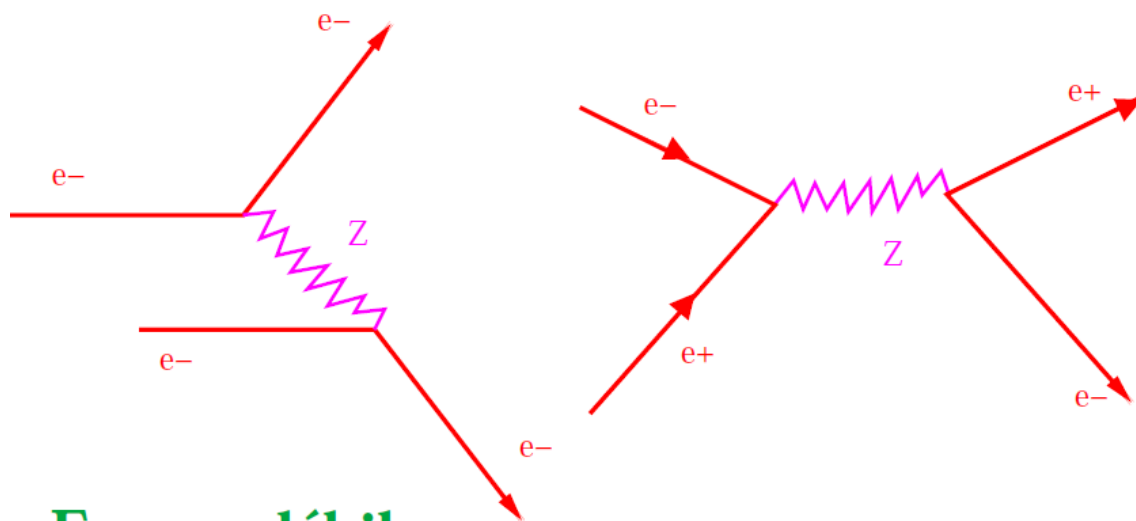
Mesones

Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Las fuerzas fundamentales

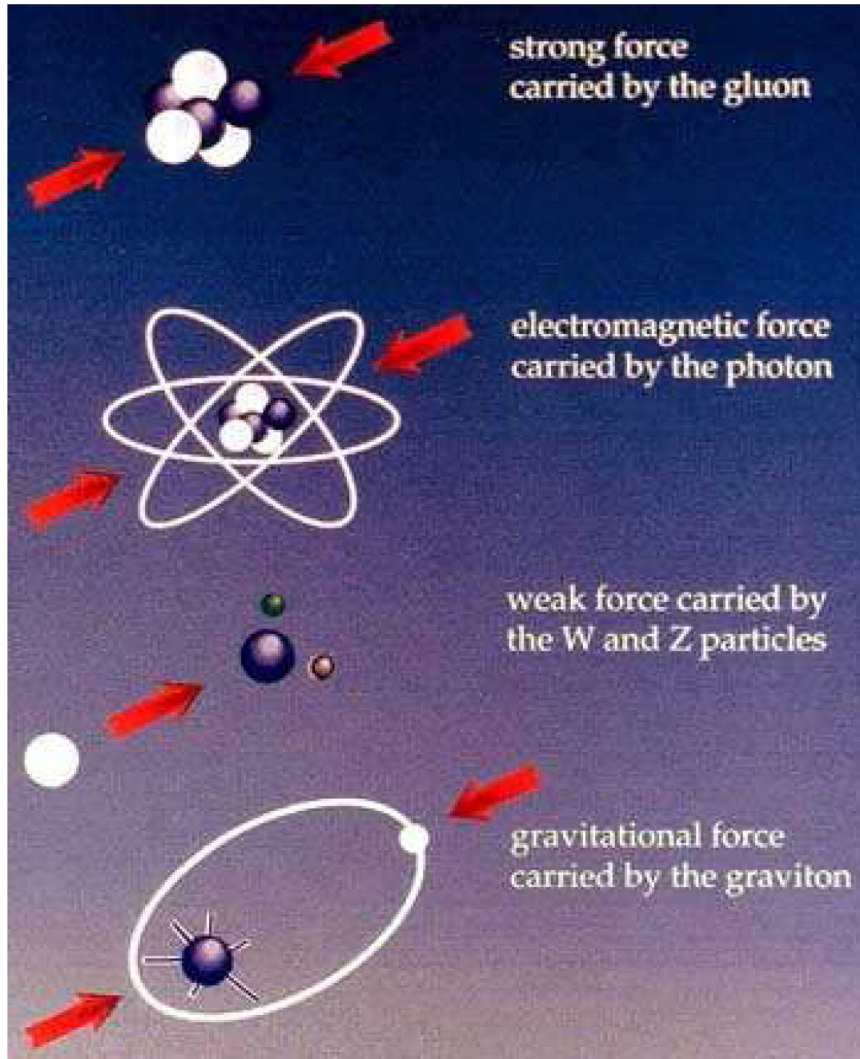


Gravedad	Débil	Electromagnética	Fuerte
Gravitón (no observado aún)	$W^+ W^- Z$	Fotón	gluón
Todas	Quarks y Leptones	Quarks, Leptones cargados y $W^+ W^- Z$	Quarks y Gluones

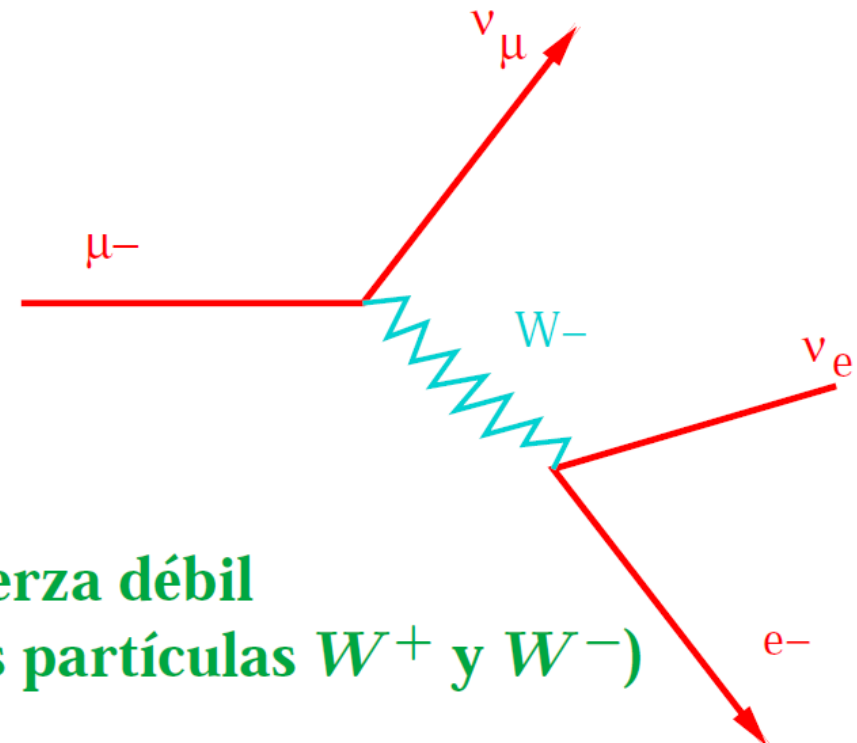


**Fuerza débil
(la partícula Z)**

Las fuerzas fundamentales



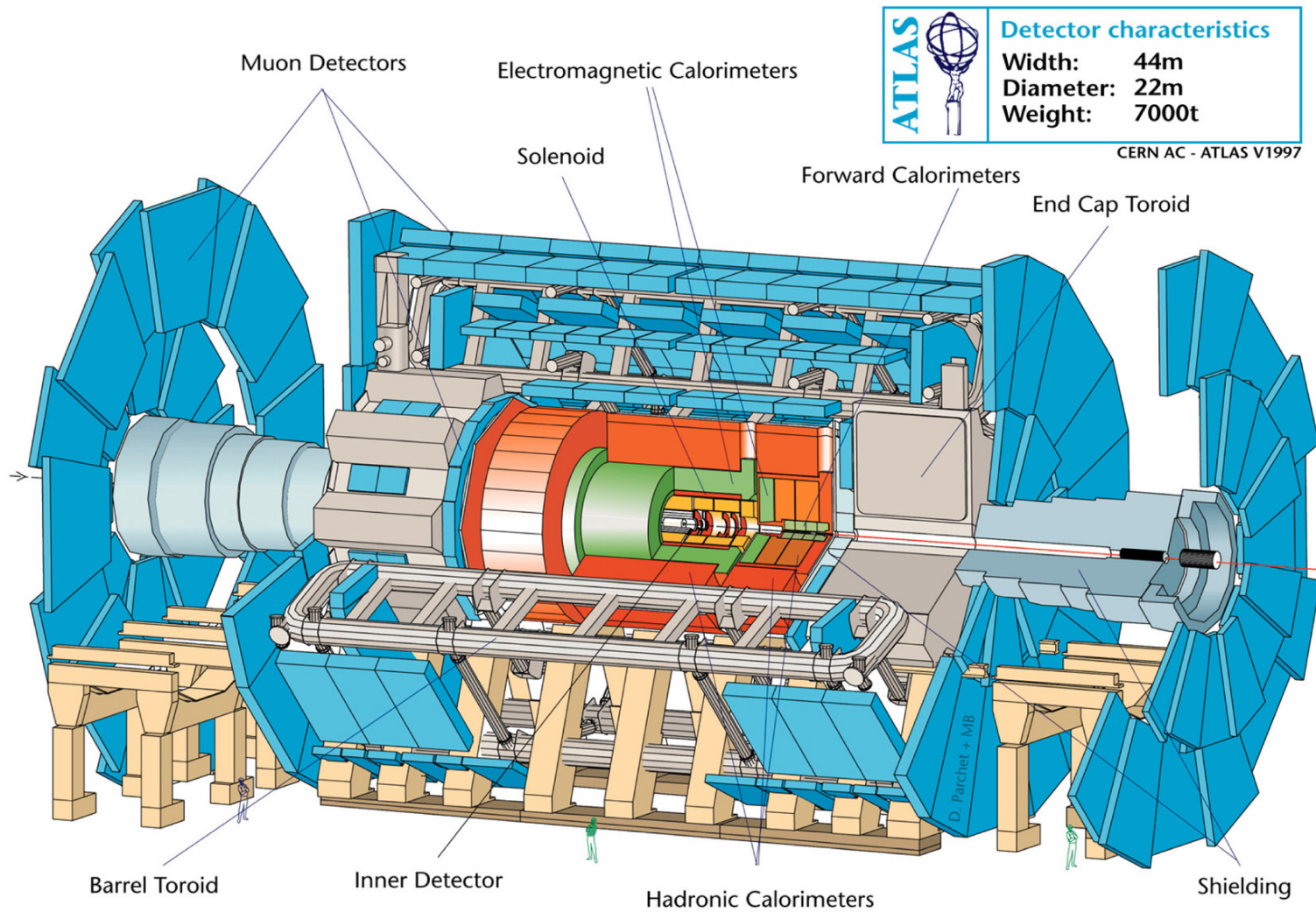
Gravedad	Débil	Electromagnética	Fuerte
Gravitón (no observado aún)	$W^+ W^- Z$	Fotón	gluón
Todas	Quarks y Leptones	Quarks, Leptones cargados y $W^+ W^- Z$	Quarks y Gluones



Fuerza débil
(las partículas W^+ y W^-)

Ésta es la partícula que vamos a estudiar

ATLAS



Detector characteristics

Width: 44m
Diameter: 22m
Weight: 7000t

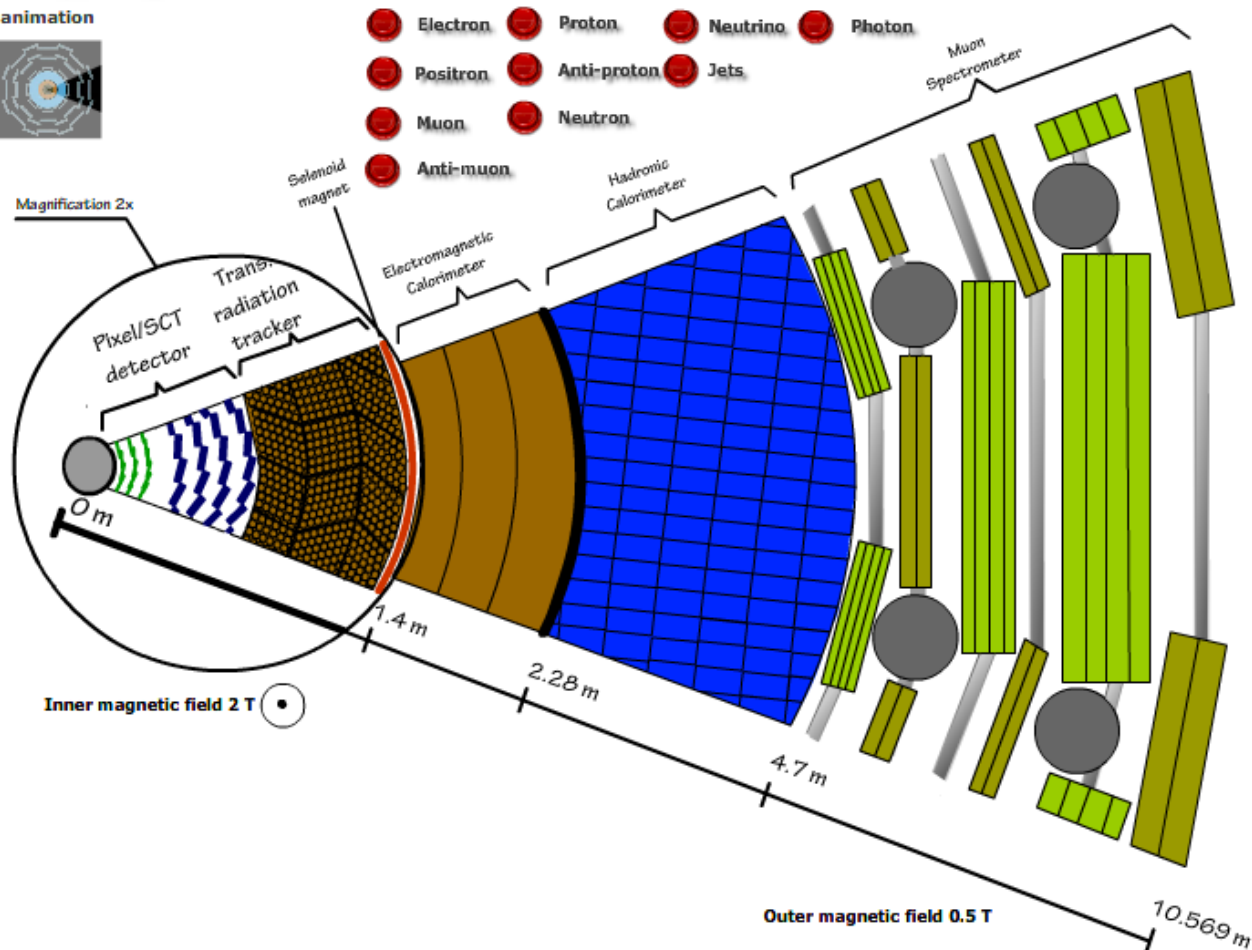
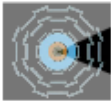
CERN AC - ATLAS V1997

Detectando las Partículas

Octante de la sección frontal del detector ATLAS

ATLAS

animation

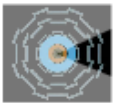


Detectando las Partículas

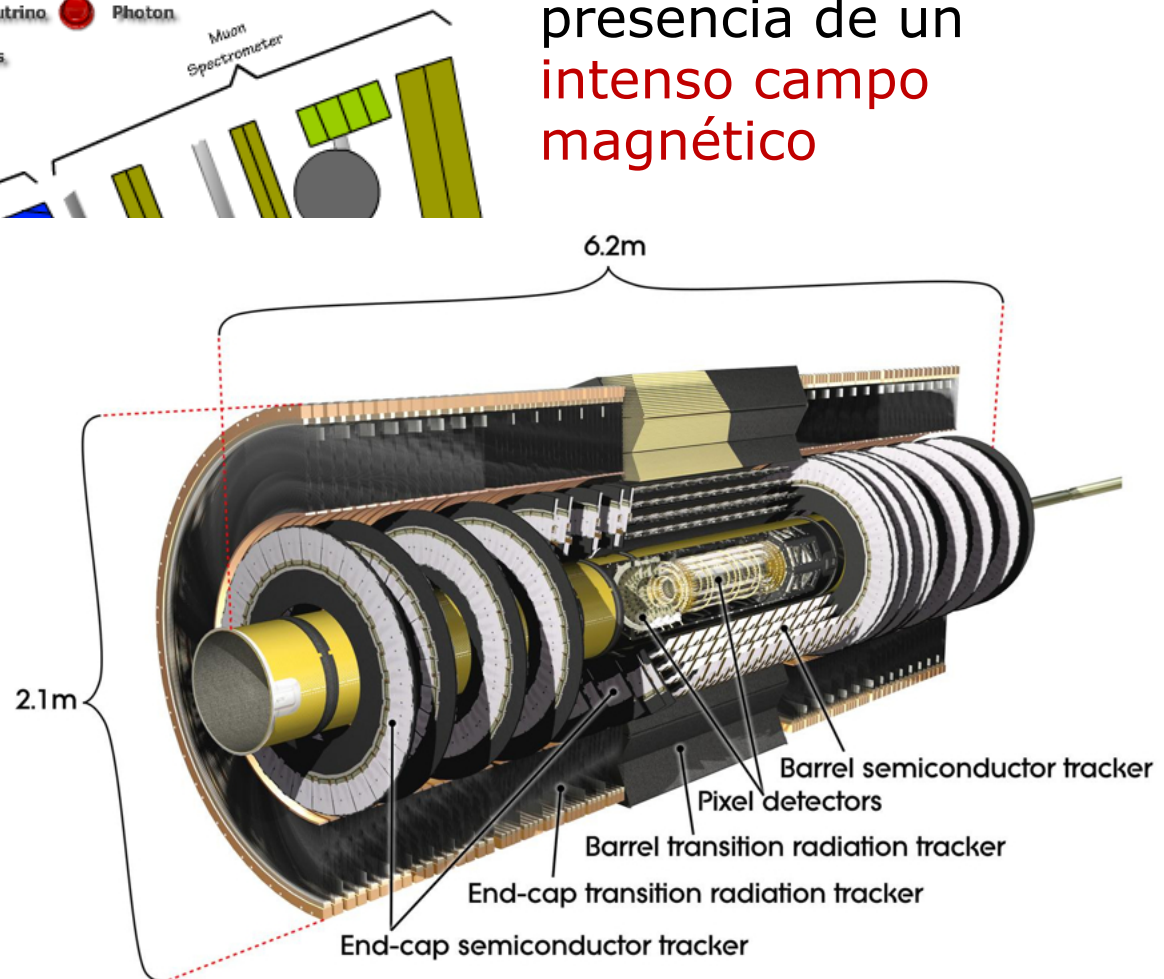
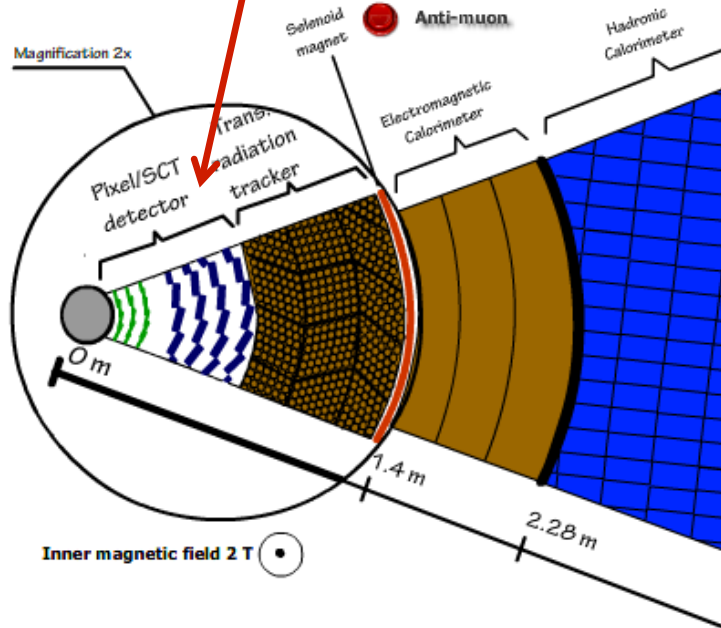
Detector de trazas (detecta las partículas cargadas $e^\pm$, $\mu^\pm$, $\pi^\pm$, p)

ATLAS

animation



- Electron
- Proton
- Neutrino
- Photon
- Positron
- Anti-proton
- Jets
- Muon
- Neutron
- Anti-muon



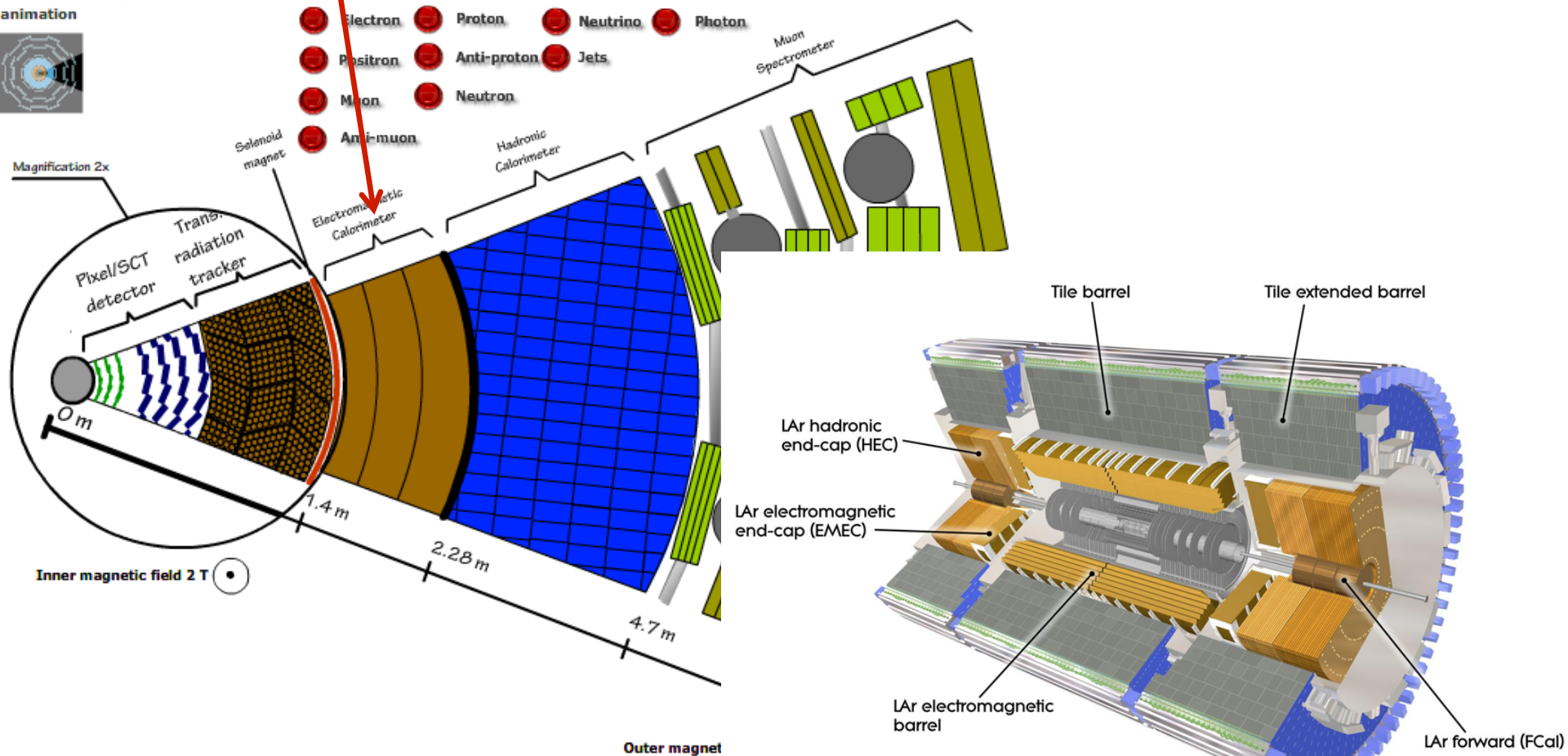
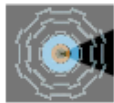
Además las trazas de las partículas cargadas se curvan por la presencia de un **intenso campo magnético**

Detectando las Partículas

Calorímetro electromagnético: $e^\pm$ y γ depositan toda su energía al interactuar con las partículas de los átomos del material

ATLAS

animation

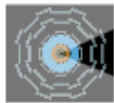


Detectando las Partículas

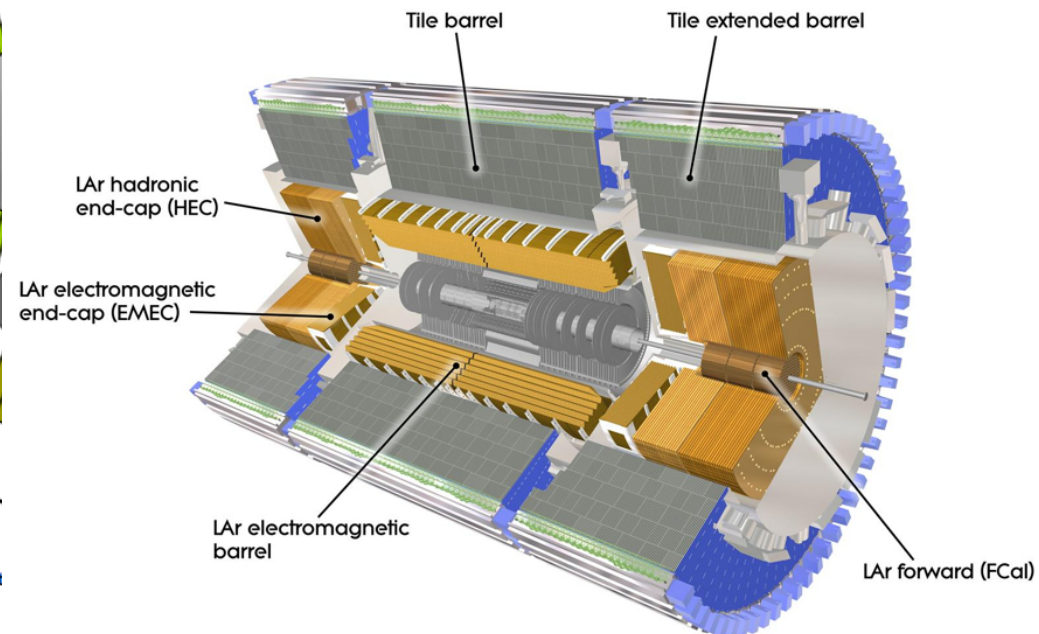
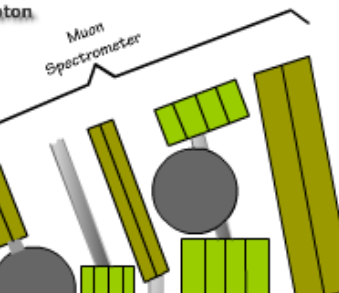
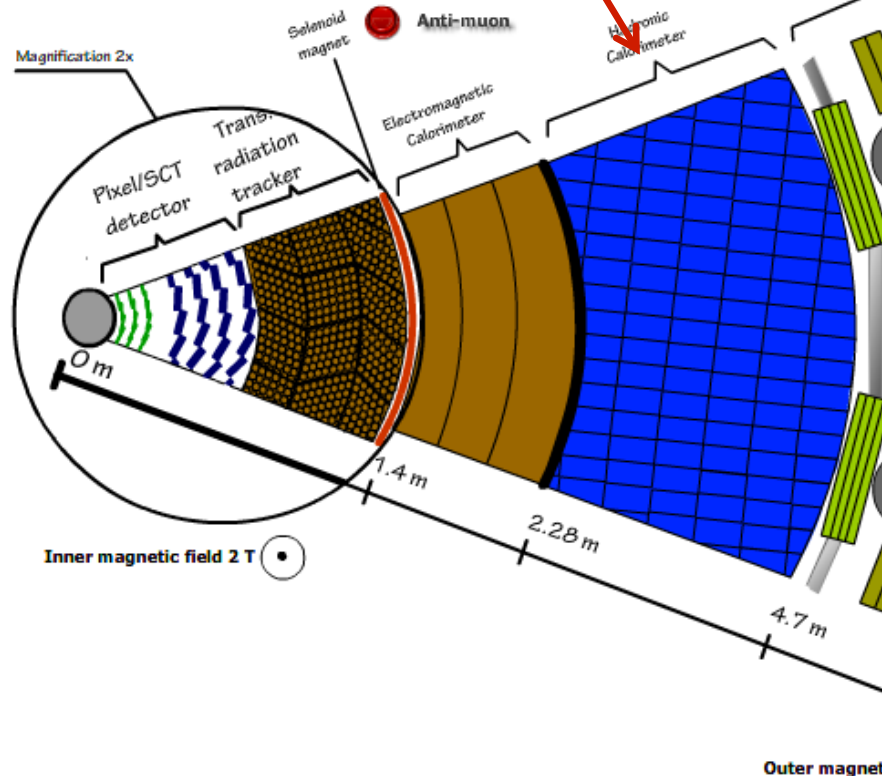
Calorímetro hadrónico: $\pi^\pm$, p, n y el resto de los hadrones depositan toda su energía

ATLAS

animation



- Electron
- Proton
- Neutrino
- Photon
- Positron
- Anti-proton
- Jets
- Muon
- Neutron
- Anti-muon

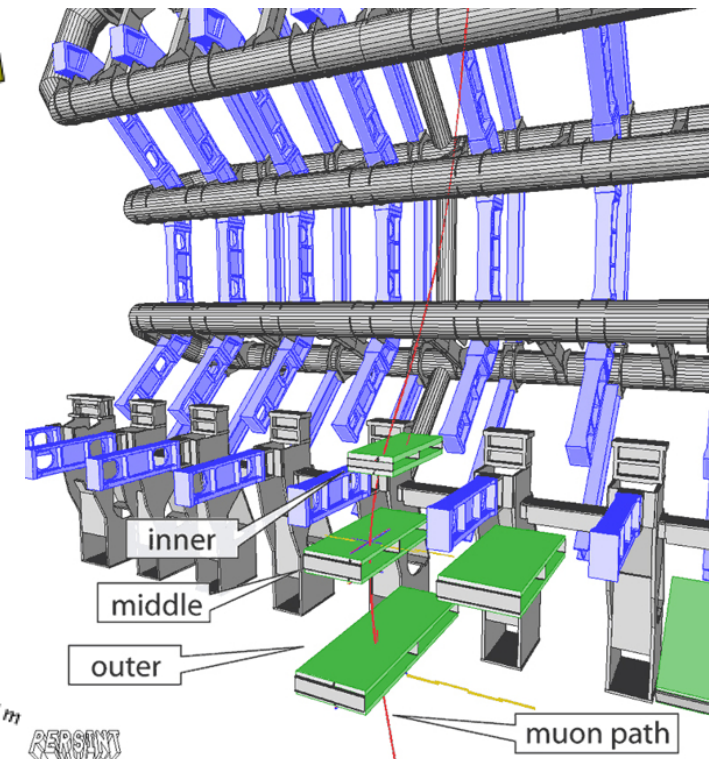
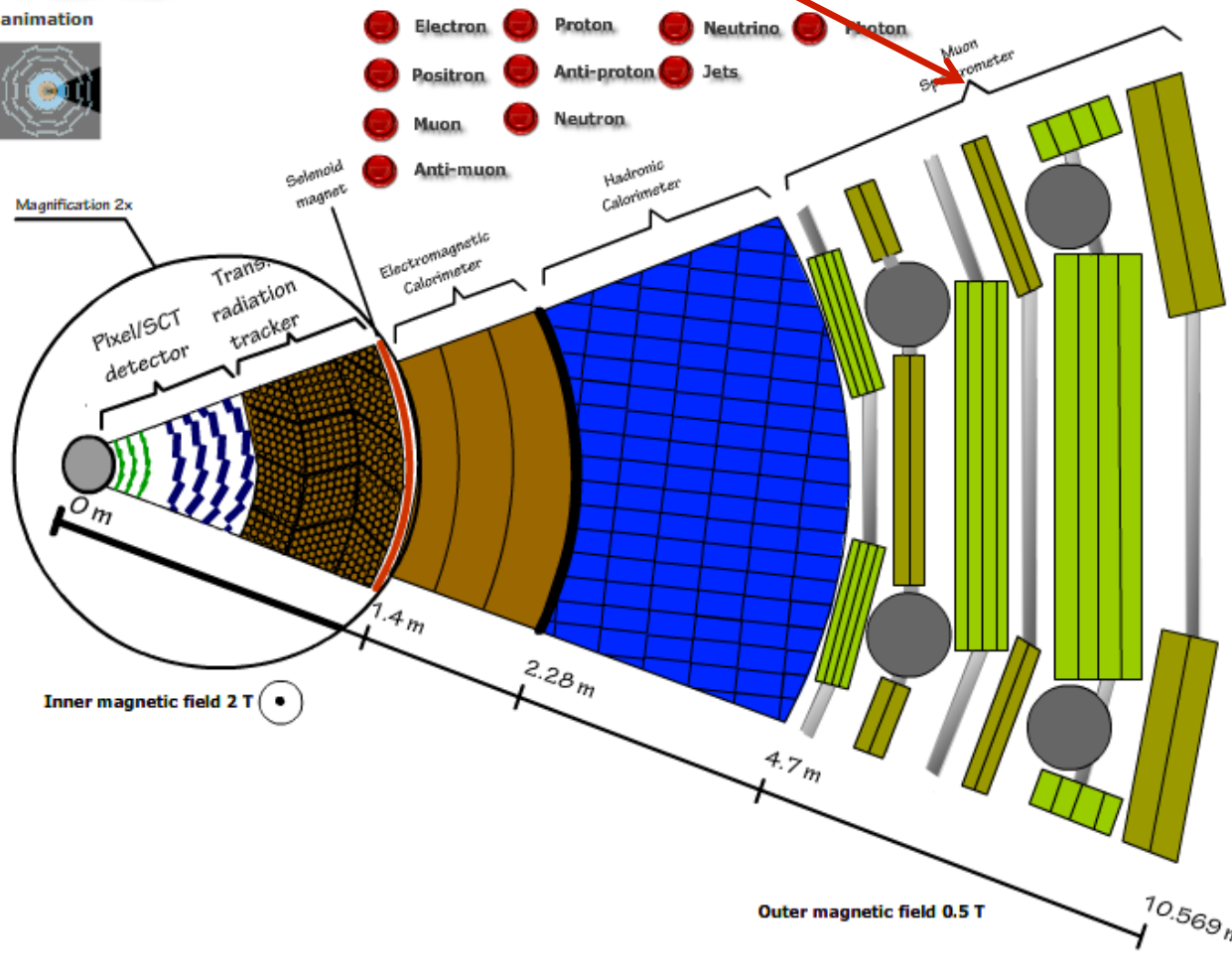
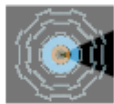


Detectando las Partículas

Detector de muones: los muones ($\mu^\pm$) apenas dejan energía en los calorímetros y escapan hasta la parte externa del detector

ATLAS

animation

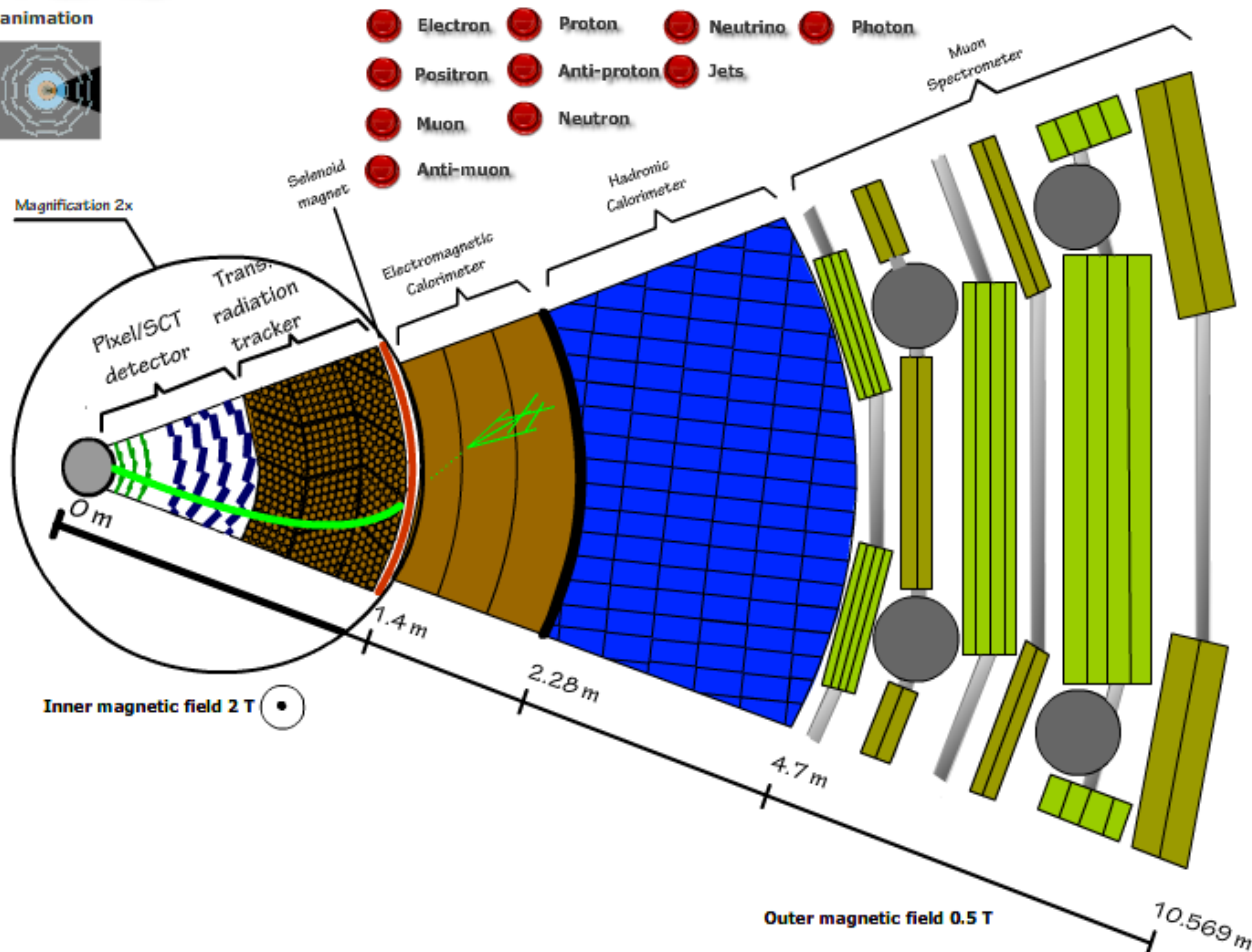
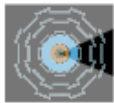


Detectando las Partículas

Electrón: deja su trayectoria en el detector de trazas y toda su energía en el **calorímetro electrónico**

ATLAS

animation



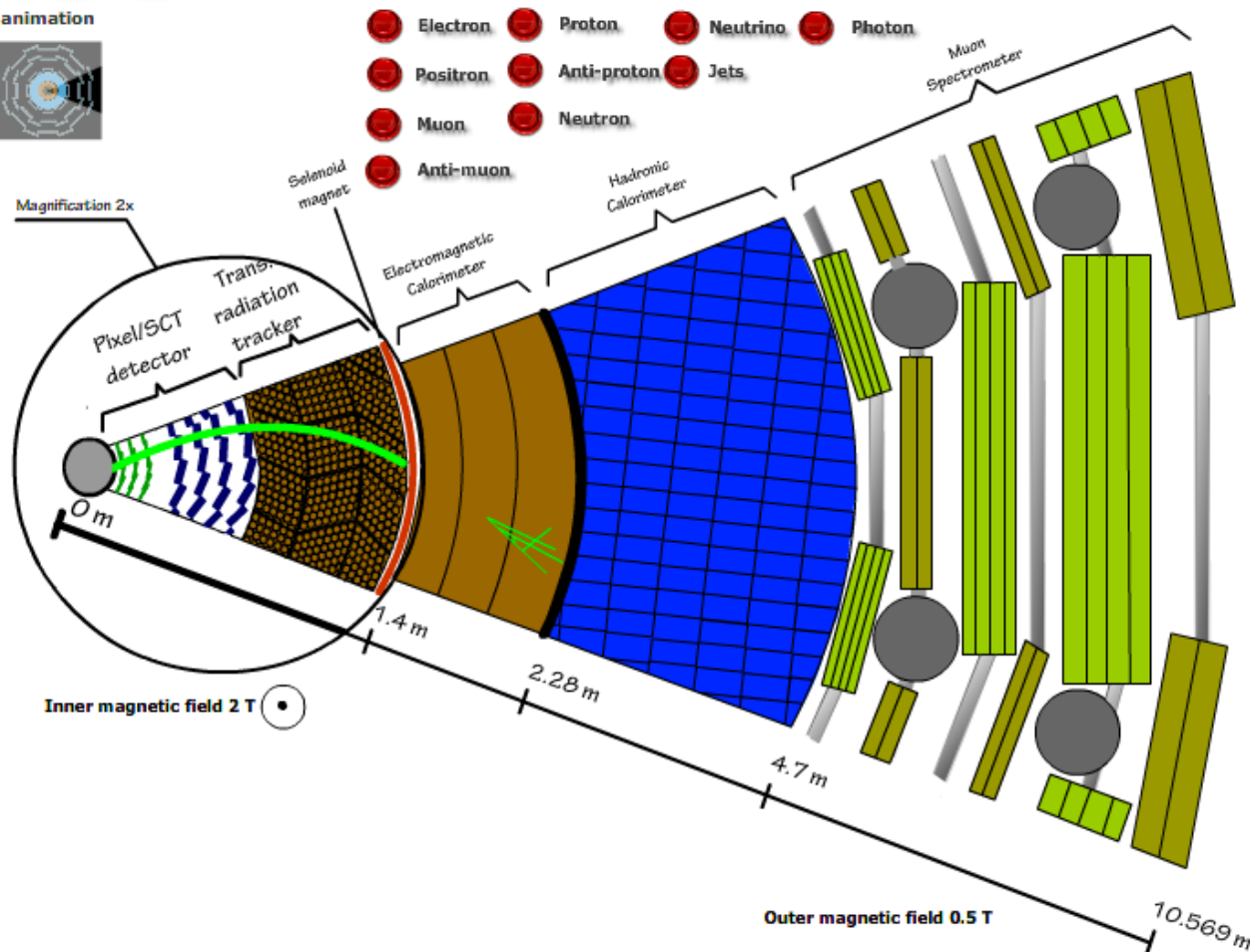
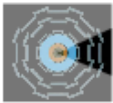
Su trayectoria se curva en el detector de trazas debido al campo magnético presente.

Detectando las Partículas

Positrón: deja su trayectoria en el detector de trazas y toda su energía en el **calorímetro electrónico**

ATLAS

animation



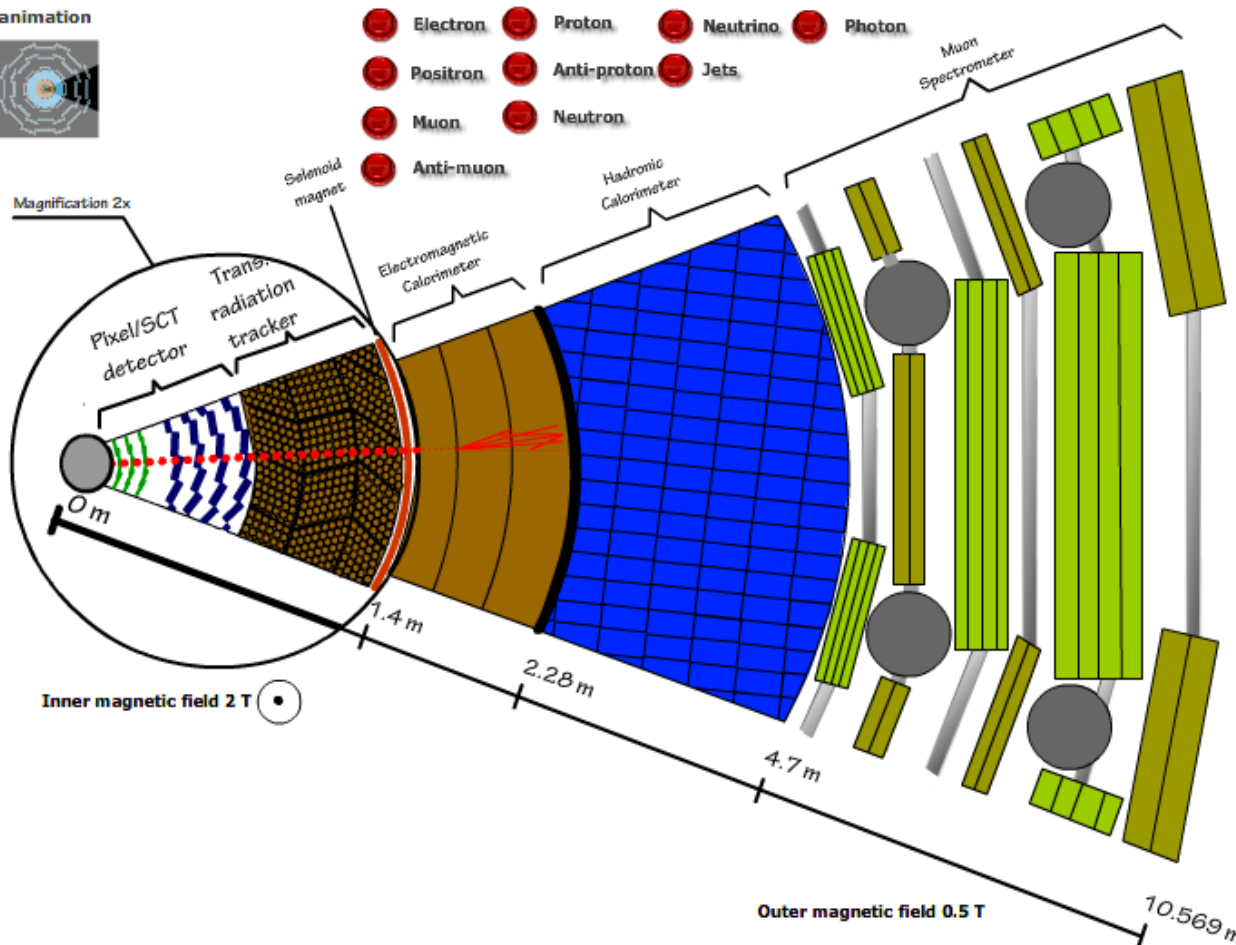
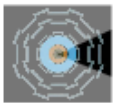
Su trayectoria se curva al contrario que el electrón (por su distinta carga eléctrica)

Detectando las Partículas

Fotón: Como no tiene carga, no se observa en el detector de trazas. Deja toda su energía en el **calorímetro electrónico**

ATLAS

animation



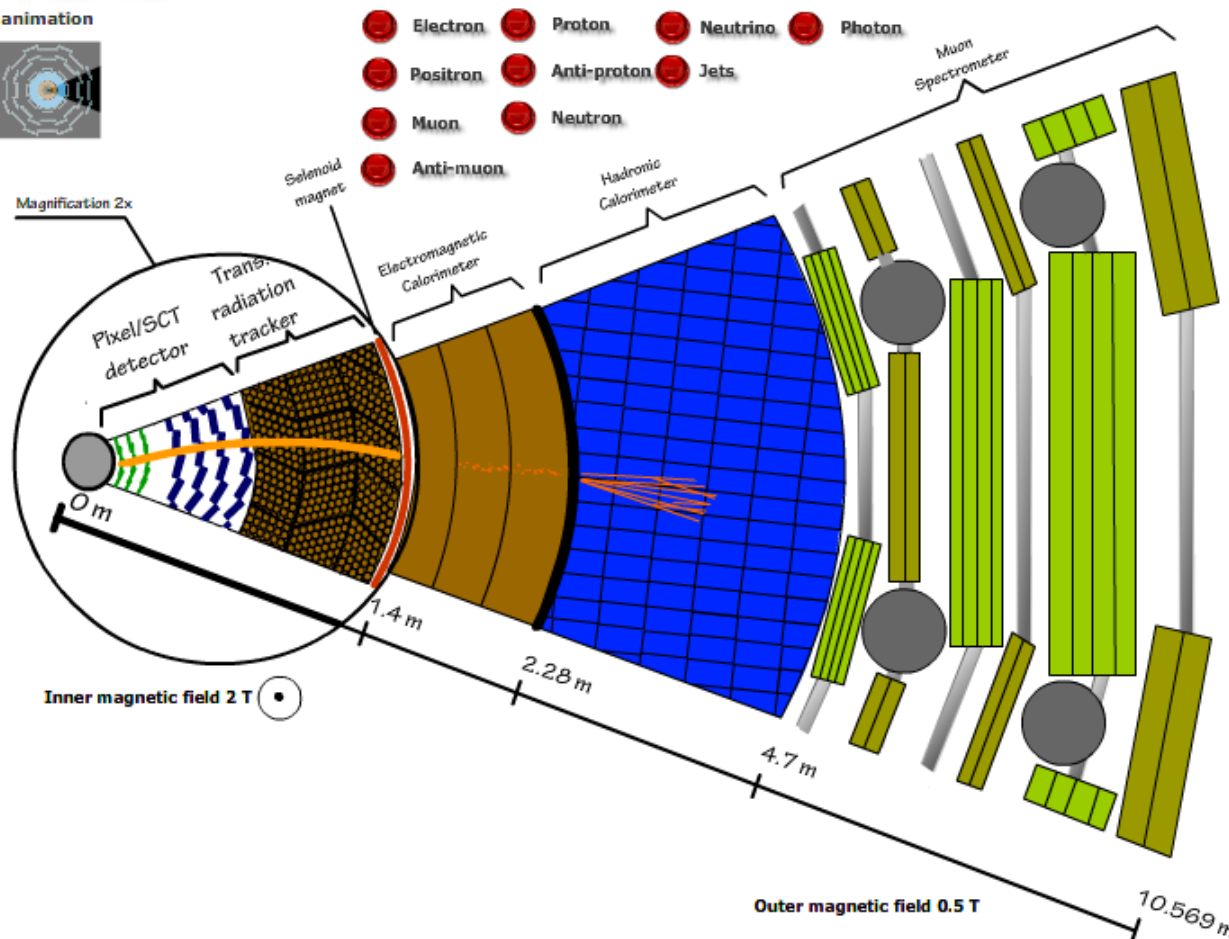
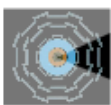
Su trayectoria (recta) se reconstruye a partir de la señal dejada en el calorímetro

Detectando las Partículas

Protón y pion: como hadrones cargados, dejan su trayectoria en el detector de trazas y depositan su energía tanto en el **calorímetro electrónico** como en el **calorímetro hadrónico**

ATLAS

animation



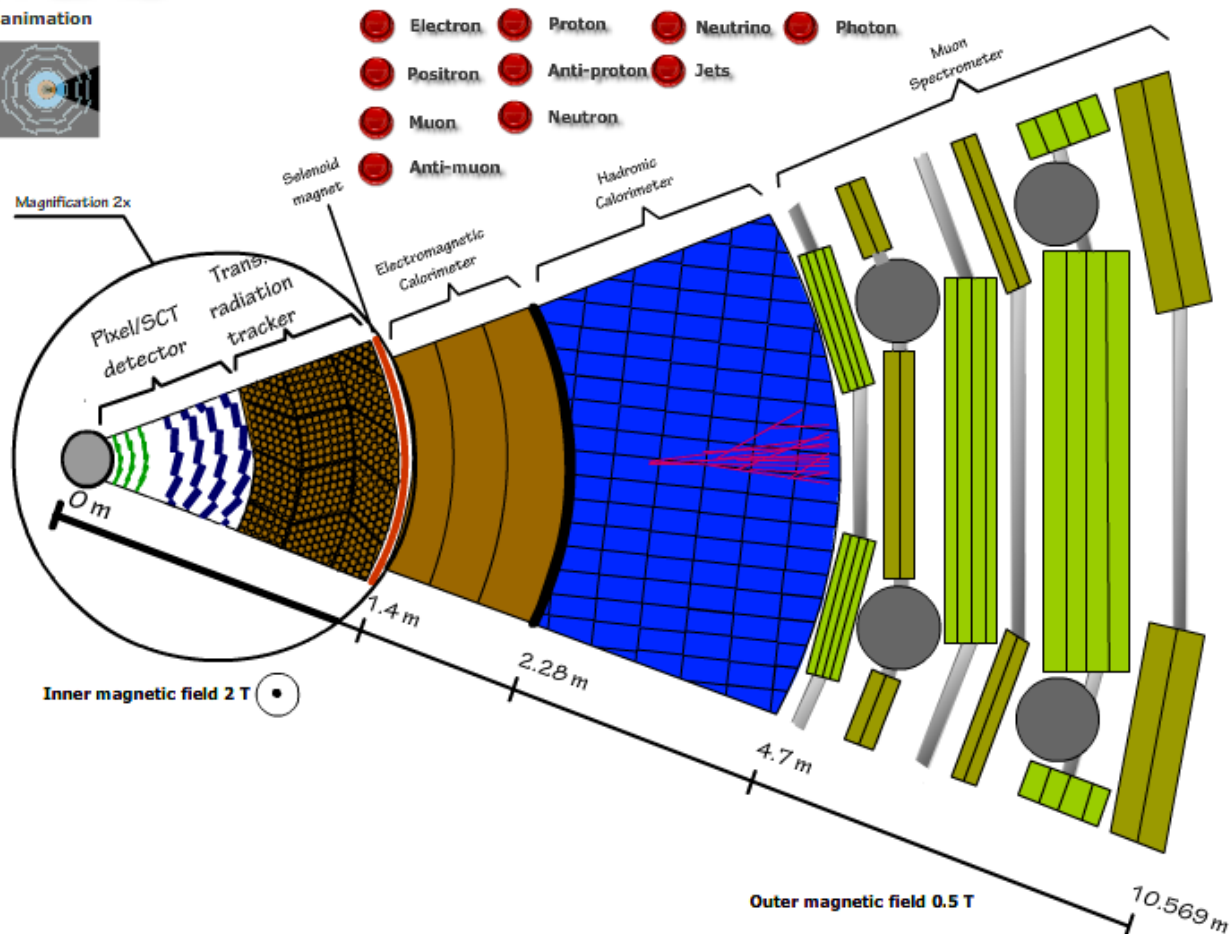
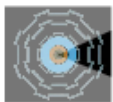
Su trayectoria se curva según su carga

Detectando las Partículas

Neutrón: al ser neutro no deja trayectoria en el detector de trazas pero sí deposita su energía tanto en el **calorímetro electrónico** como en el **calorímetro hadrónico**

ATLAS

animation

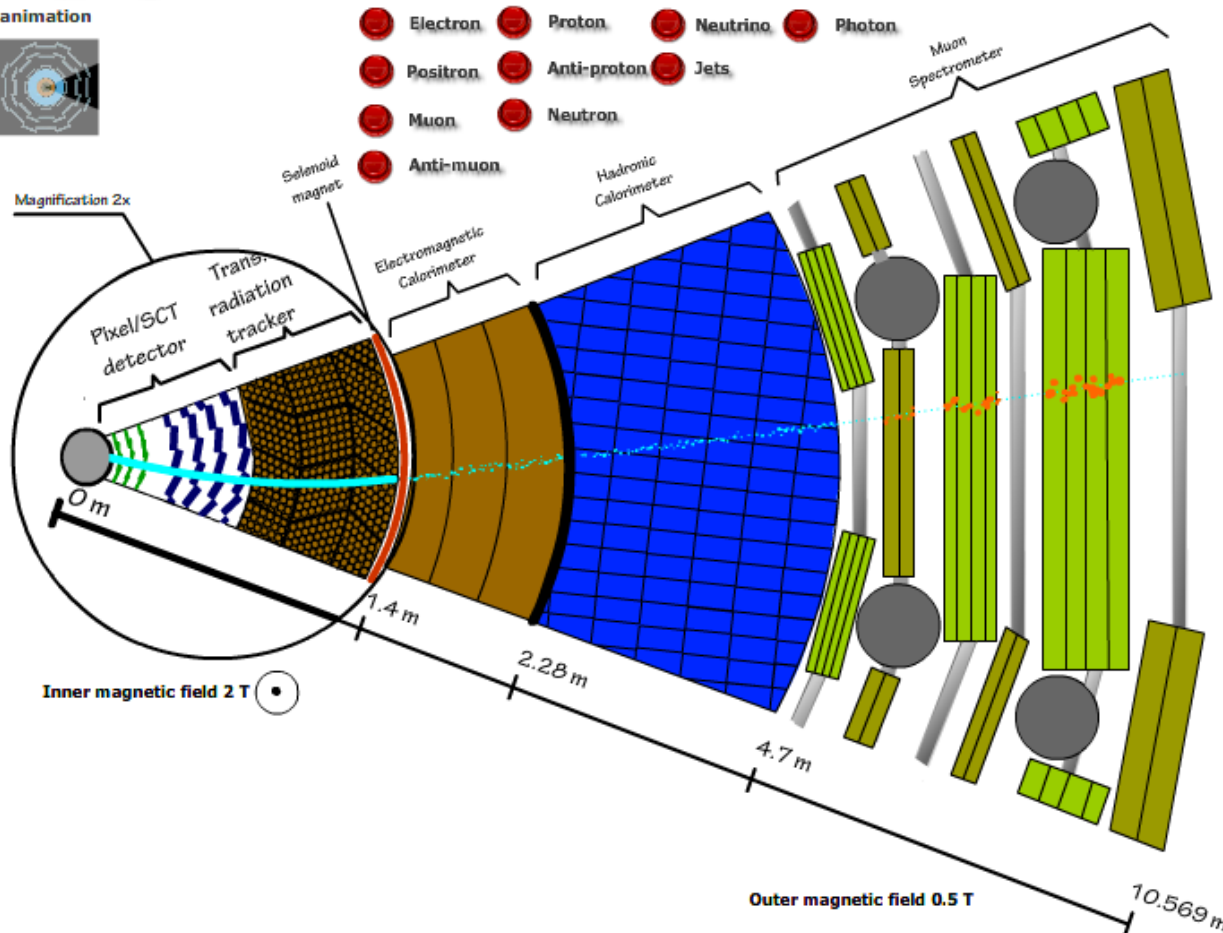
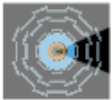


Detectando las Partículas

Muón: escapa del detector dejando traza en todas sus componentes, en el detector de trazas, en el **calorímetro electrónico**, en el **calorímetro hadrónico** y en el **detector de muones**

ATLAS

animation



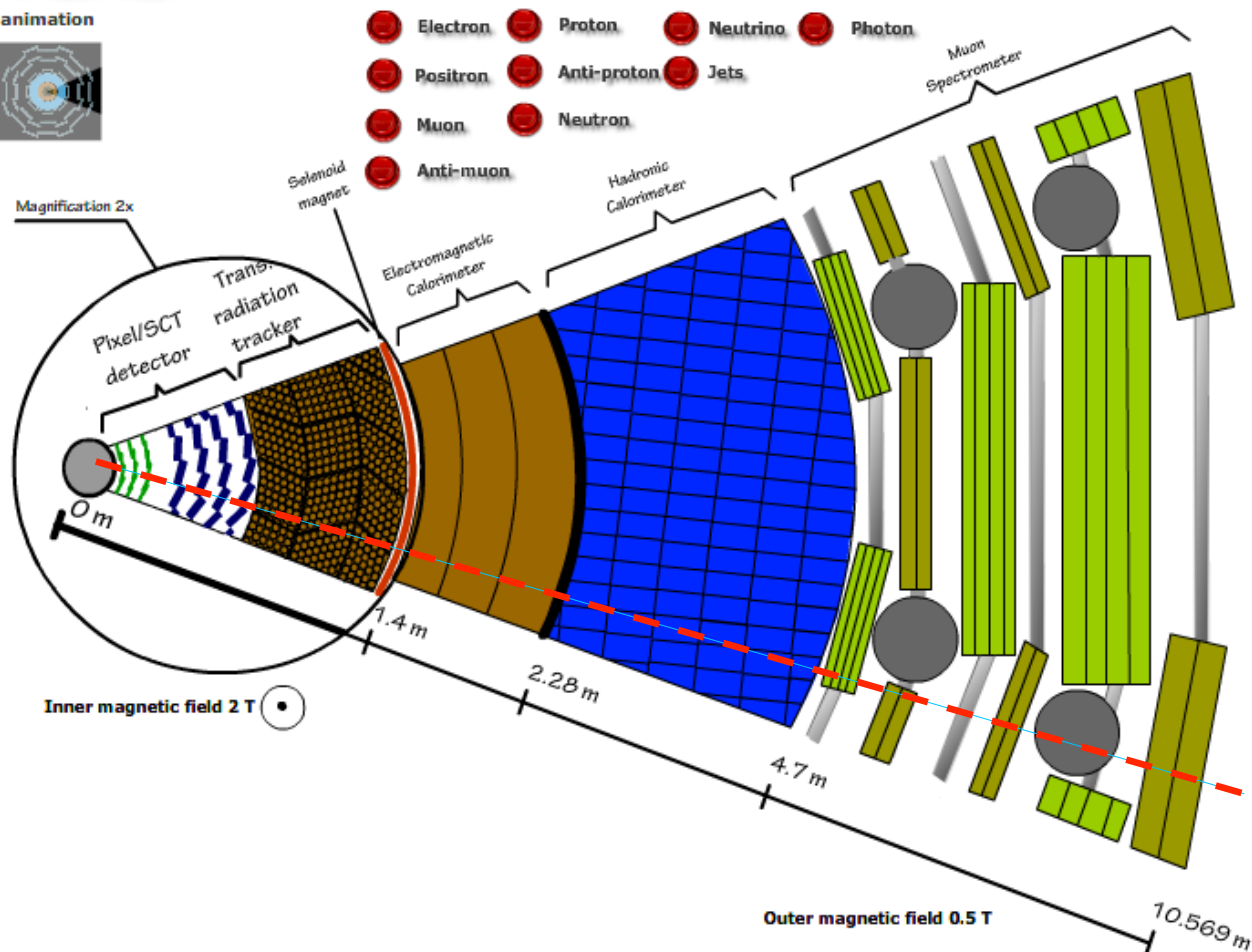
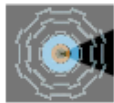
Su trayectoria se curva según su carga y nos permite distinguir **muones** de **antimuones**

Detectando las Partículas

Neutrinos: escapa del del detector SIN DEJAR TRAZAS!

ATLAS

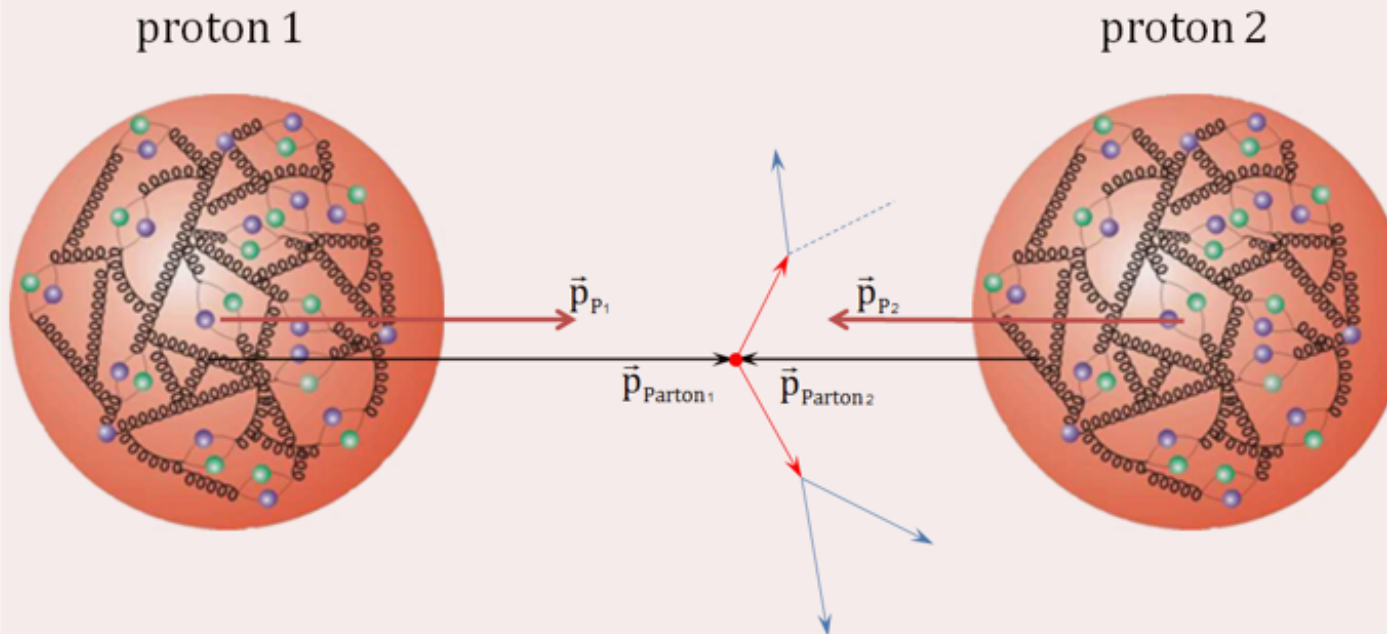
animation



Su trayectoria se reconstruye calculando la energía "perdida" que se lleva

Cómo se produce el bosón W en LHC?

Interactions of constituents of the colliding protons, the so called partons (quarks, gluons)



$\vec{p}_{P_1}$... momentum proton 1

$\vec{p}_{P_2}$... momentum proton 2

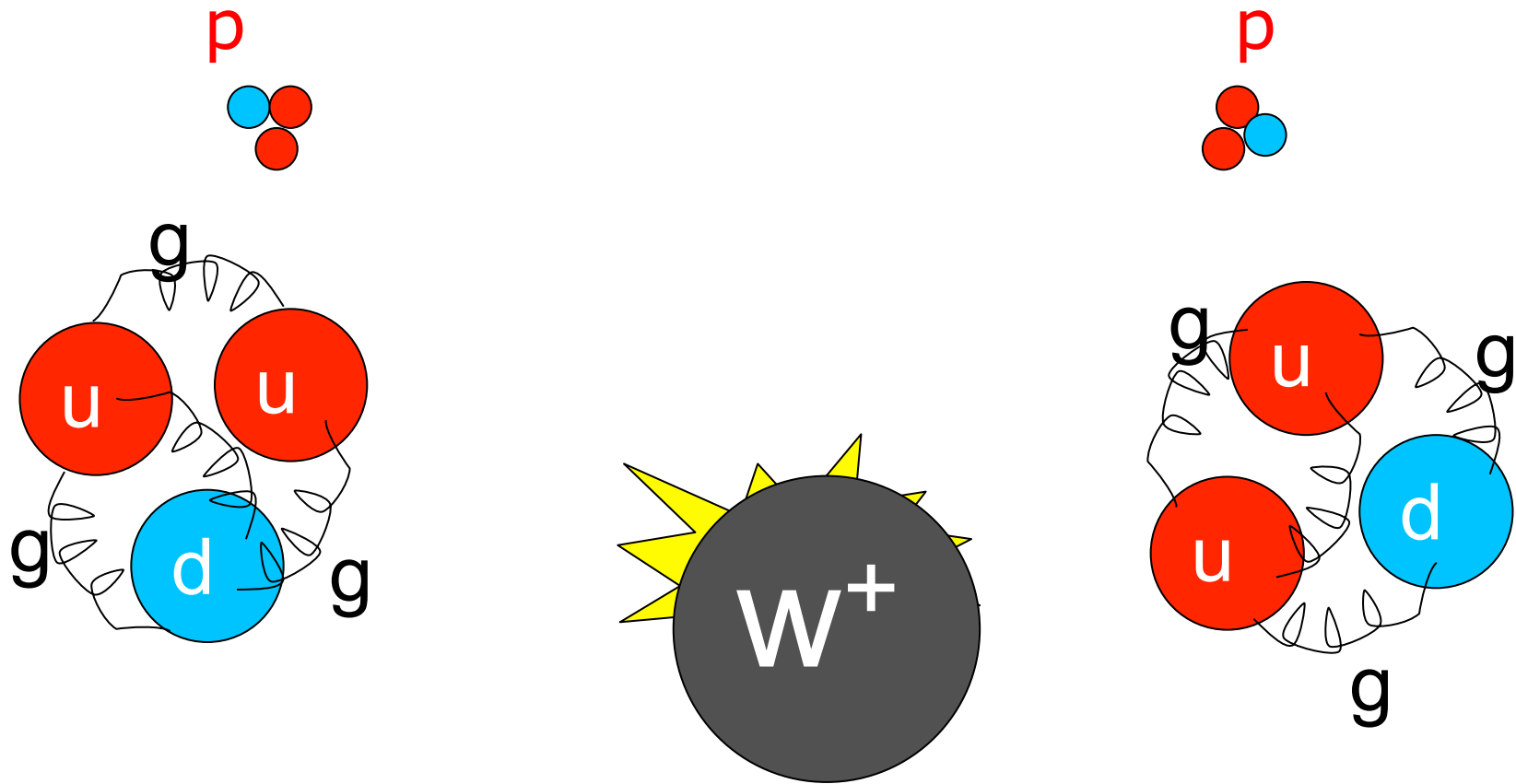
• interaction vertex

$\vec{p}_{\text{Parton } 1}$... momentum parton 1

$\vec{p}_{\text{Parton } 2}$... momentum parton 2

Cómo se produce el bosón W en LHC?

En la colisión entre protones son sus constituyentes, los **quarks** y **gluones**, los que interaccionan

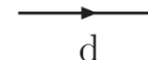
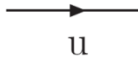


Cómo se produce el bosón W en LHC (colisión pp)?

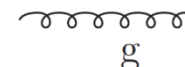
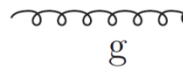
W^+

W^-

Colisión gluón-quark

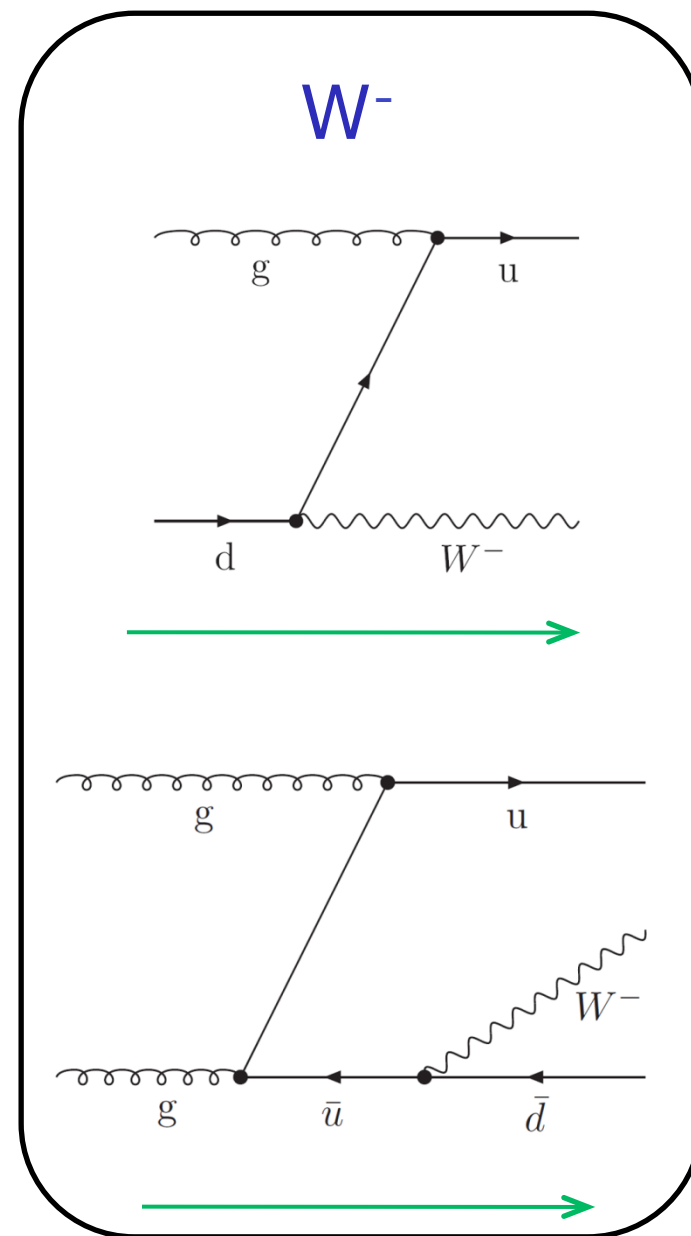
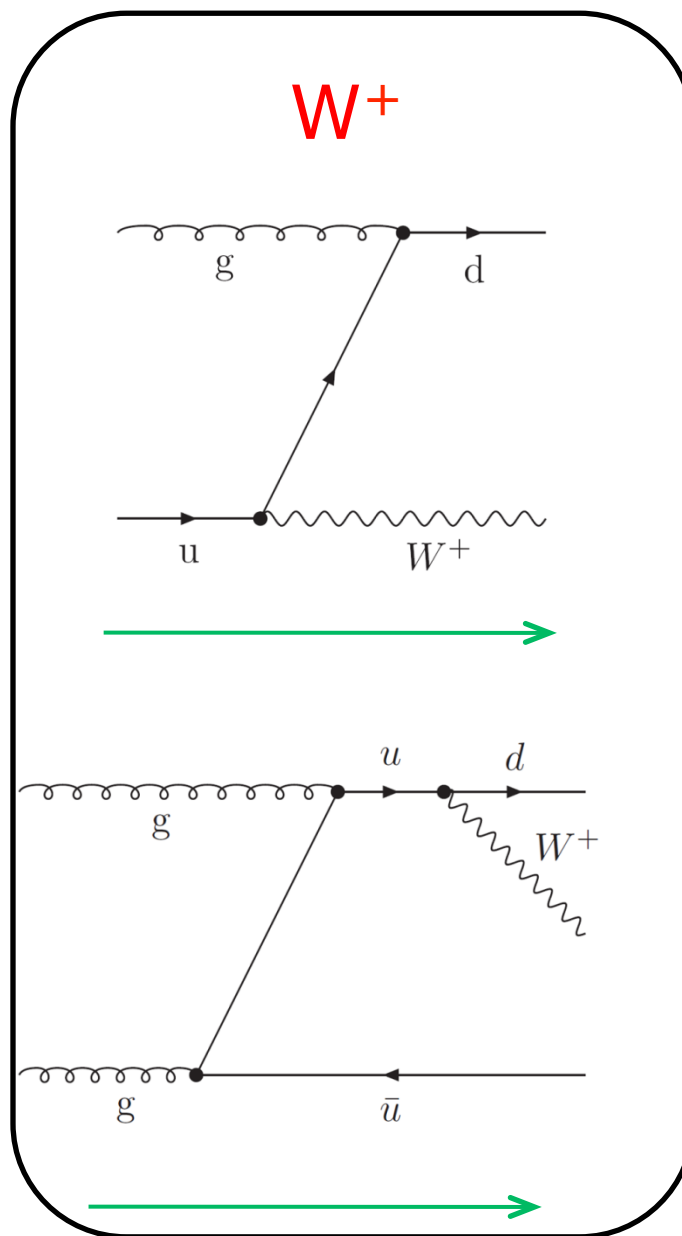


Colisión gluón-gluón



Cómo se produce el bosón W en LHC (colisión pp)?

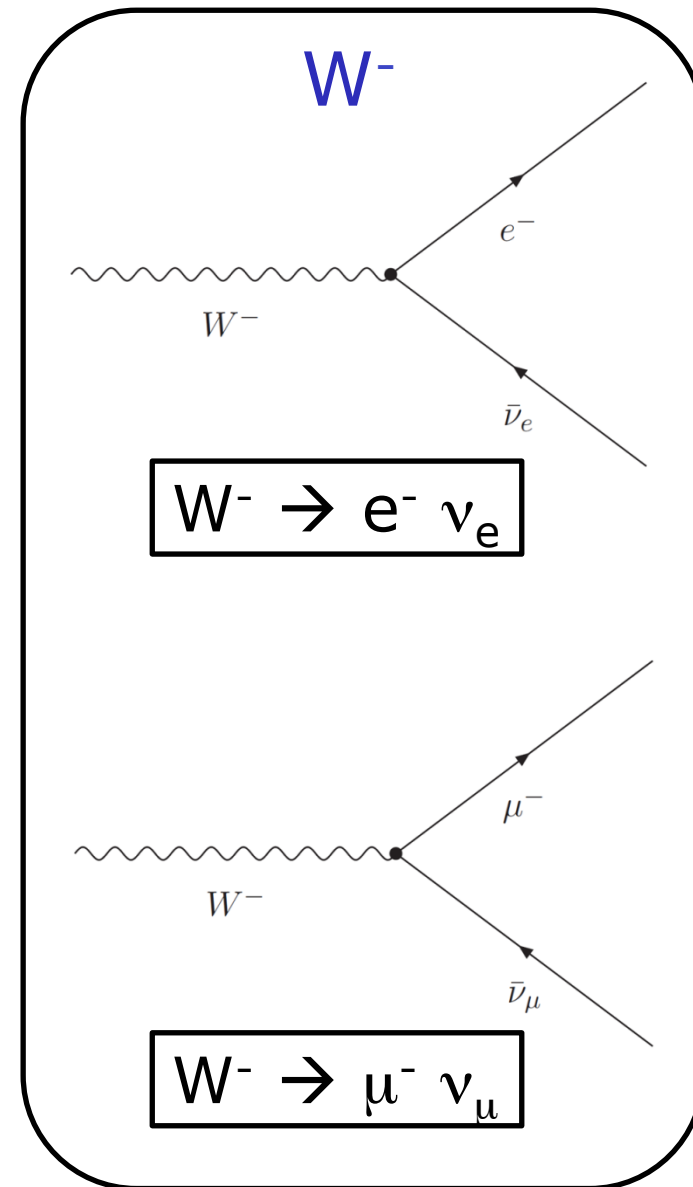
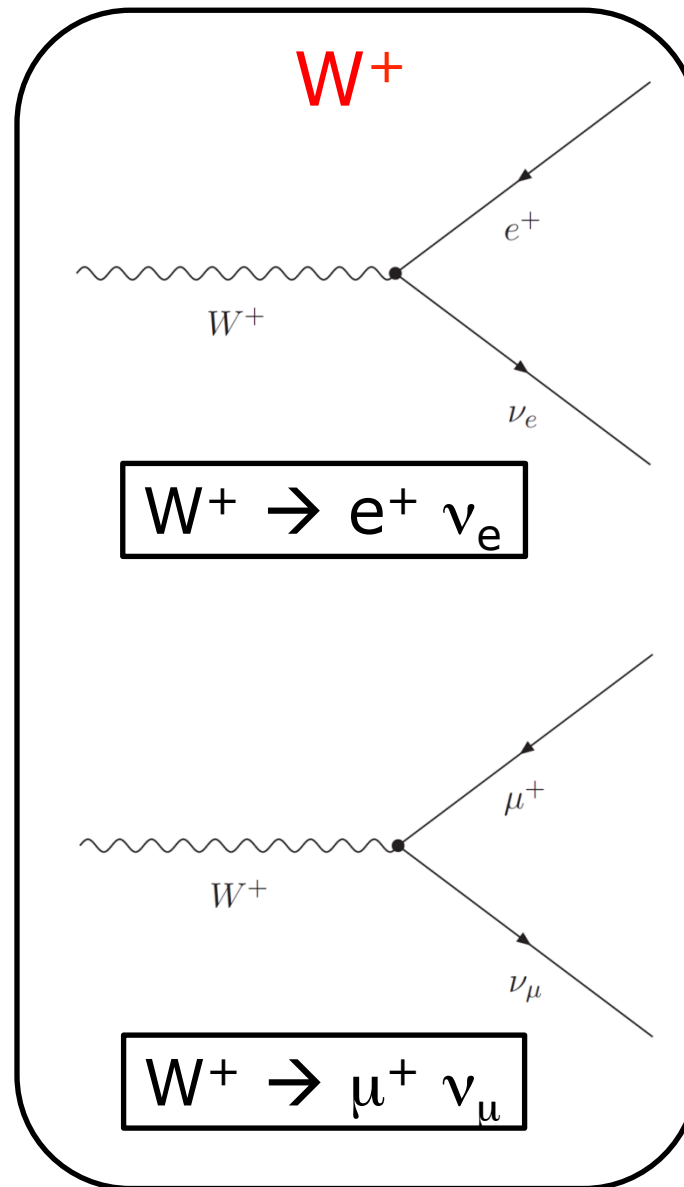
Colisión gluón-quark



La partícula W decae después de producida

En leptones cargados y neutrinos

Por conservación de carga eléctrica, el leptón tiene la misma carga que el W



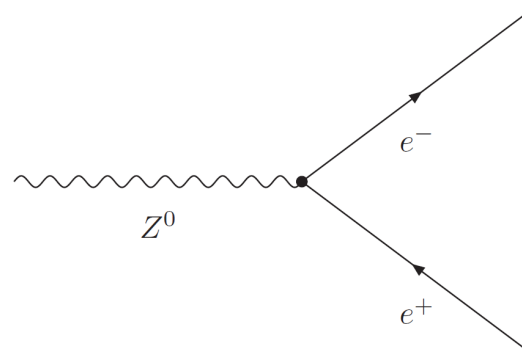
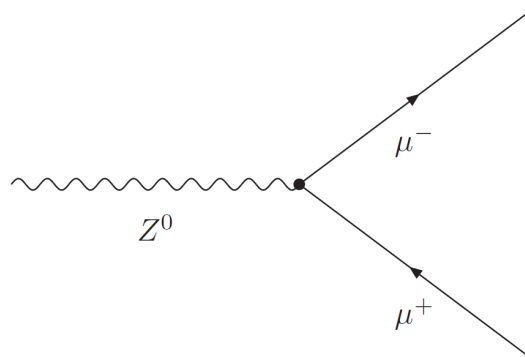
Estas son las señales que vamos a buscar

Hay procesos con señales PARECIDAS pero que no corresponden a los que buscamos. A éstos los llamamos "background" (ruido). Por ejemplo:

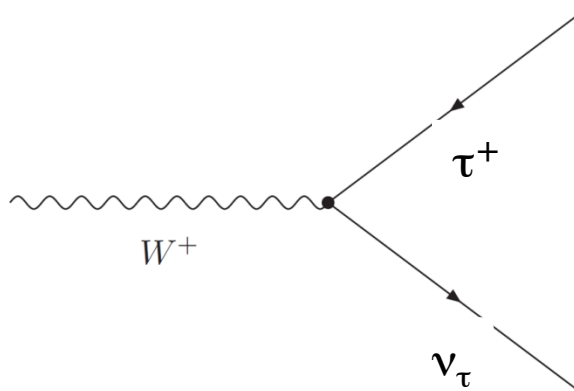
Decaimientos de la partícula Z

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

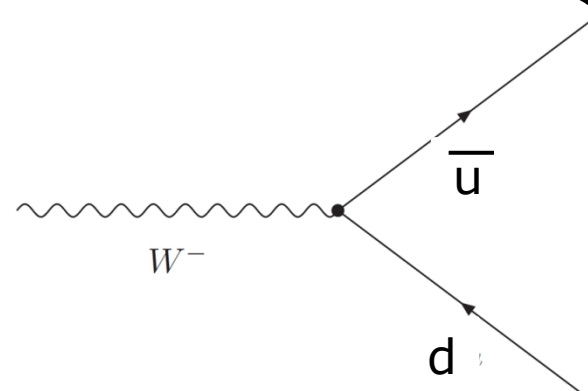
$$Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$$



Decaimientos del W en leptones tau o en quarks (que producen jets)



$$W^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$$



$$W^- \rightarrow \bar{u} d$$

Estas señales **las descartaremos**

Ejercicio 1)

Descubre la estructura del protón

Selecciona eventos de señal (aquellos en los que se ha producido un bosón W). Para ellos, determina la carga eléctrica del W. Determina el cociente entre el número de W⁺ y W⁻.

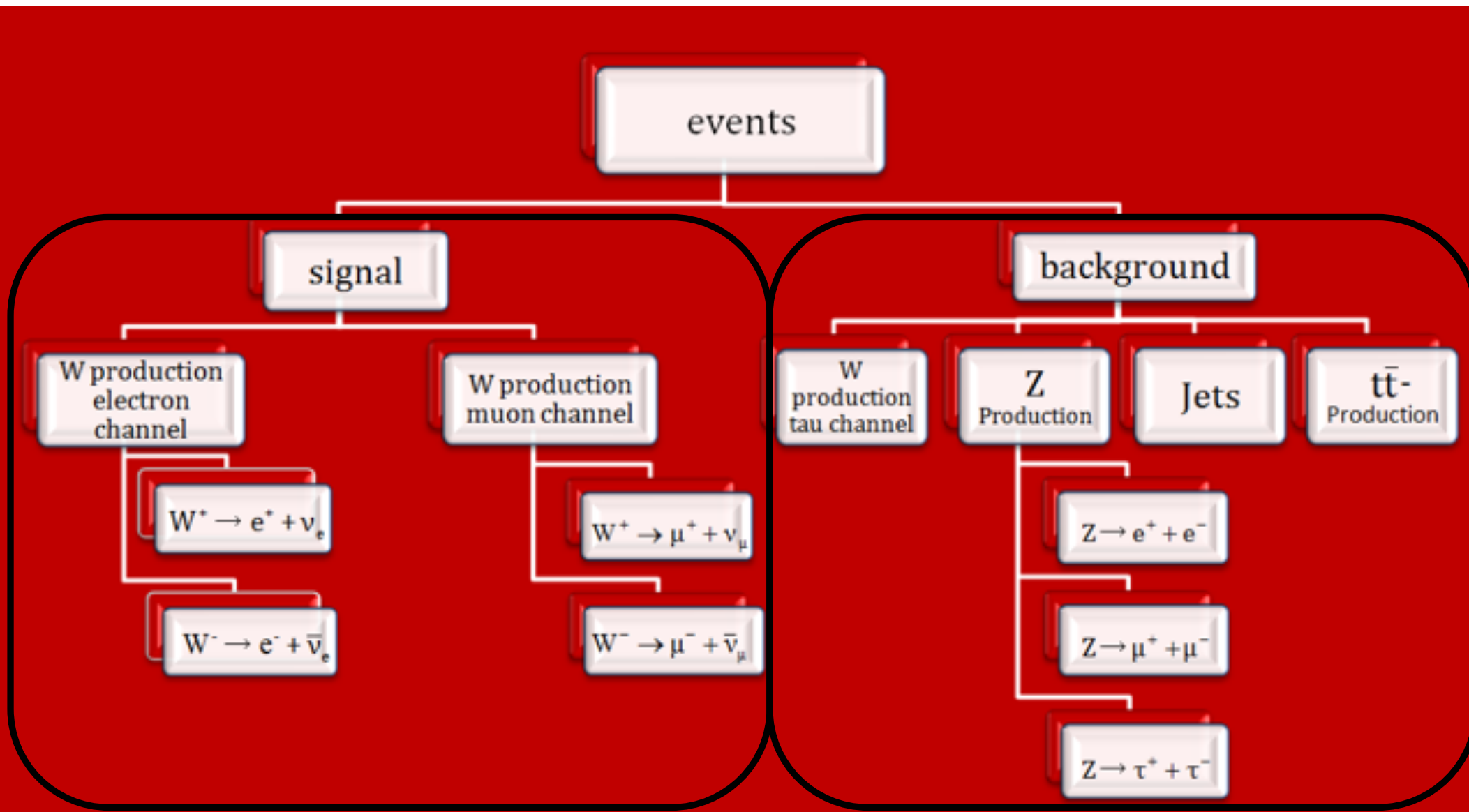
$$R^{\pm} \equiv (\text{número de } W^{+})/(\text{número de } W^{-})$$

¿Se producen en igual número?

¿Por qué?

¿Qué nos dice acerca de la estructura del núcleo?

Producción y decaimiento del bosón W



Cortes en la selección de eventos:

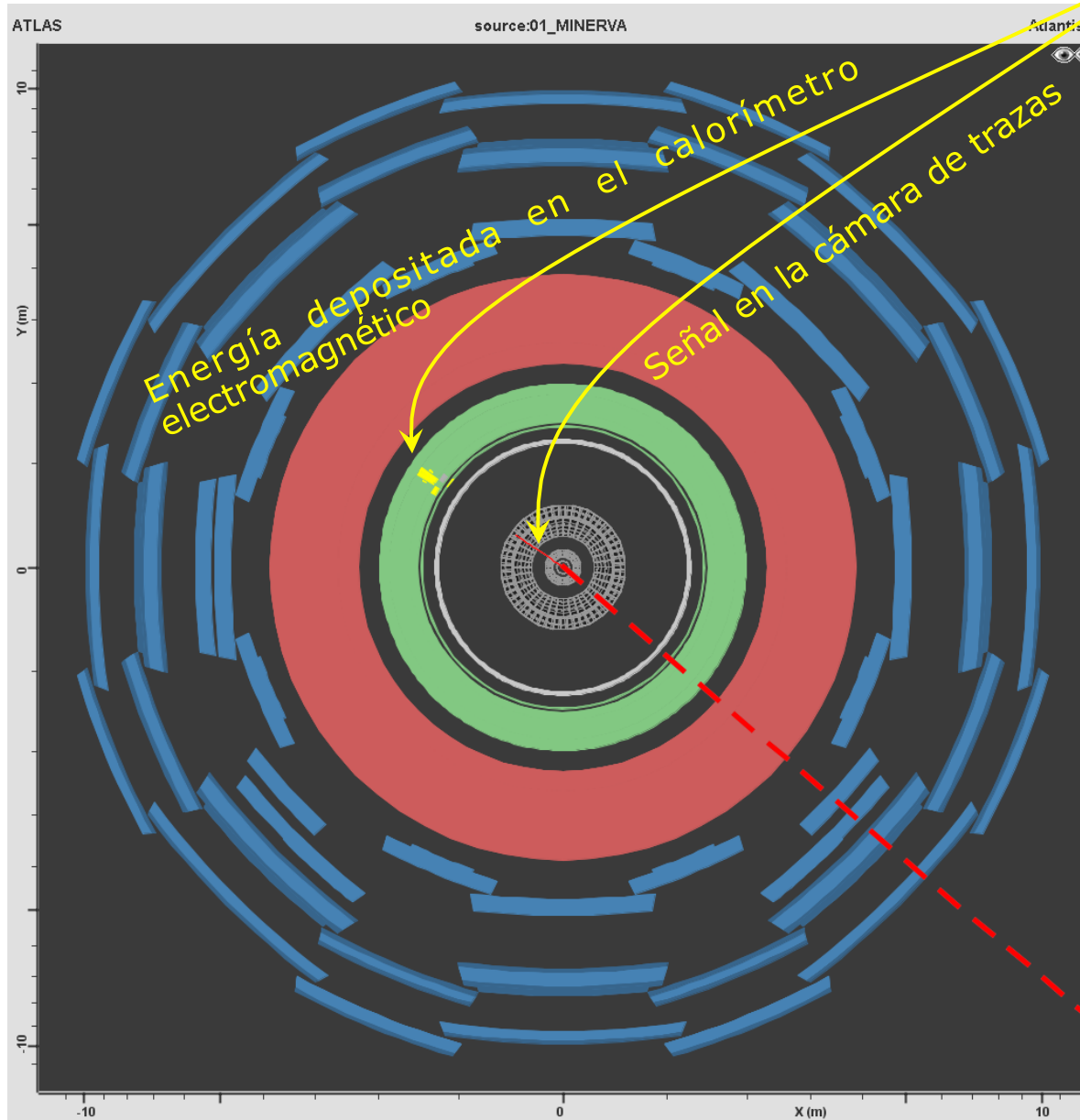
Con el fin de eliminar de manera eficiente los sucesos que consideramos "background" (i.e., no interesantes) aplicaremos ciertos criterios ("cortes").

El evento es una señal si satisface que

- Hay ÚNICAMENTE UN Leptón (electrón, positrón, muón o antimuón)
- que aparece aislado (NO dentro de un JET)
- Con momento transversal de al menos $|p_T| > 20 \text{ GeV}$
- El evento tiene momento transversal perdido (MET) de al menos 25 GeV
- y el ángulo entre el leptón cargado y la línea de MET está entre 160° y 200° (es decir, aproximadamente 180°)

Sólo así nos aseguramos de que una partícula W ha sido creada en el suceso (y ha decaído después)

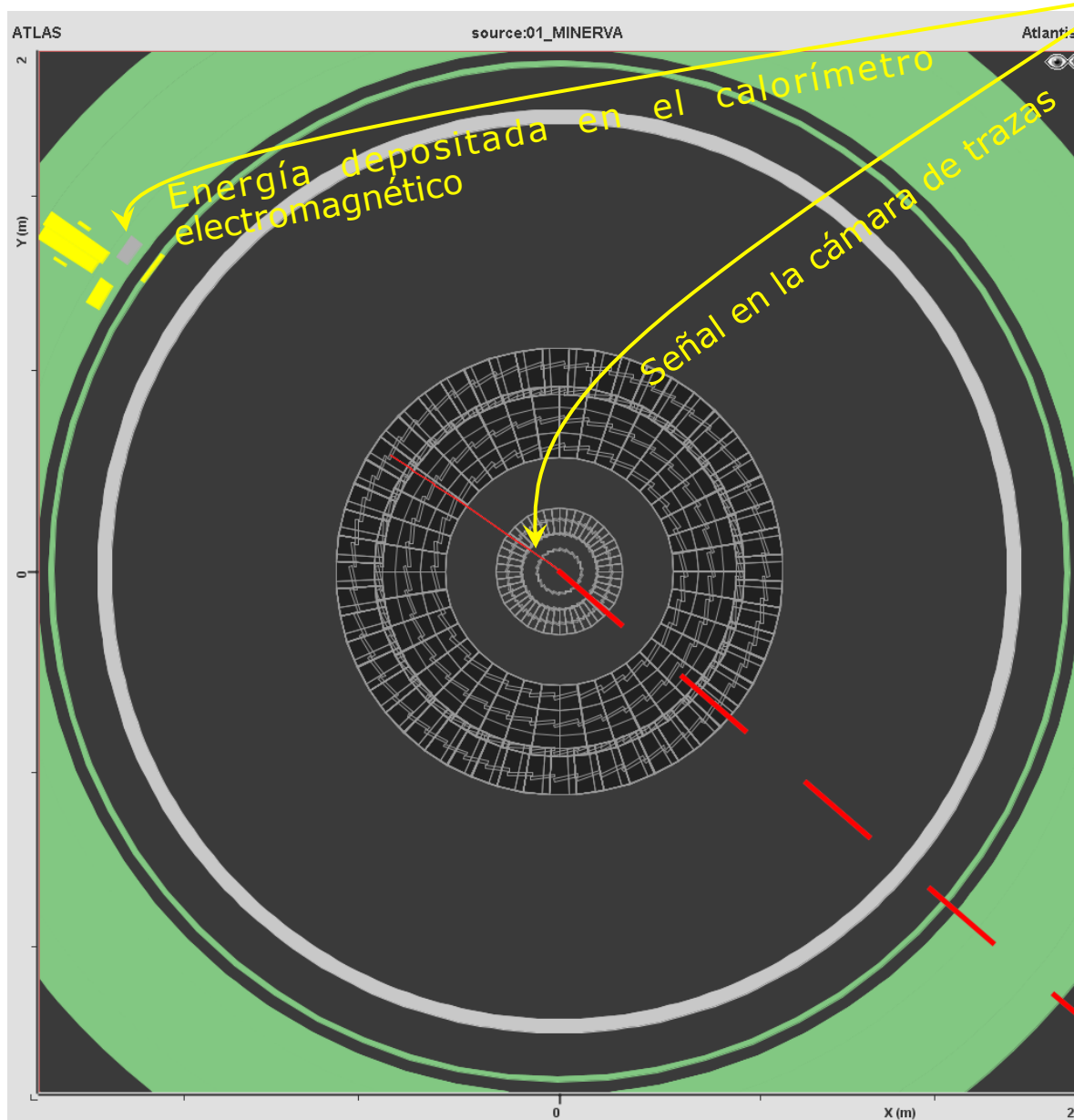
Decaimiento $W^- \rightarrow e^- \nu_e$



Observamos una partícula cargada que sólo deja energía en el calorímetro electromagnético

→ Es un e^- (o un e^+)

Decaimiento $W^- \rightarrow e^- \nu_e$



Observamos una partícula cargada que sólo deja energía en el calorímetro electromagnético

→ Es un e^- (o un e^+)

InDetTrack index: 0

PT=-42.576 GeV

$\eta = 0.753$

$\Phi = 145.561^\circ$

Px=-35.114 GeV

Py=24.078 GeV

Pz=35.202 GeV

numPixelHits = 3

numSCTHits = 9

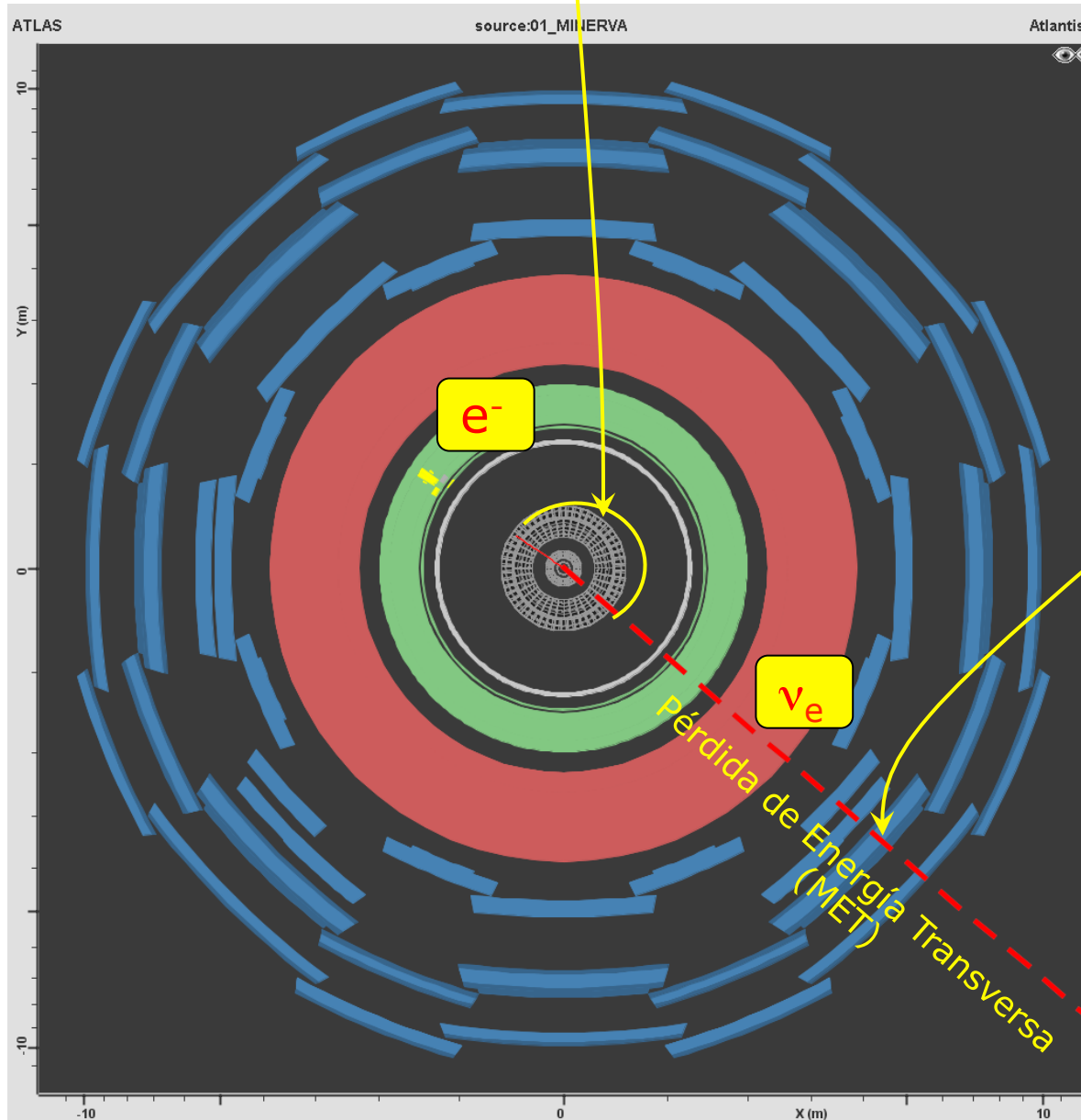
numTRTHits

PT<0 → carga negativa

Es un e^-

Decaimiento $W^- \rightarrow e^- \nu_e$

Ángulo entre e^- y línea de MET entre 160° y 200°



Observamos una partícula cargada que sólo deja energía en el calorímetro electromagnético

→ Es un e^- (o un e^+)

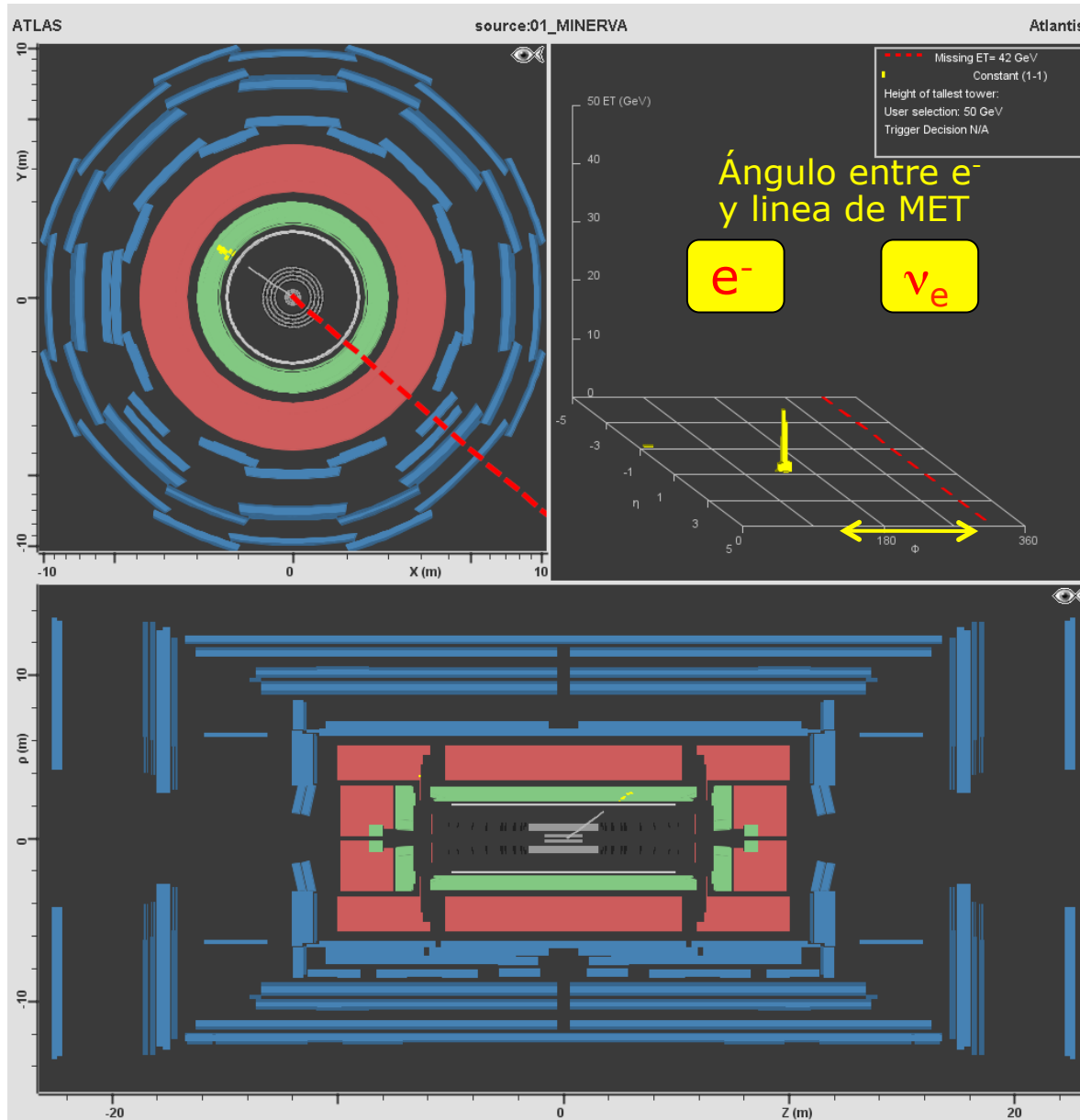
Observamos pérdida de Energía Transversa (indicado por una línea discontinua)

→ Existe una partícula invisible (un neutrino!)

Por conservación de carga, sabemos que se había producido un

W^-

Decaimiento $W^- \rightarrow e^- \nu_e$



Observamos una partícula cargada que sólo deja energía en el calorímetro electromagnético

→ Es un e^- (o un e^+)

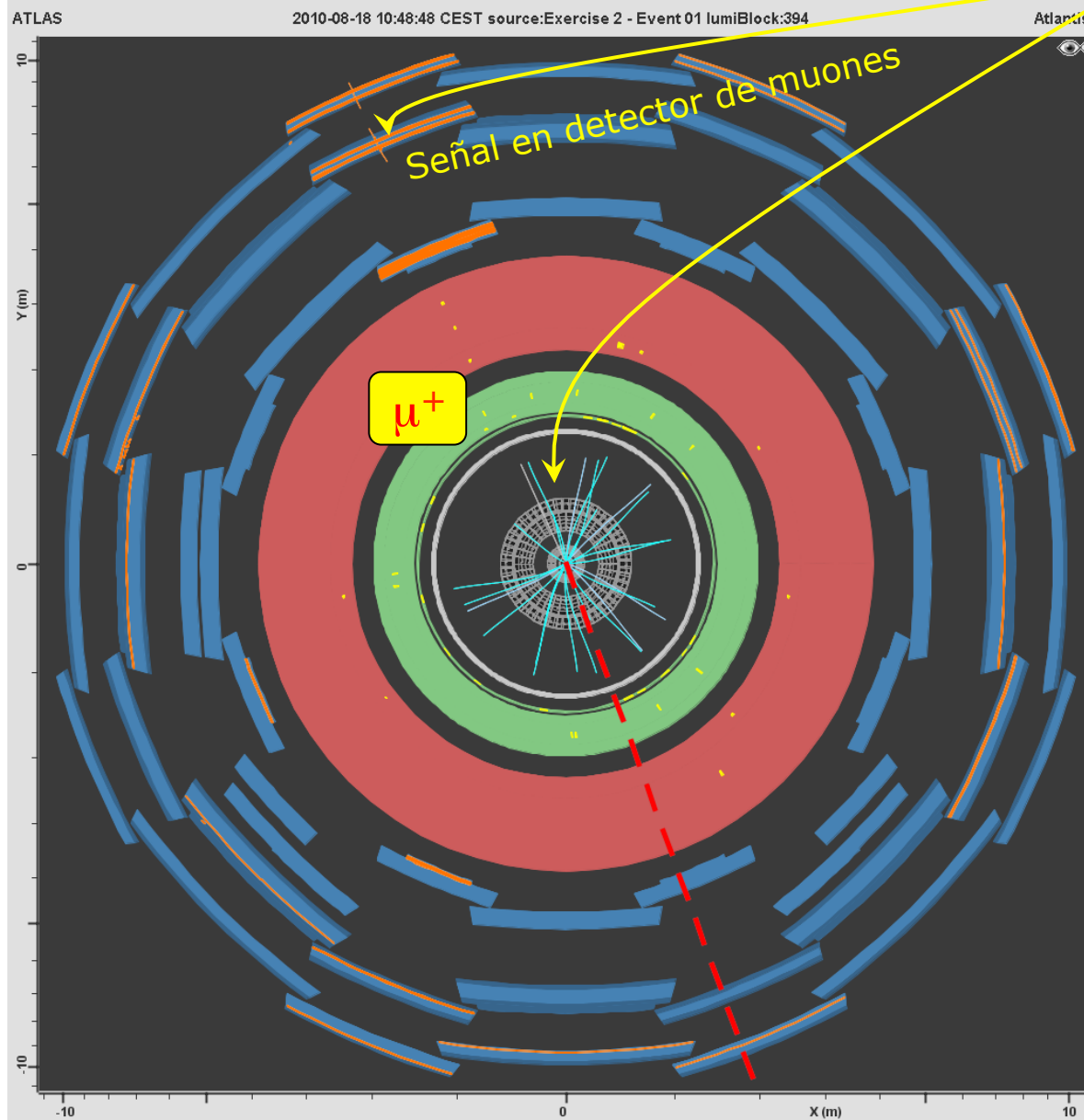
Observamos pérdida de Energía Transversa (indicado por una línea discontinua)

→ Existe una partícula invisible (un neutrino!)

Por conservación de carga, sabemos que se había producido un

W^-

Decaimiento $W^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$



Observamos una partícula cargada que escapa del detector y deja señal en el detector de muones

→ Es un μ^- (o un μ^+)

InDetTrack index: 1

PT=41.519 GeV

$\eta = -0.870$

$\Phi = 114.868^\circ$

Px=-17.460 GeV

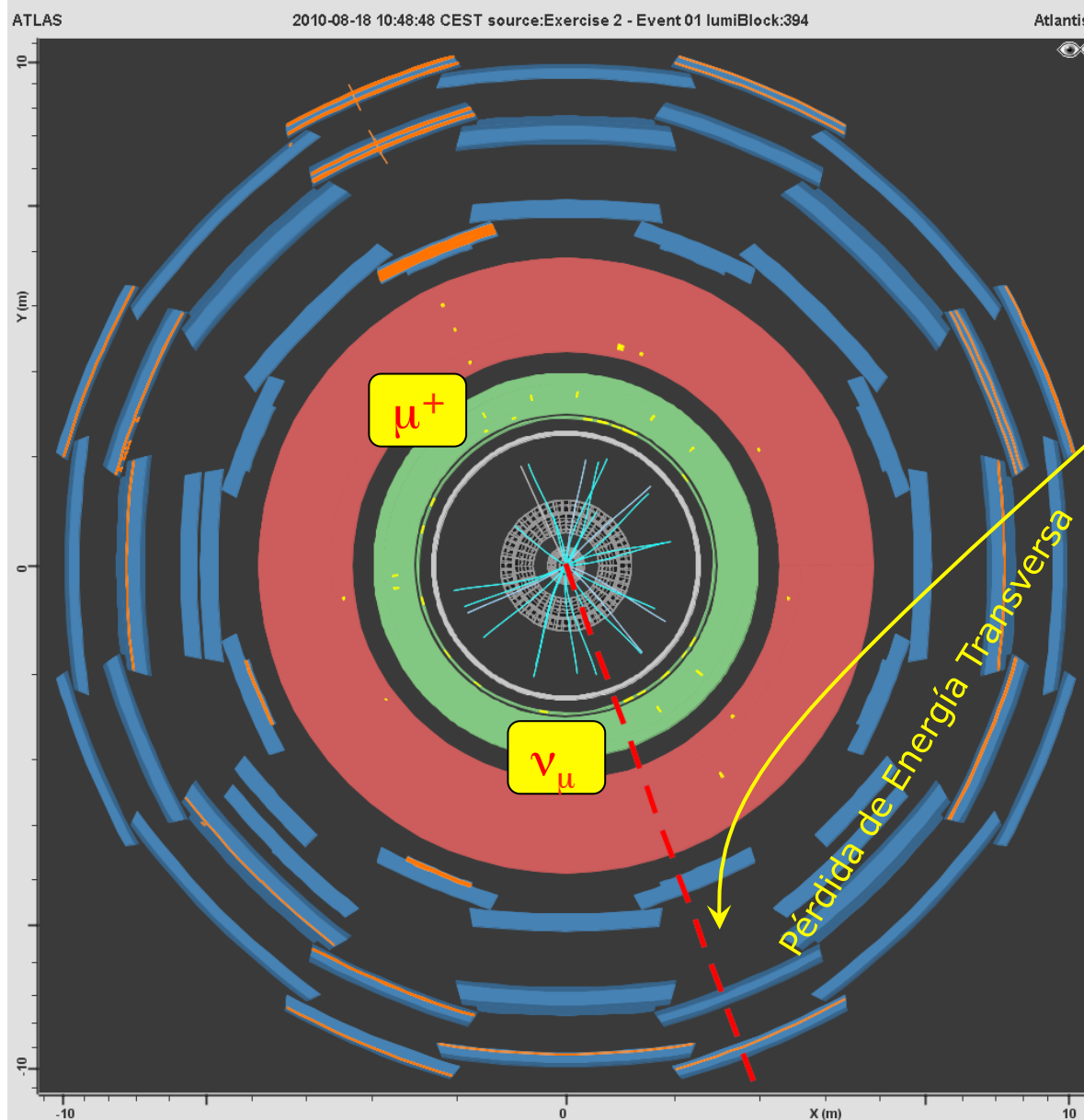
Py=37.669 GeV

Pz=-40.846 GeV

PT>0 → carga positiva

Es un μ^+

Decaimiento $W^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$



Observamos una partícula cargada que escapa del detector y deja señal en el detector de muones

→ Es un μ^- (o un μ^+)

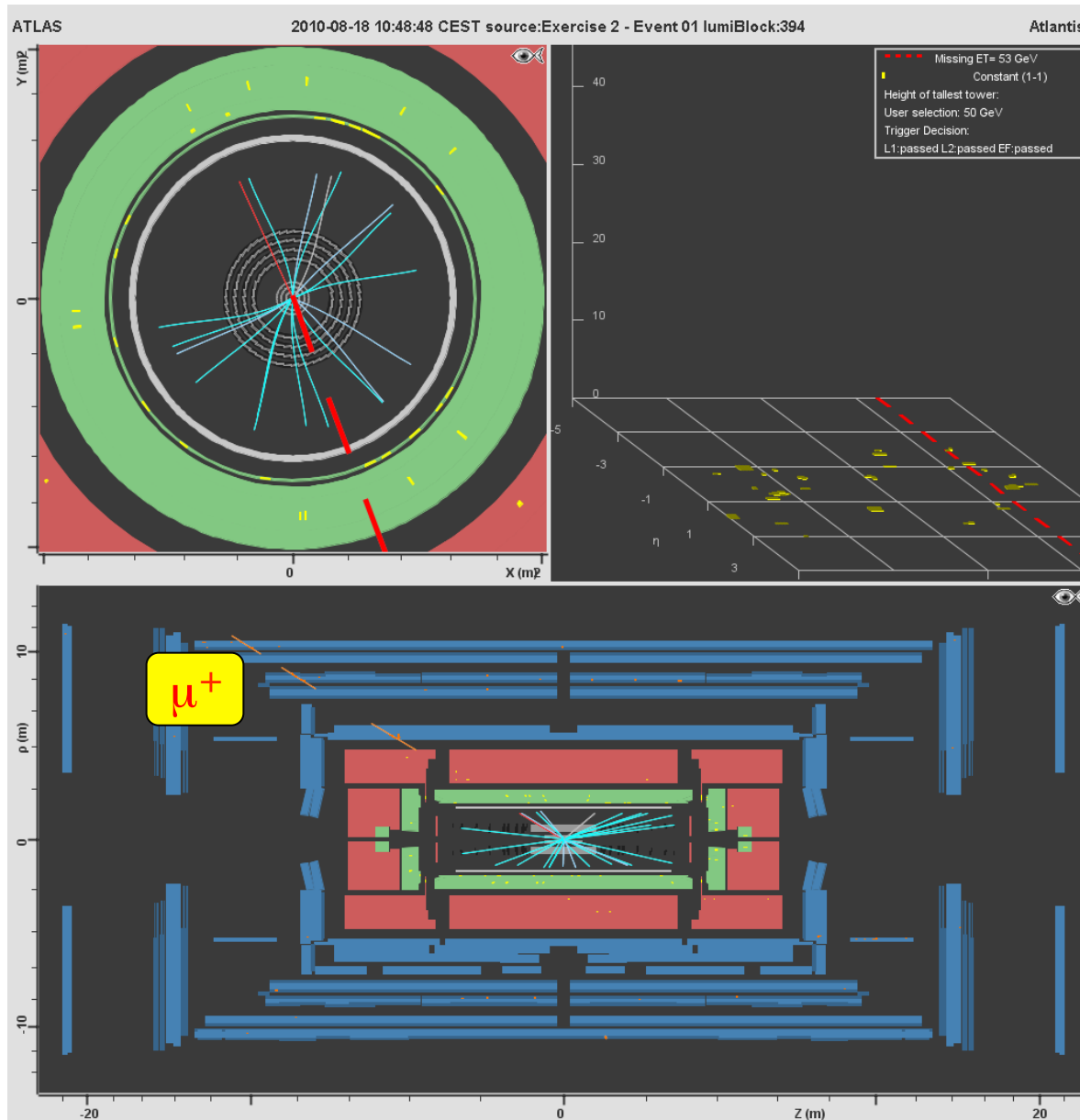
Observamos pérdida de Energía Transversa (indicado por una línea discontinua)

→ Existe una partícula invisible (¡un neutrino!)

Por conservación de carga, sabemos que se había producido un

W^+

Decaimiento $W^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$



Observamos una partícula cargada que escapa del detector y deja señal en el detector de muones

→ Es un μ^- (o un μ^+)

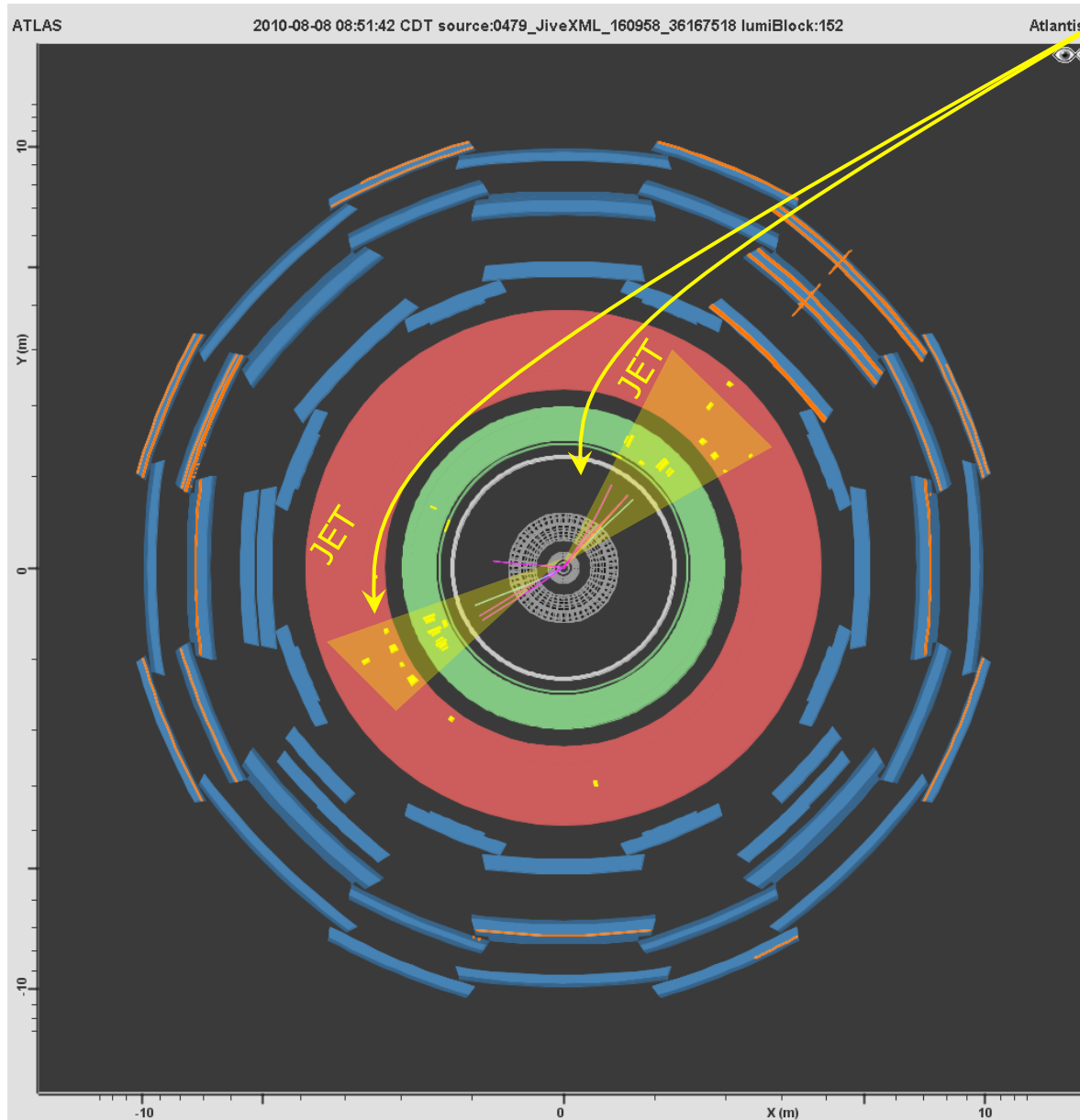
Observamos pérdida de Energía Transversa (indicado por una línea discontinua)

→ Existe una partícula invisible (un neutrino!)

Por conservación de carga, sabemos que se había producido un

W^+

Eventos no deseados (background): jets (quarks)



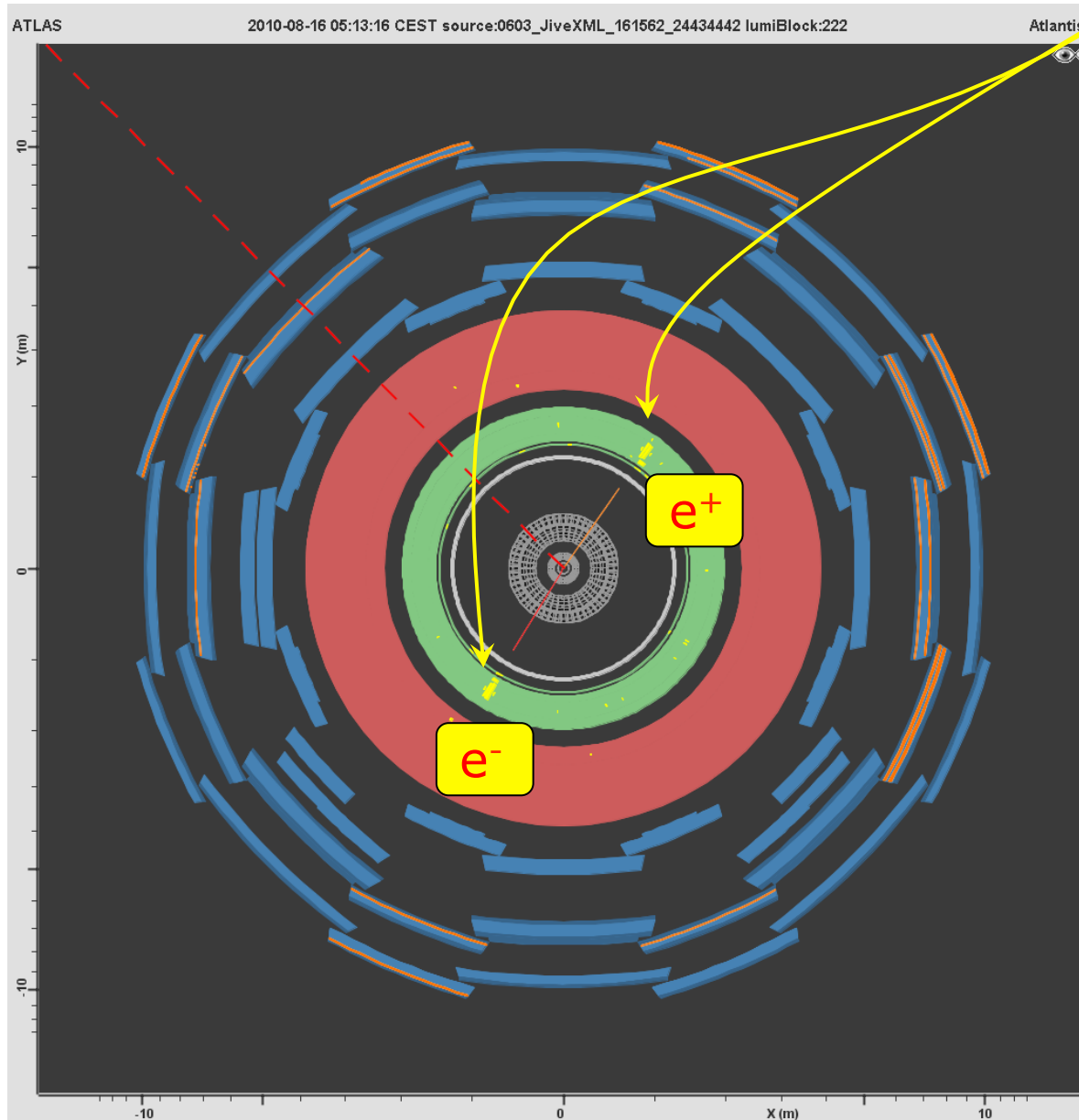
Observamos uno (o varios) conos de partículas cargadas que dejan traza en ambos calorímetros

→ Jets provenientes de la hadronización de quarks

No corresponden a la señal que buscamos

→ Descartamos este tipo de eventos

Eventos no deseados (background): $Z \rightarrow e^+e^-$, $\mu^+\mu^-$, $\tau^+\tau^-$



Vemos señales de varios leptones

→ Si tienen cargas opuestas pueden venir de la desintegración del bosón Z

No corresponden a la señal que buscamos

→ Descartamos este tipo de eventos

Ejercicio 2)

Busquemos el Bosón de Higgs

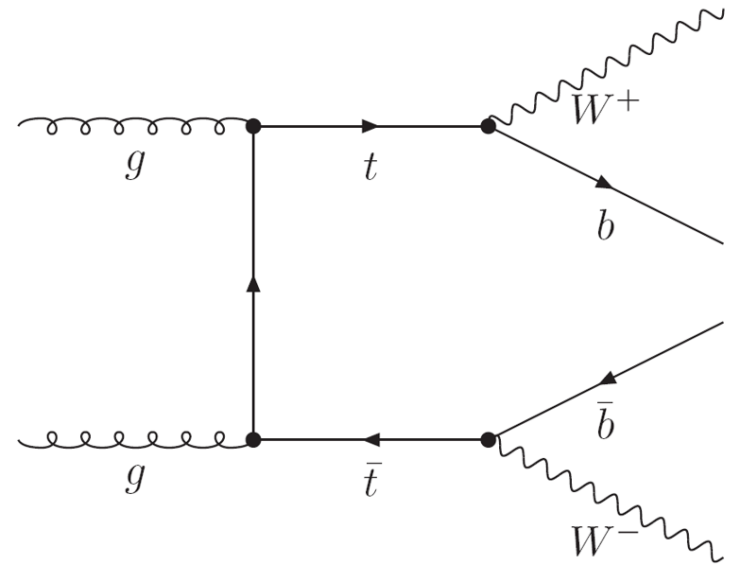
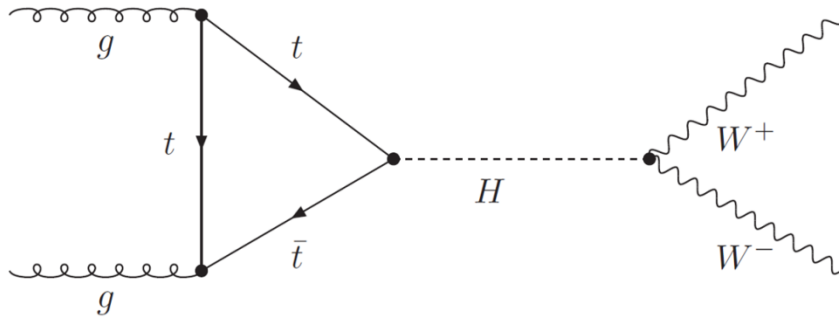
Entre otras cosas, el LHC se construyó para encontrar el bosón de Higgs (que completa nuestra descripción del Modelo Estándar). Nuestras predicciones teóricas nos dicen que las partículas pesadas (como el quark top) producidas en colisiones en el LHC pueden producir bosones de Higgs.

Por tanto ahora que se ha descubierto el bosón de Higgs, ¿podréis encontrar sucesos reales en los datos que tenéis!!!

¿Podéis encontrar el Higgs?

Cortes en la selección de eventos para buscar el Higgs :

Para buscar el bosón de Higgs, la señal característica que buscamos es el decaimiento de dos bosones **W con cargas opuestas**



Cortes en la selección de eventos para buscar el Higgs :

Para buscar el bosón de Higgs, la señal característica que buscamos es el decaimiento de dos bosones **W con cargas opuestas**

- **Hay EXÁCTAMENTE DOS Leptones cargados** (electrón, positrón, muón o antimuón) **con cargas opuestas**
- **que aparecen aislados** (NO dentro de un JET)
- **el de mayor momento transversal ha de tener $|p_T| > 25$ GeV**
el de menor momento transversal ha de tener $|p_T| > 15$ GeV
- **El evento tiene momento transversal perdido (MET) de**
al menos 40 GeV si los dos leptones son de la misma familia
al menos 25 GeV si son de distinta familia

Los sucesos con estas condiciones pueden ser una señal de producción de un bosón de Higgs (y su posterior decaimiento)

... ¿encontraremos hoy el bosón de Higgs?