

Recolectando datos en un experimento de atlas energías—ATLAS edition

Módulo de Instrumentación

Gabriel Palacino (Indiana University)



Latin American alliance for
Capacity building in Advanced physics

LA-CoNGA physics



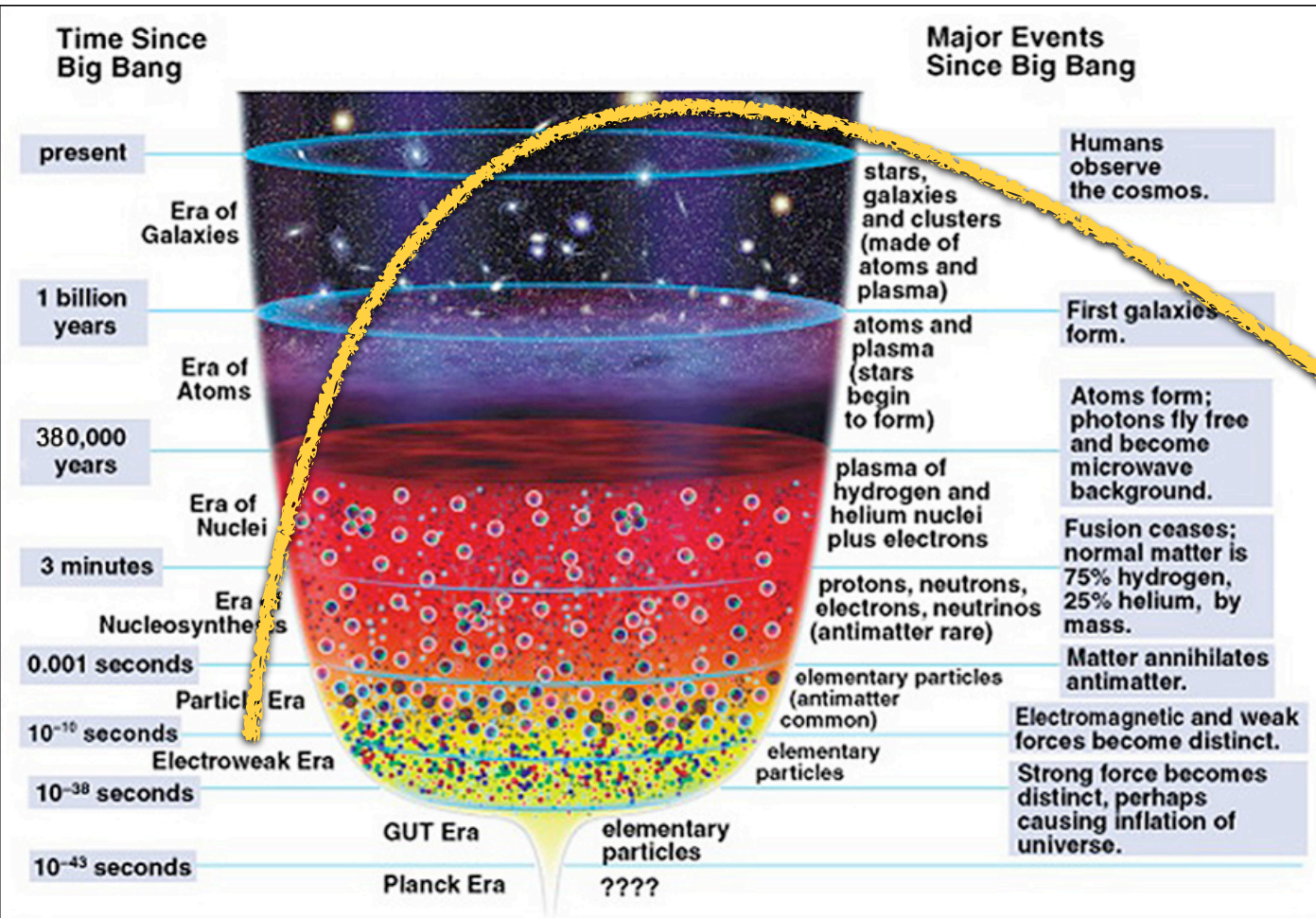
Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea



¿Qué queremos medir?



¿Cuáles son los componentes fundamentales de la naturaleza?



Standard Model of Elementary Particles

	three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
QUARKS	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
LEPTONS	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.433 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

SCALAR BOSONS
GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS

<http://www.earlyearthcentral.com>



¿Y cómo llegamos allí?

El LHC

- Colisionador de hadrones: por ejemplo pp a 13.6 TeV
- 27 km de circunferencia
- Capaz de reproducir las condiciones del universo durante la época electrodébil
- Ubicado en el CERN

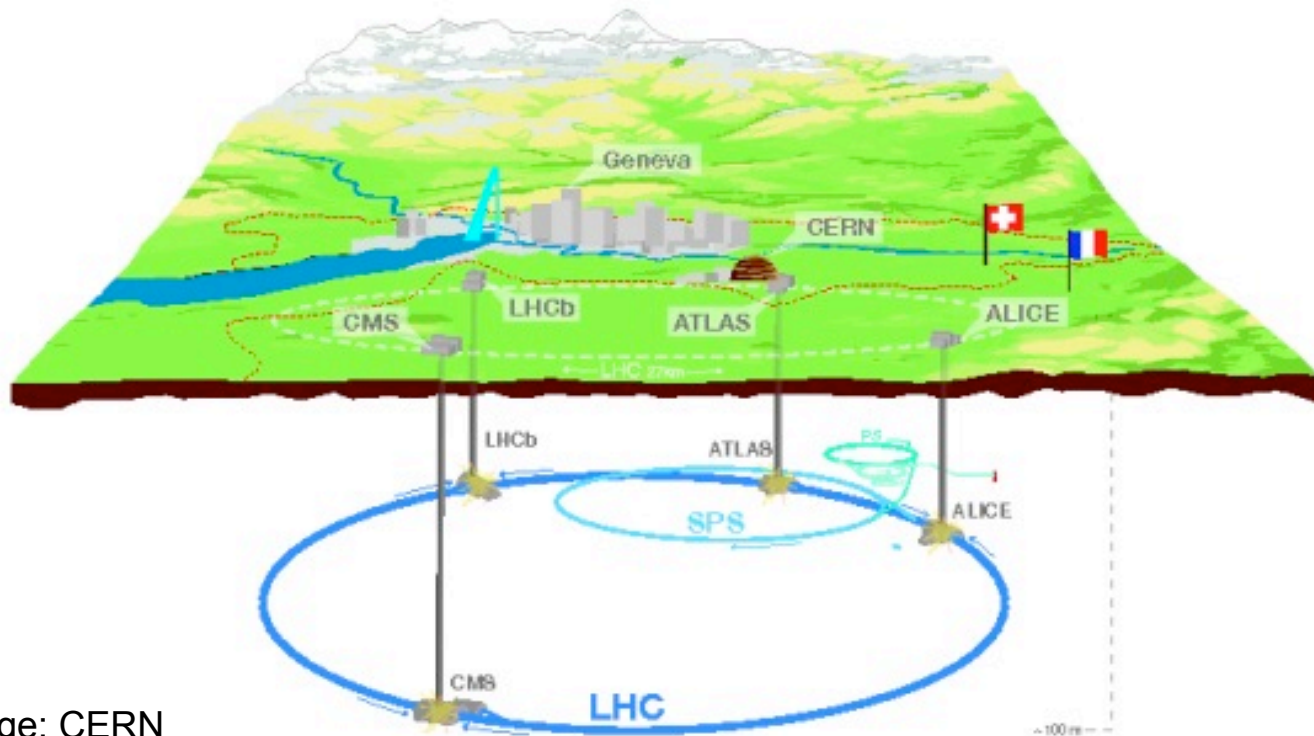
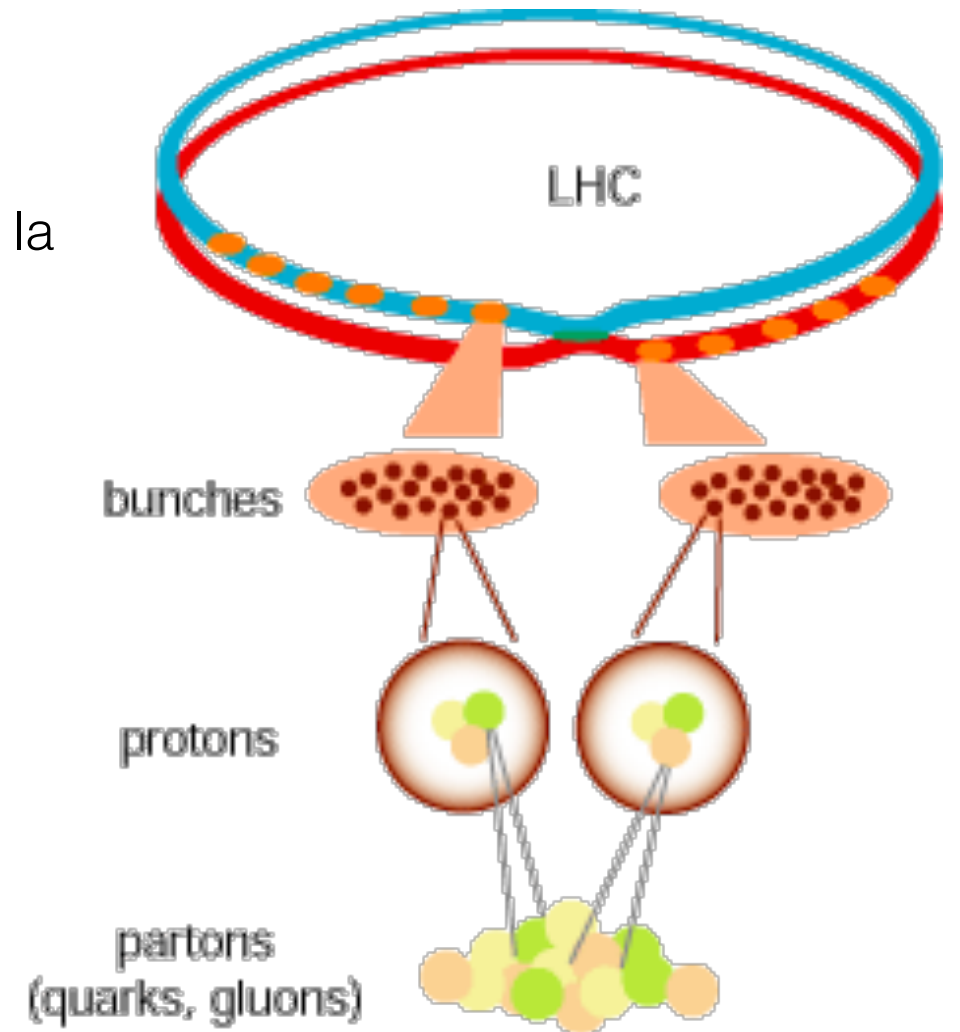


Image: CERN

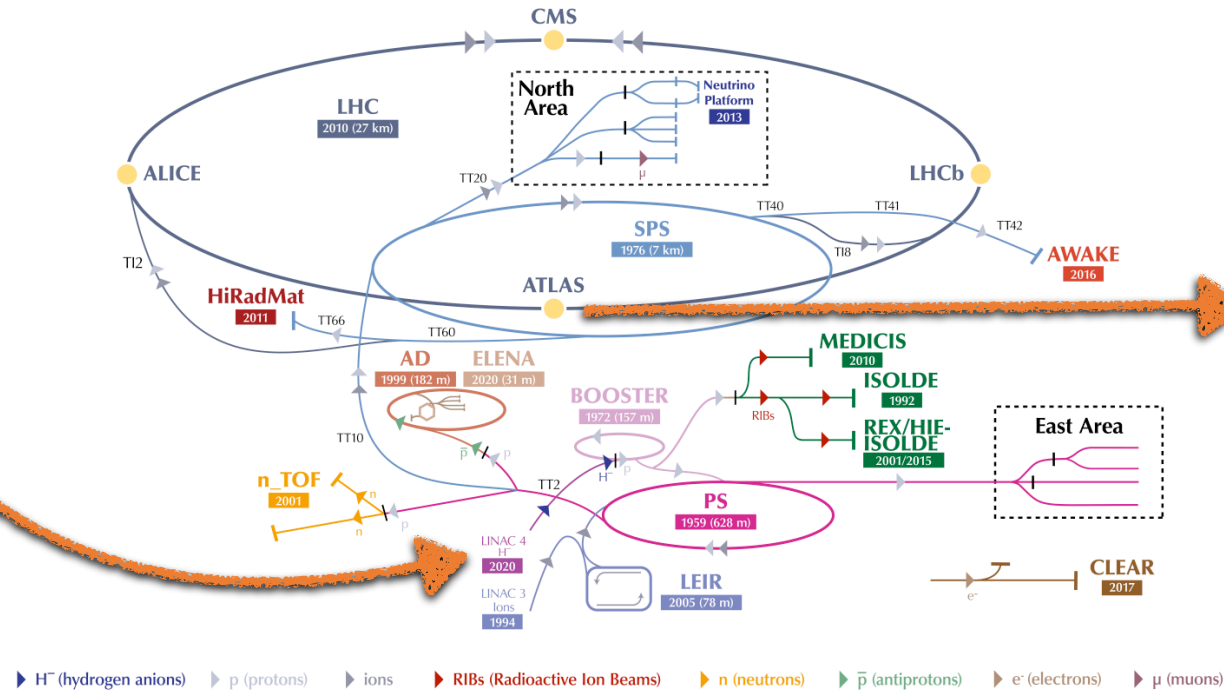




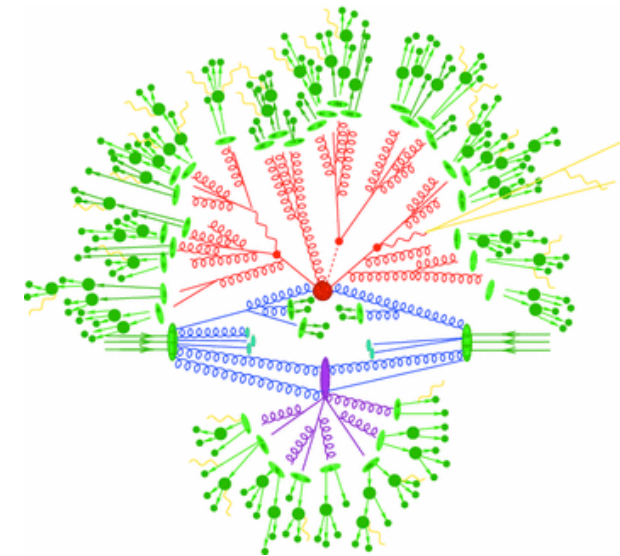
No es tan simple como parece



The CERN accelerator complex Complexe des accélérateurs du CERN



LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE-ISOLDE - Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE // MEDICIS // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINear ACcelerator // n_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials // Neutrino Platform

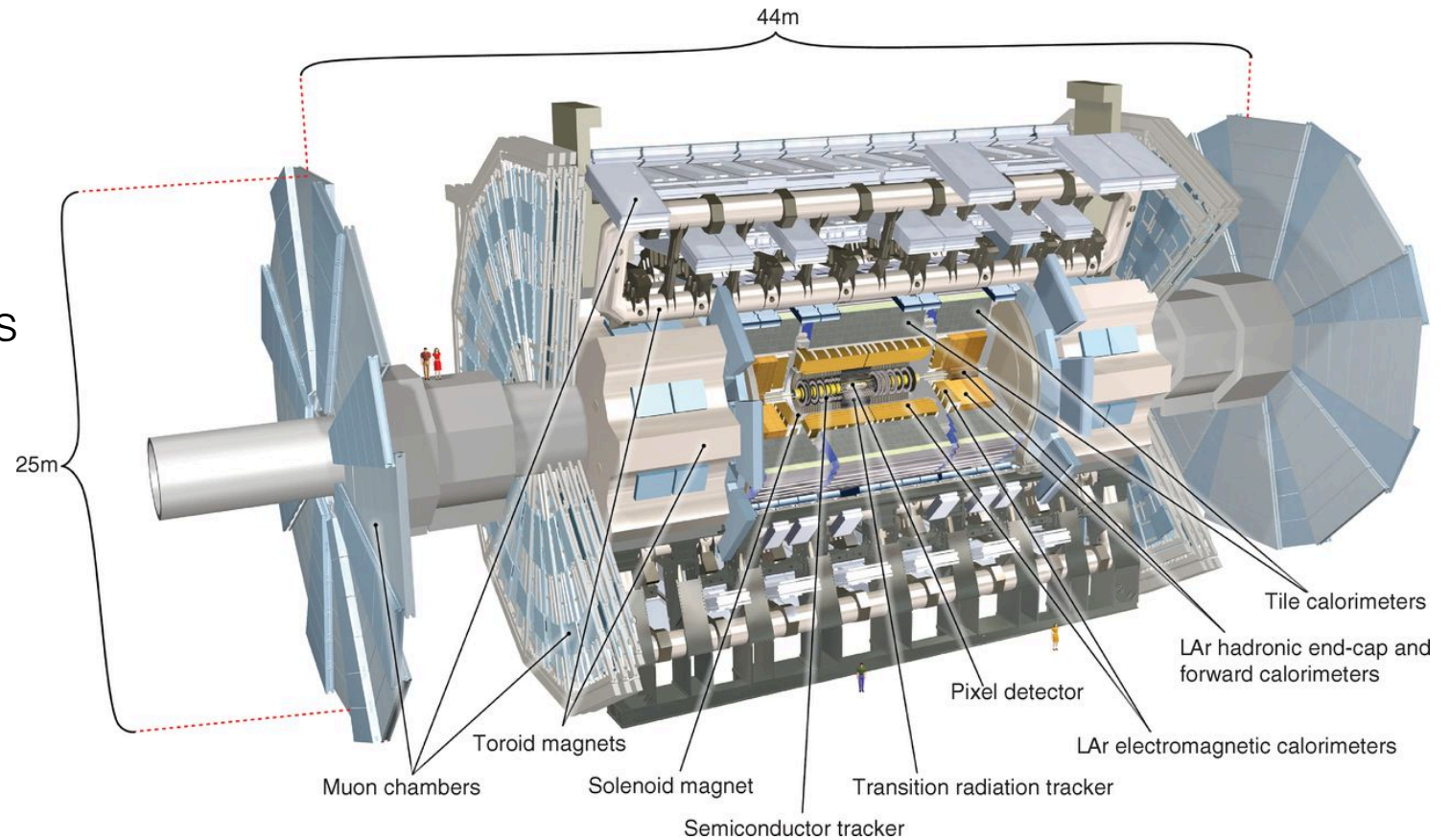


¿Cómo lo podríamos medir?



El detector ATLAS

- Detector multi-propósito
- Casi hermético en $\Omega=4\pi$
- Consiste de subdetectores encargados de:
 - ▶ Medir trayectorias de partículas cargadas
 - ▶ Medir la energía de las partículas
- Combina múltiples tecnologías

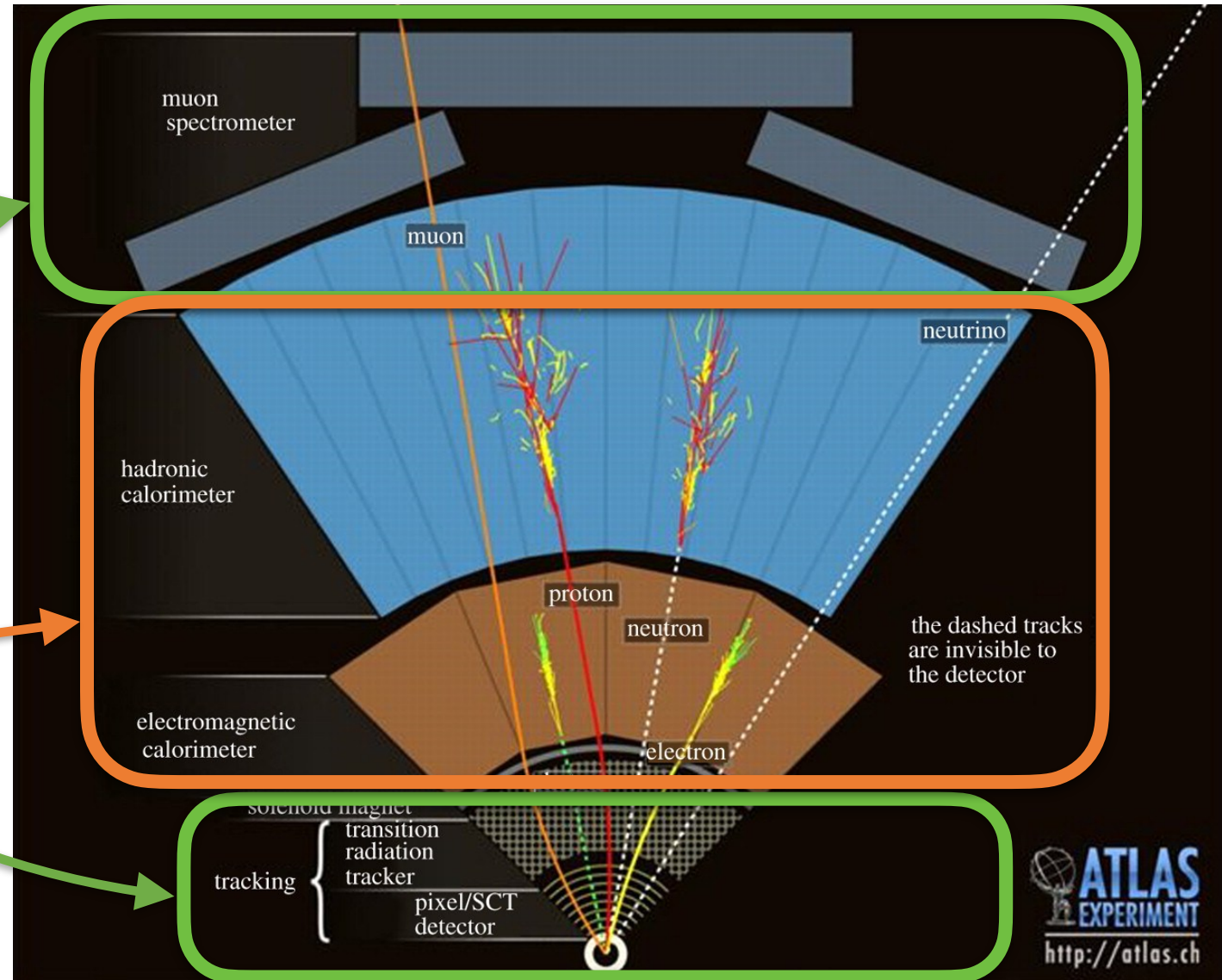




El detector ATLAS

Momento

Energía



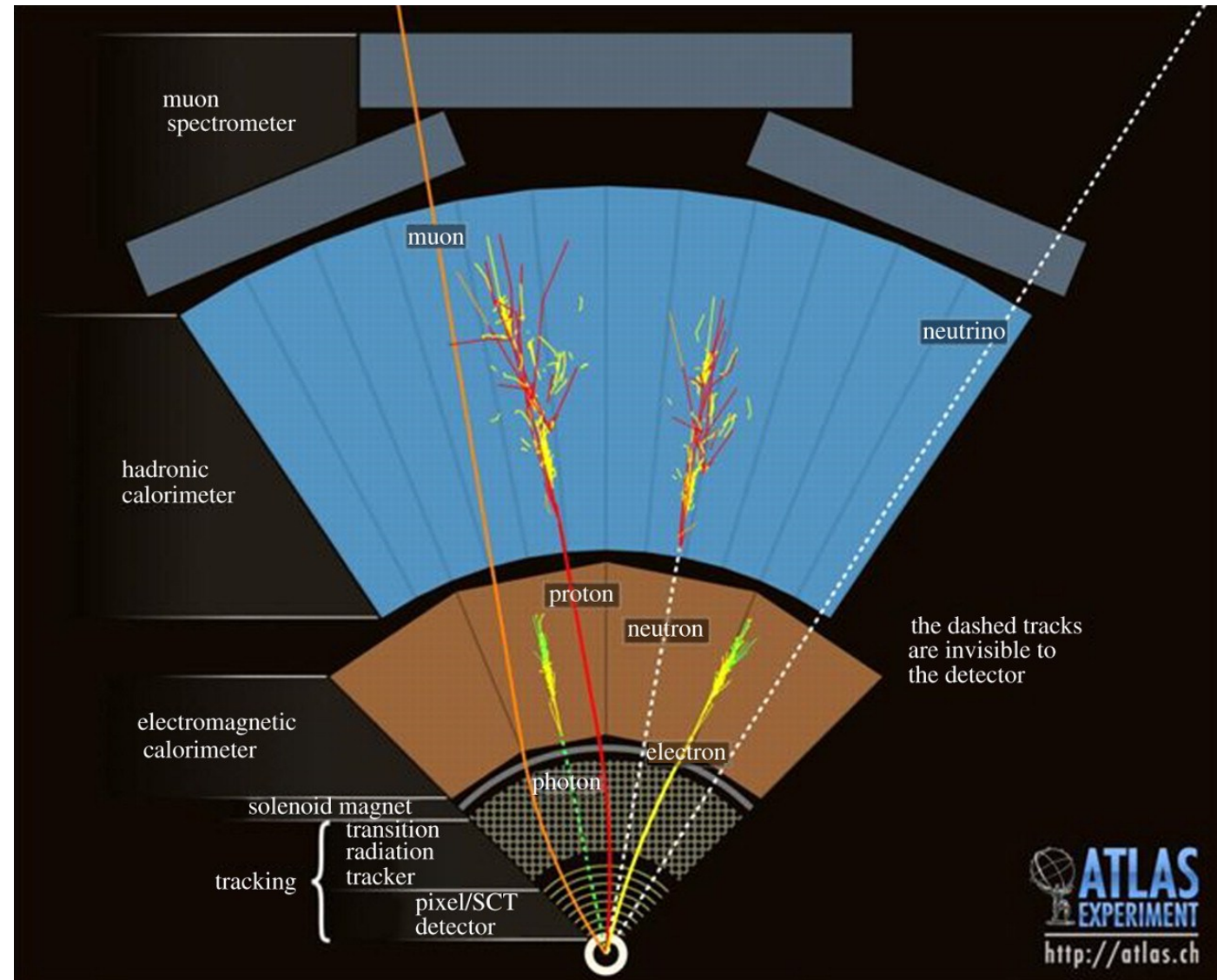
<http://atlas.physicsmasterclasses.org/videos/teilchenidentifikation.swf>



¿Qué partículas podemos ver?

- Electrones
- Muones
- Fotones
- Hadrones cargados
- Hadrones neutros

A partir de estas podemos inferir la existencia de otras más como los jets de partículas, los leptones τ y partículas invisibles al detector como los ν



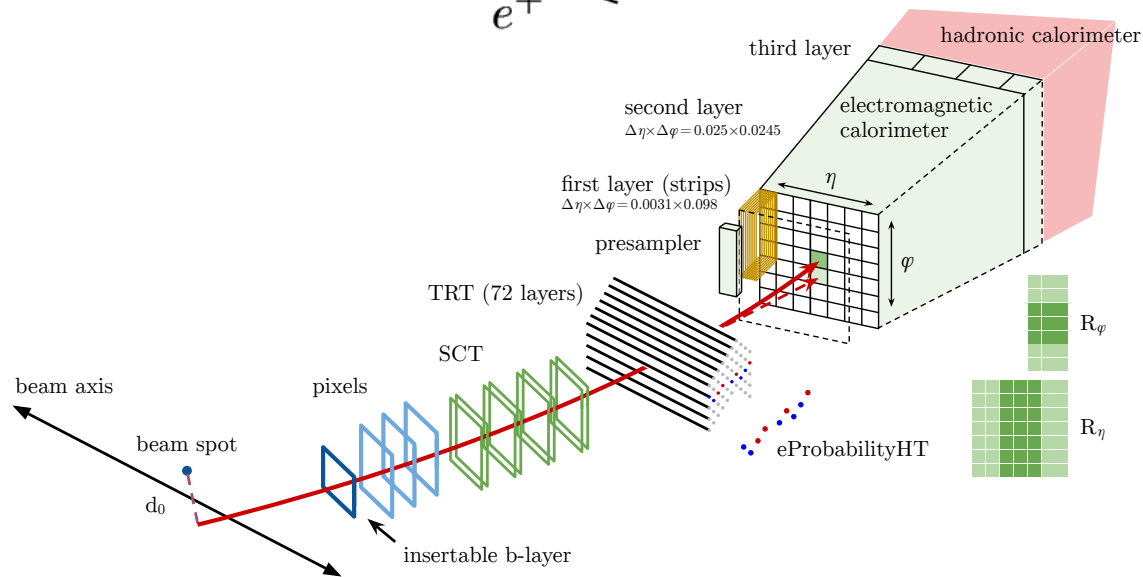
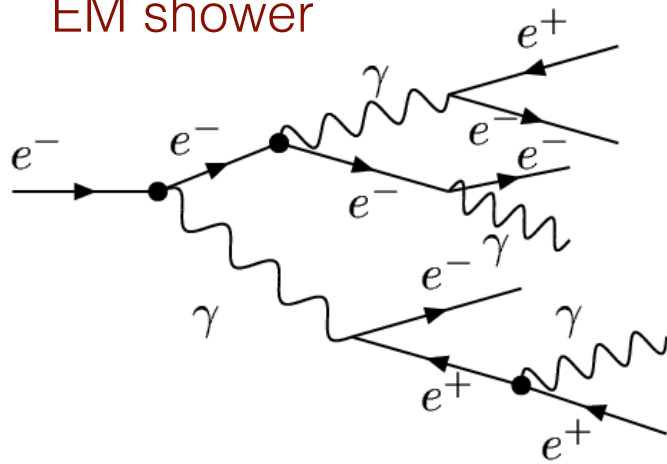
<http://atlas.physicsmasterclasses.org/videos/teilchenidentifikation.swf>



¿Cómo interactúan las partículas con el detector ATLAS?

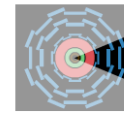
Electrones

EM shower

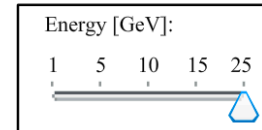


ATLAS

animation



display instantly



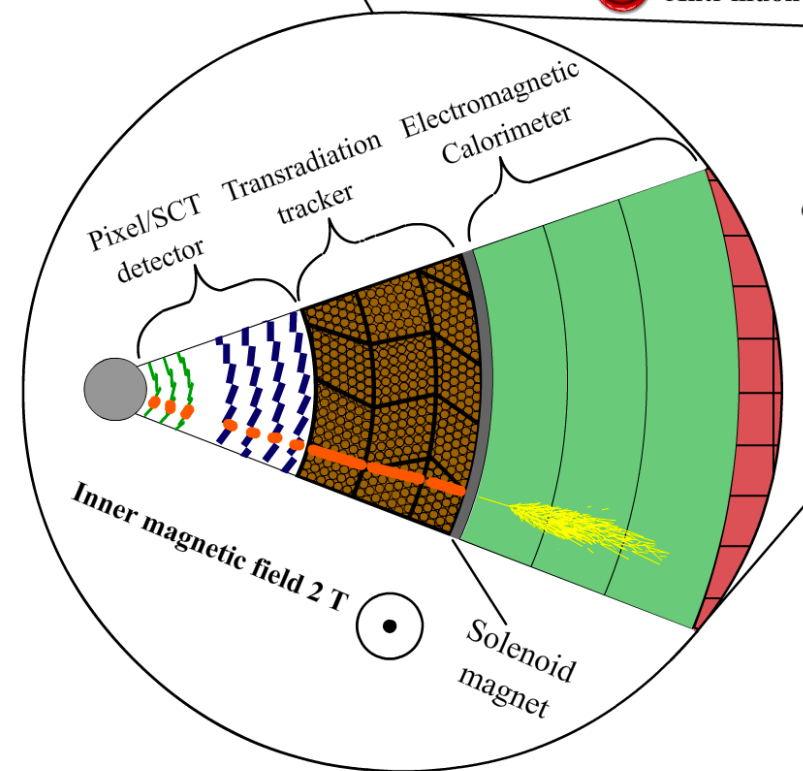
▶ Electron

● Positron

● Muon

● Anti-muon

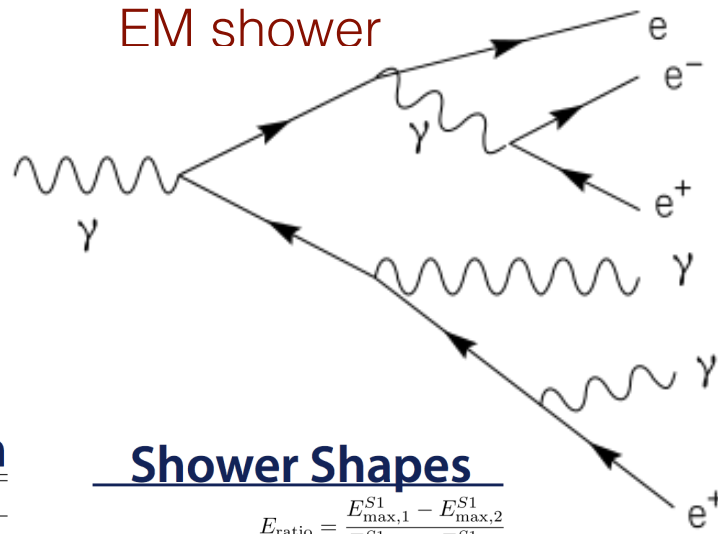
Magnification 3x





¿Cómo interactúan las partículas con el detector ATLAS?

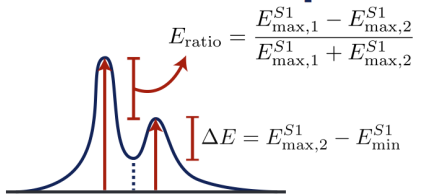
Fotones



Variables and Position

	Strips	2nd	Had.
Ratios	f_1, f_{side}	R_{η}^*, R_{ϕ}	$R_{Had.}^*$
Widths	$w_{s,3}, w_{s,tot}$	$w_{\eta,2}^*$	-
Shapes	$\Delta E, E_{ratio}$	* Used in PhotonLoose.	

Shower Shapes



Energy Ratios

$$R_{\eta} = \frac{E_{3 \times 7}^{S2}}{E_{7 \times 7}^{S2}}$$

$$R_{\phi} = \frac{E_{3 \times 3}^{S2}}{E_{3 \times 7}^{S2}}$$

$$R_{Had} = \frac{E_T^{Had}}{E_T}$$

$$f_1 = \frac{E_{S1}}{E_{Tot.}}$$

$$f_{side} = \frac{E_7^{S1} - E_3^{S1}}{E_3^{S1}}$$

Widths

$$w_{\eta,2} = \sqrt{\frac{\sum E_i \eta_i^2}{\sum E_i} - \left(\frac{\sum E_i \eta_i}{\sum E_i}\right)^2}$$

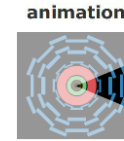
Width in a 3x5 ($\Delta\eta \times \Delta\phi$) region of cells in the second layer.

$$w_s = \sqrt{\frac{\sum E_i (i - i_{max})^2}{\sum E_i}}$$

$w_{s3} = w_s$, uses 3 strips in η ; w_{stot} is defined similarly, but uses 20 strips.

ATL-COM-PHYS-2013-600

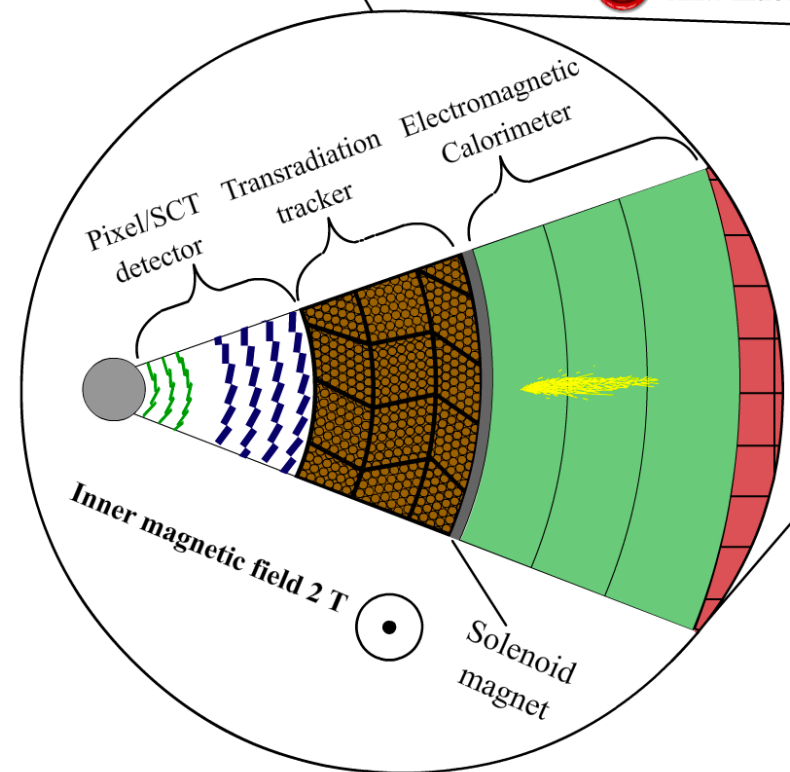
ATLAS



display instantly

- Electron
- Positron
- Muon
- Anti-muon

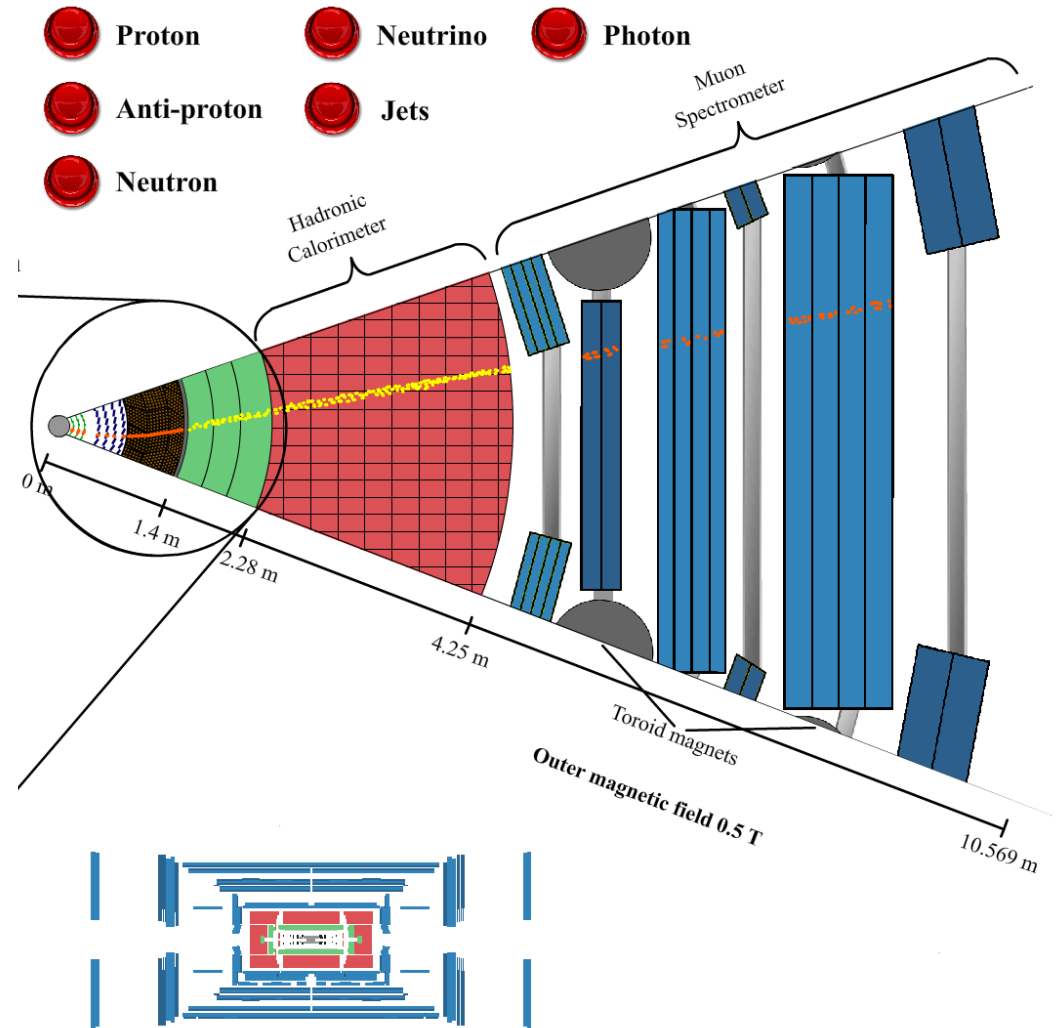
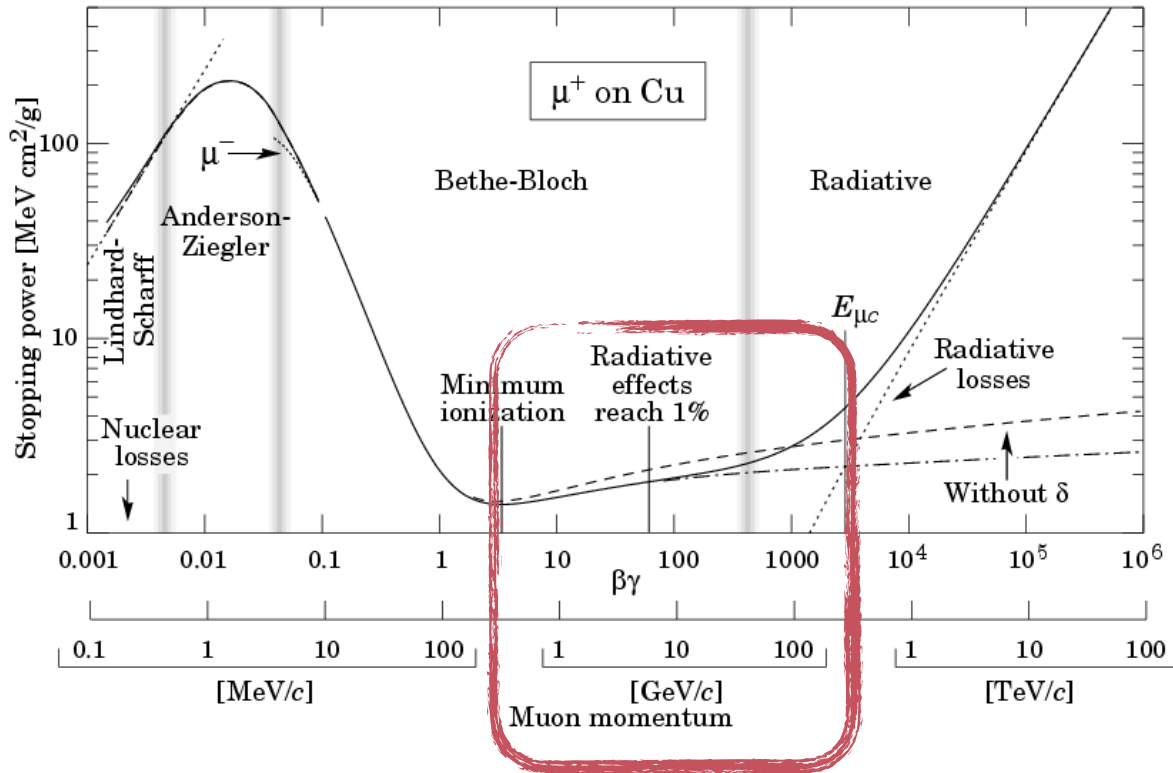
Magnification 3x





¿Cómo interactúan las partículas con el detector ATLAS?

Muones

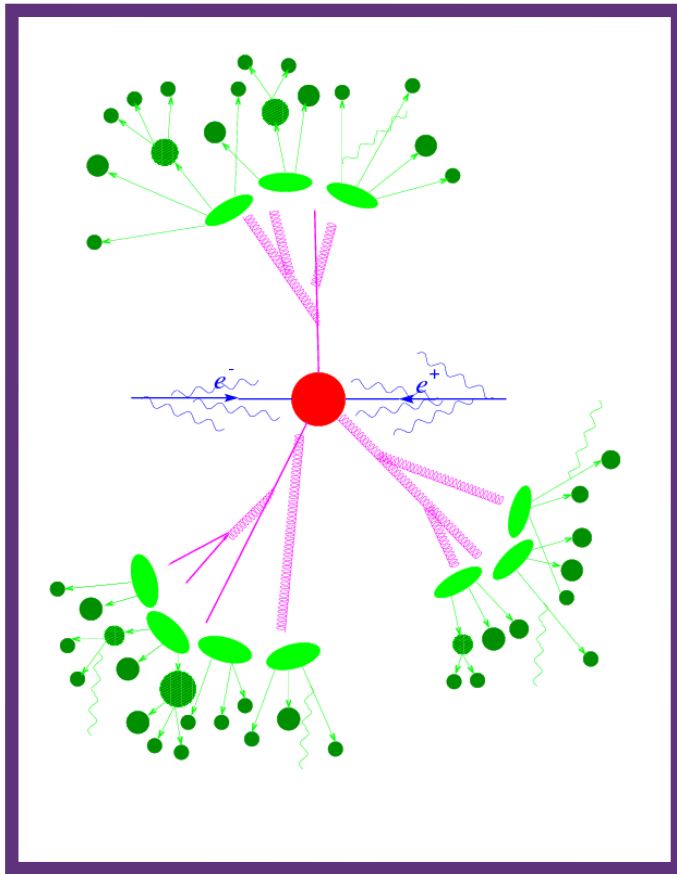


Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

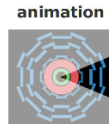


¿Cómo interactúan las partículas con el detector ATLAS?

Jets



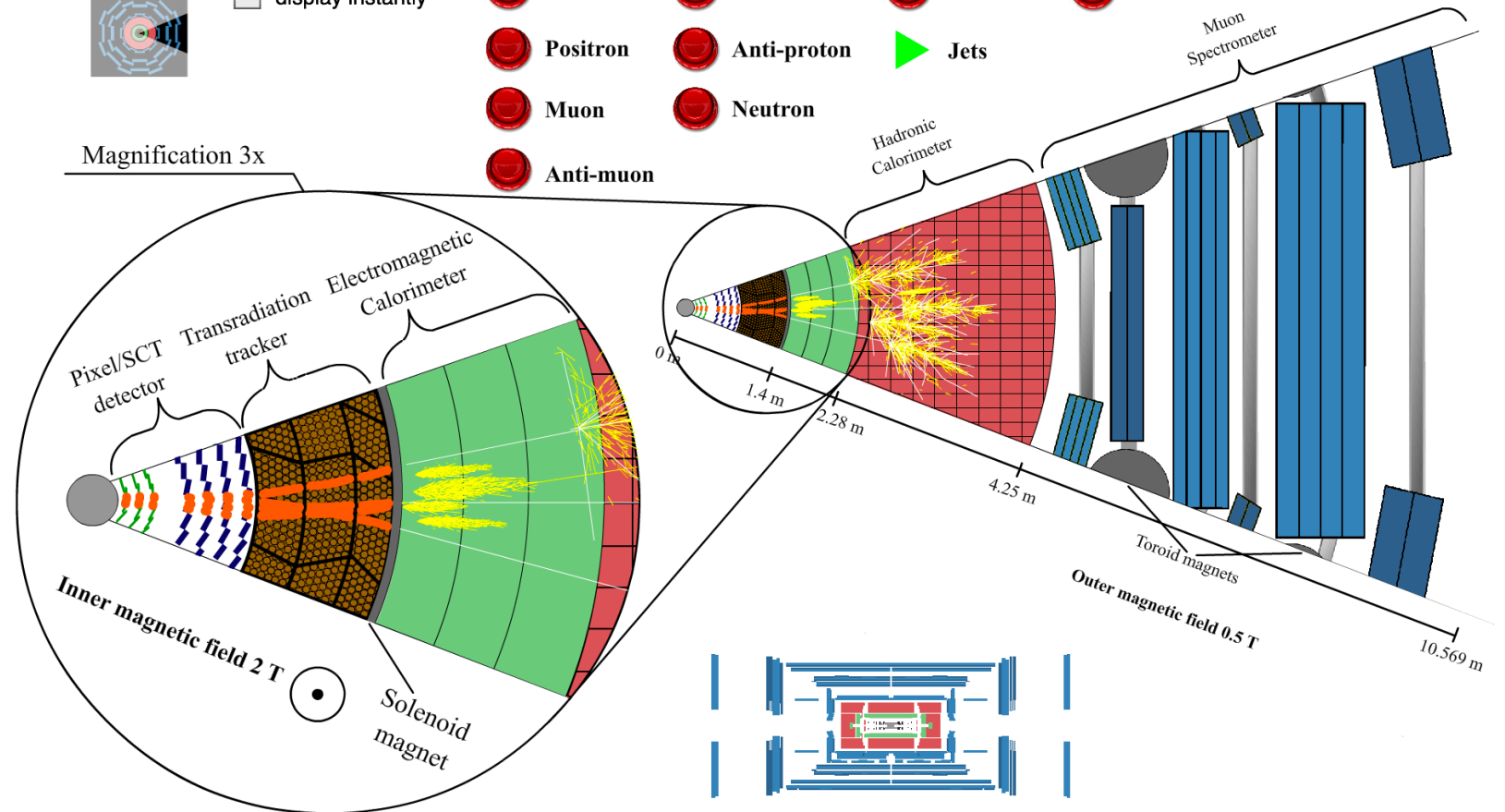
ATLAS



display instantly

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

Magnification 3x



Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

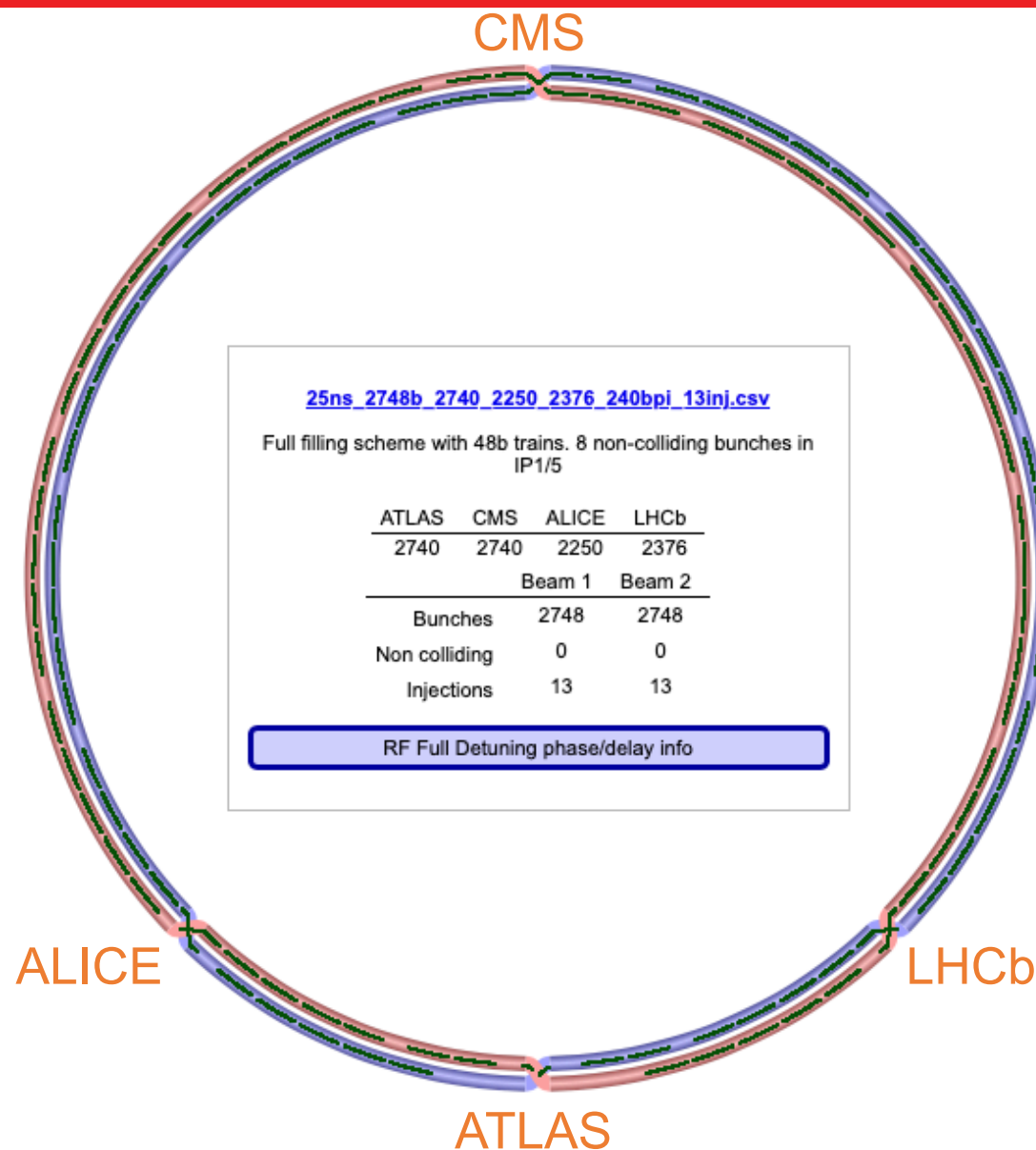
¿Cómo recolectamos la señal?



Condiciones de operación de LHC

El haz de protones

- Un haz en cada sentido: beams 1 & 2
- Organizados en paquetes (bunches)
 - $\sim 10^{11}$ protones por bunch
 - ~ 2800 bunches por haz
 - Distancia entre bunches: 25 ns
- Bunches organizados en trenes de hasta ~ 200 bunches
- Frecuencia maxima de colisiones: 40 MHz

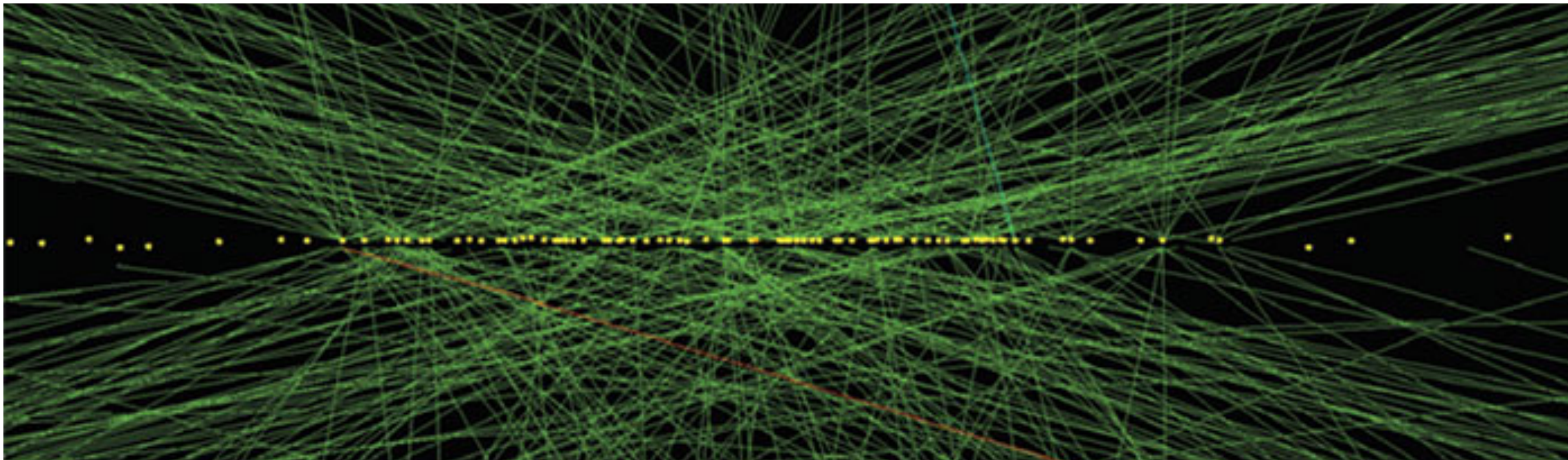




Condiciones de operación de LHC

Cuando dos paquetes de protones se cruzan

- Más de un par de protones pueden interactuar
- Durante el 2022 en promedio ~ 50 protones colisionaban en cada cruce de paquetes (bunch crossing)
- ¿Qué? ¿Es posible recolectar la señal de ~ 50 colisiones a casi 40 MHz?
 - No, es imposible



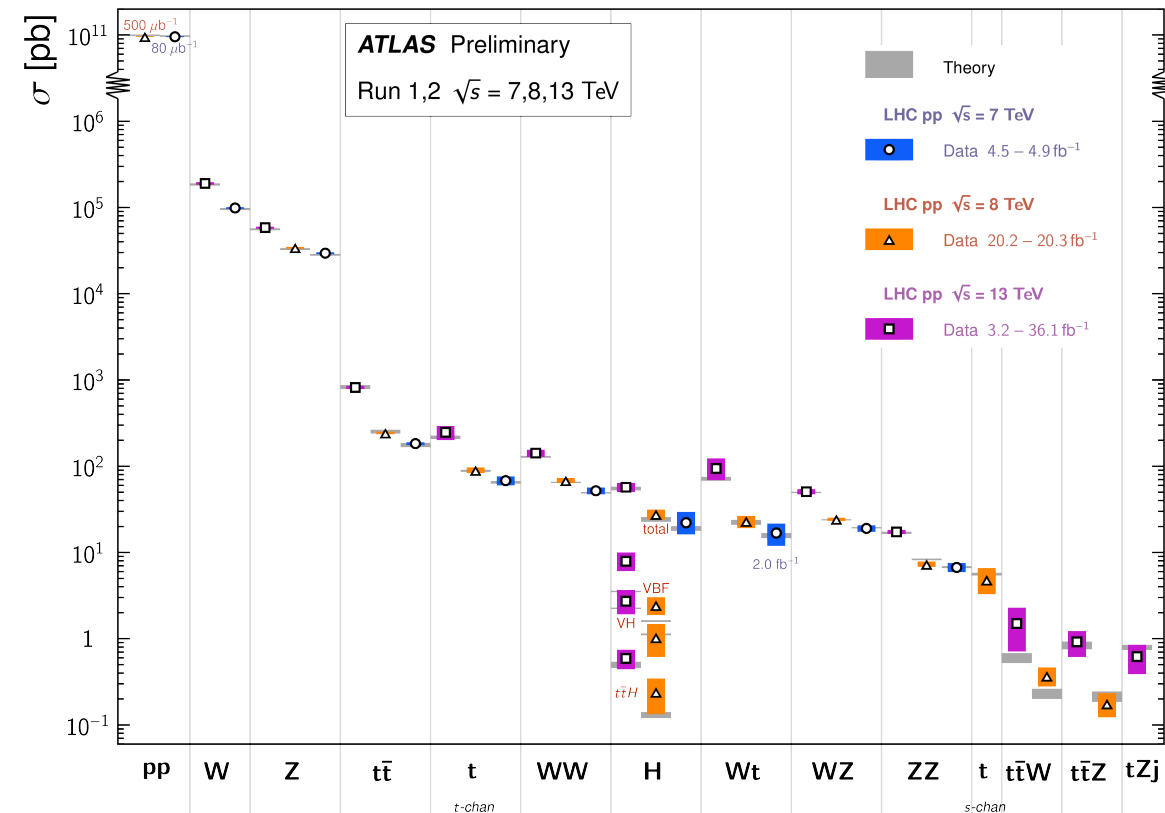


Sistema de adquisición de datos en tiempo real: Trigger

¿Qué es en lo que realmente estamos interesados?

- Procesos que involucren interacciones específicas del Modelo Estándar
- Nuevos procesos que nos den pistas sobre la existencia de fenómenos hasta ahora desconocidos
- La sección eficaz de estos es por lo general mucho menor que la de pp
- Hay que diseñar un sistema que solo salve aquellas colisiones o *eventos* que realmente queremos

Standard Model Total Production Cross Section Measurements Status: March 2018

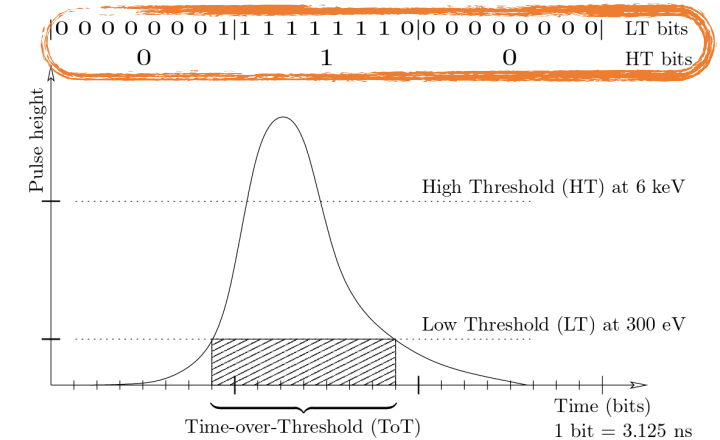
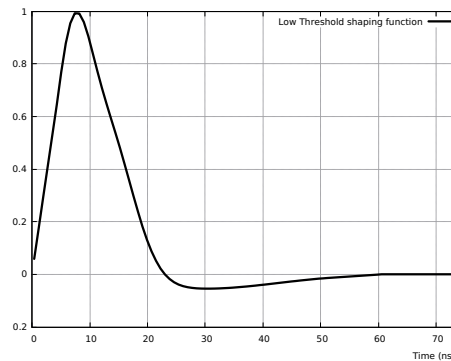
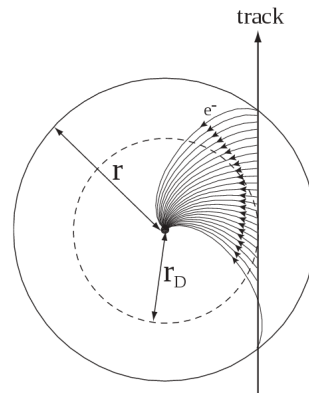
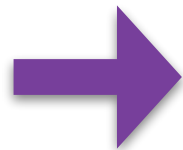
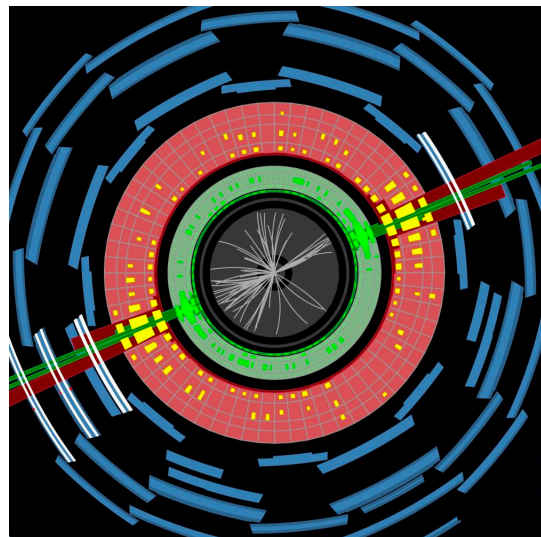




El sistema de Trigger de ATLAS

¿Qué pasa antes del Trigger?

- Las señales análogas se procesan y se ponen en buffers a disposición del sistema de adquisición de datos



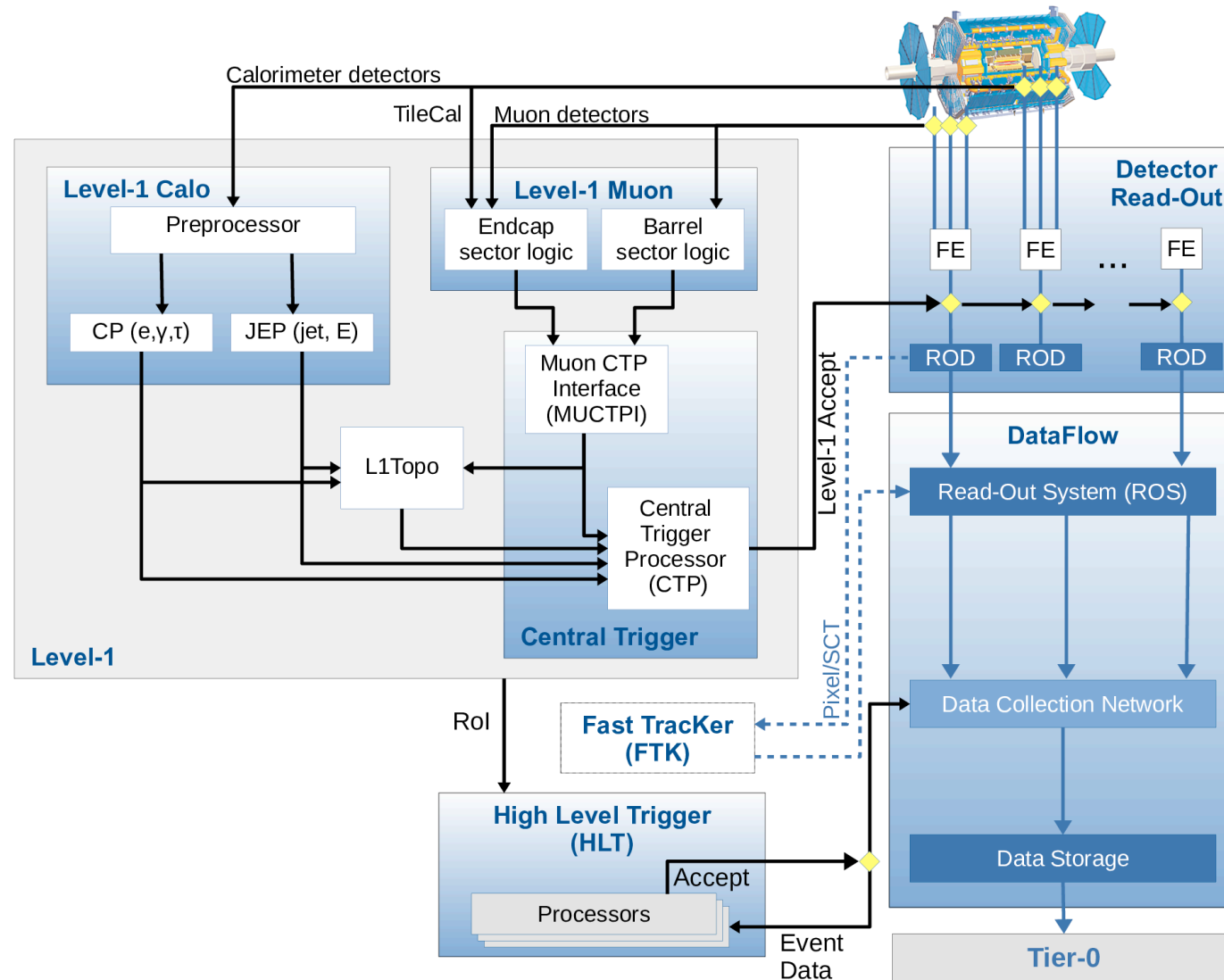
- Depósitos de energía en los calorímetros
- “hits” en los detectores de trazas

- Tratamiento de la señal análoga
- Ampliación, shaping, digitalización
- Dispositivos electrónicos ASICs

- Buffering de la señal en forma digital para posiblemente ser usada por el sistema de trigger



El sistema de Trigger de ATLAS: sistema multi-nivel

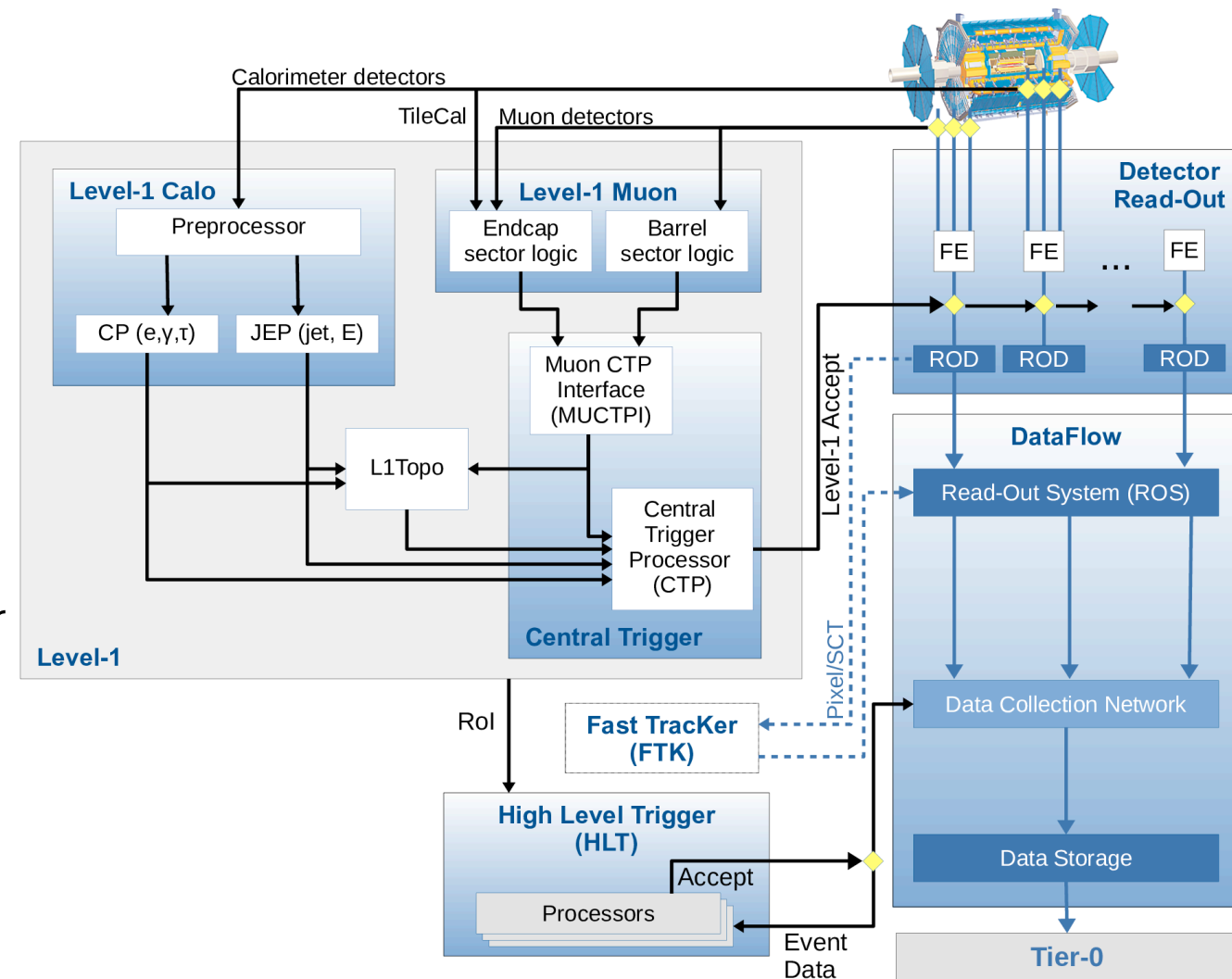




El sistema de Trigger de ATLAS: Level 1

Level 1

- Primer nivel del sistema de Trigger
- Accede a señales provenientes directamente de los subdetectores
- Utiliza dispositivos electrónicos con firmware para un propósito específico (FPGAs)
- Usa una nivel de detalle reducido para lograr seleccionar eventos en $2.5 \mu\text{s}$



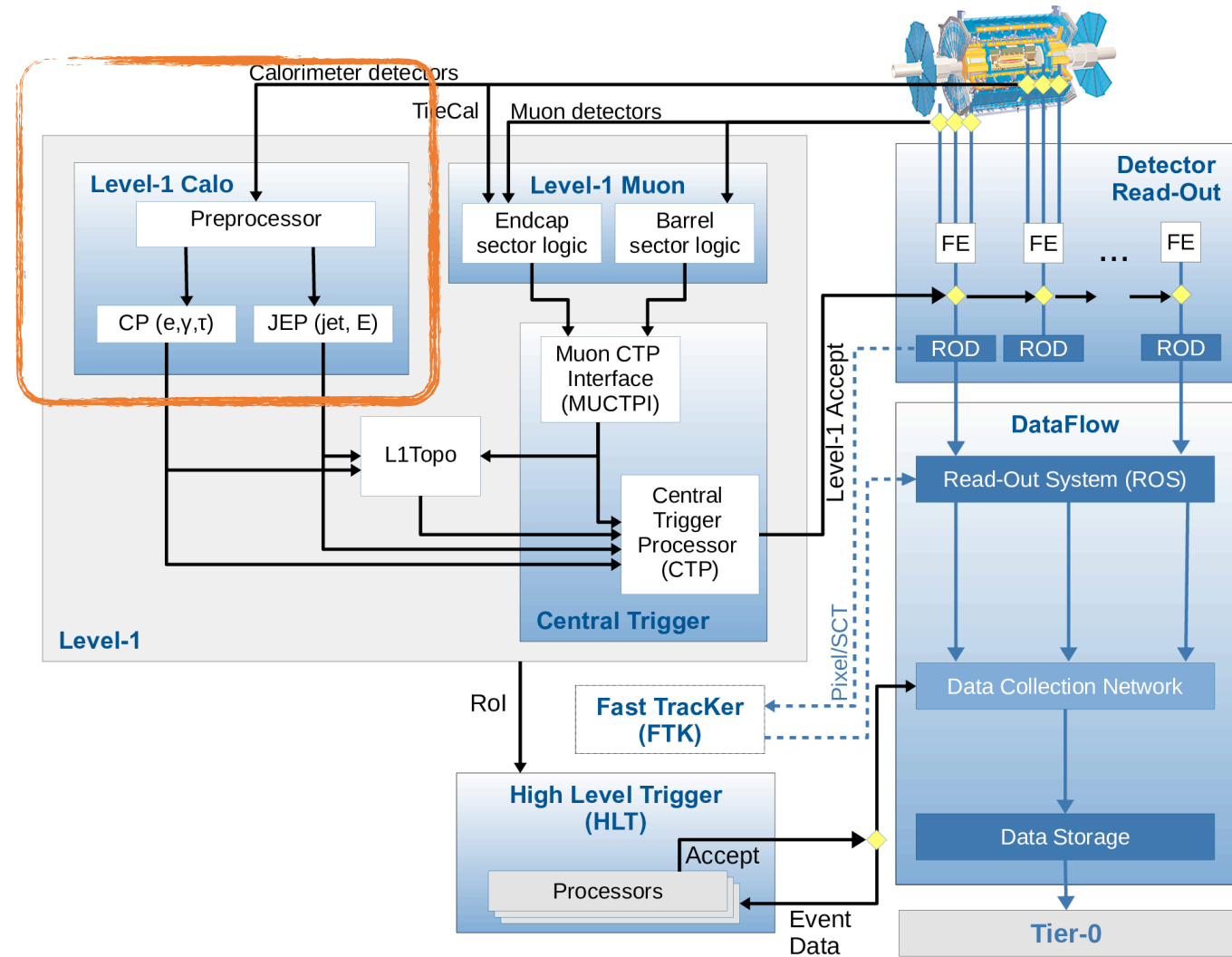
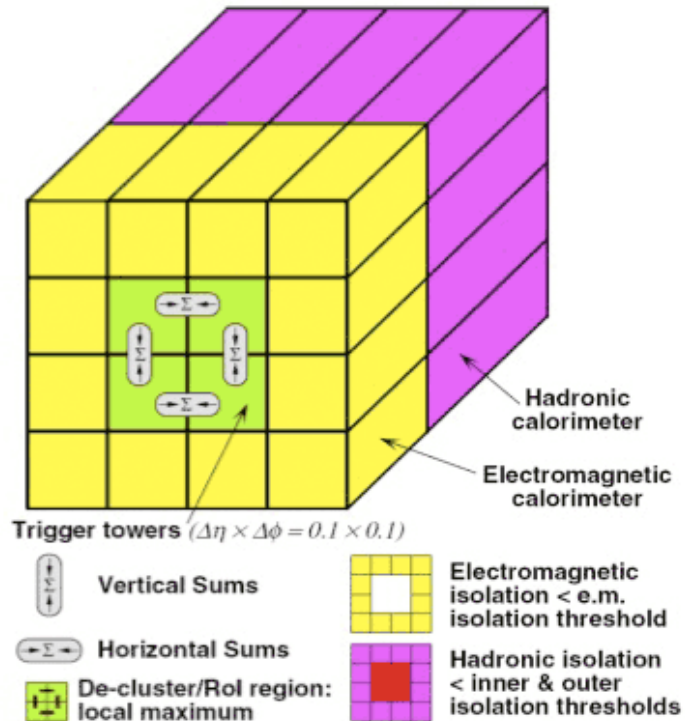


El sistema de Trigger de ATLAS: Level 1

Level 1: componentes

- L1Calo: usa información de los calorímetros para identificar posibles electrones, τ , fotones, jets

Calorimeter
Level 1 trigger



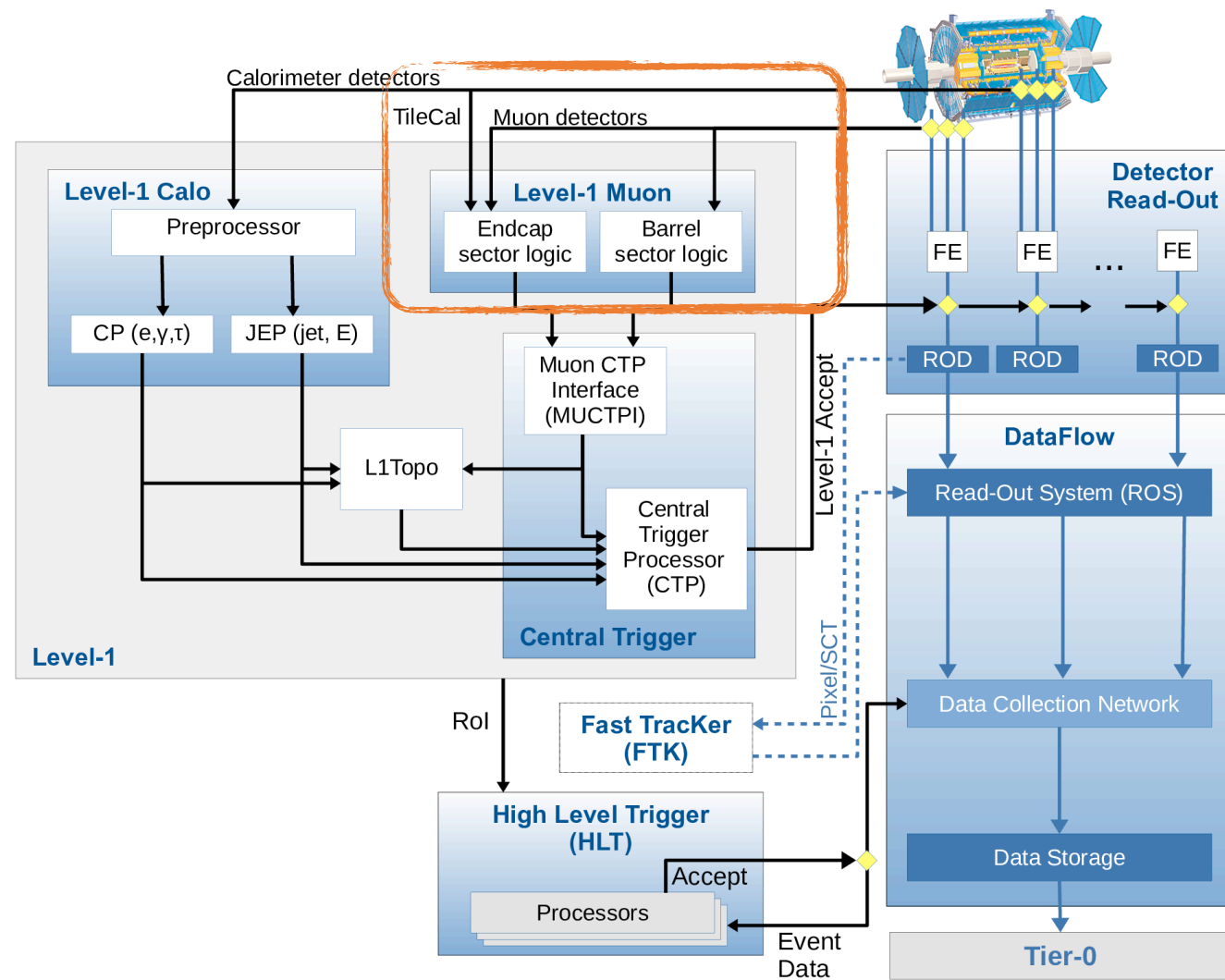
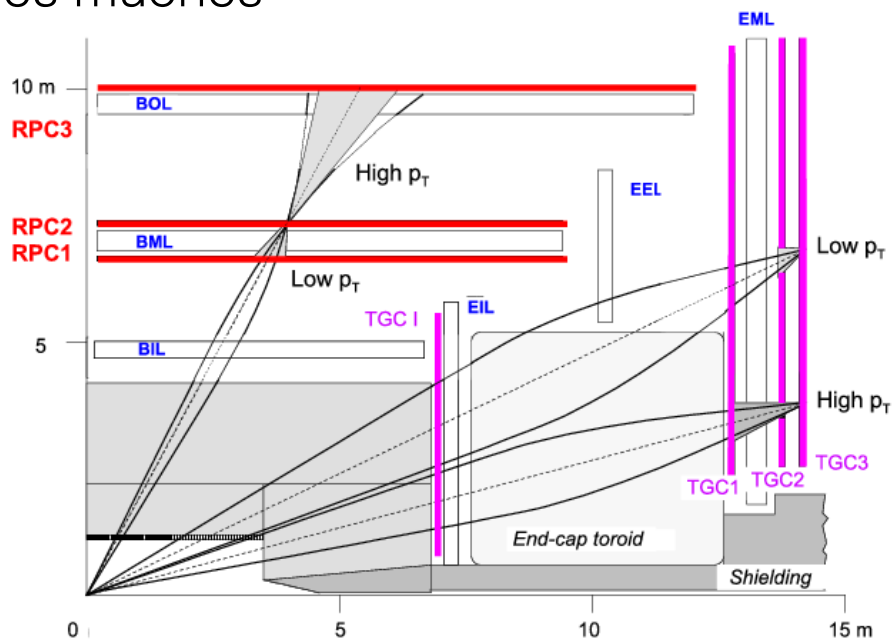


El sistema de Trigger de ATLAS: Level 1

Level 1: componentes

- L1Calo: usa información de los calorímetros para identificar posibles electrones, τ , fotones, jets
- L1Muon: usa información de los sistemas de muones y el calorímetro Tile para identificar posibles muones

Muon Level 1 trigger

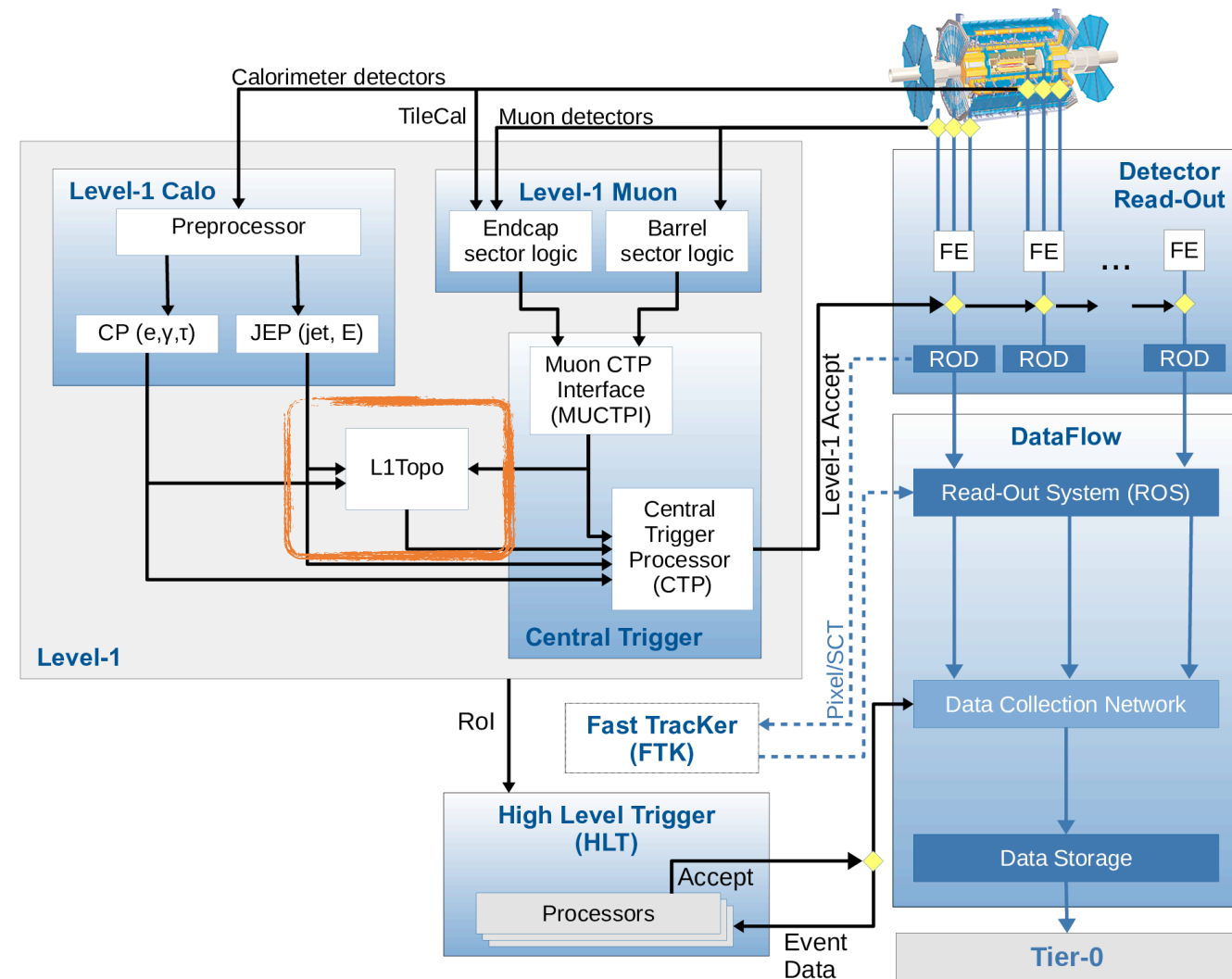




El sistema de Trigger de ATLAS: Level 1

Level 1: componentes

- L1Calo: usa información de los calorímetros para identificar posibles electrones, τ , fotones, jets
- L1Muon: usa información de los sistemas de muones y el calorímetro Tile para identificar posibles muones
- L1Topo: Combina objetos identificados por L1Calo y L1Muon y selecciona eventos a partir de características de la topología del evento (e.g., separación angular, masa invariante)

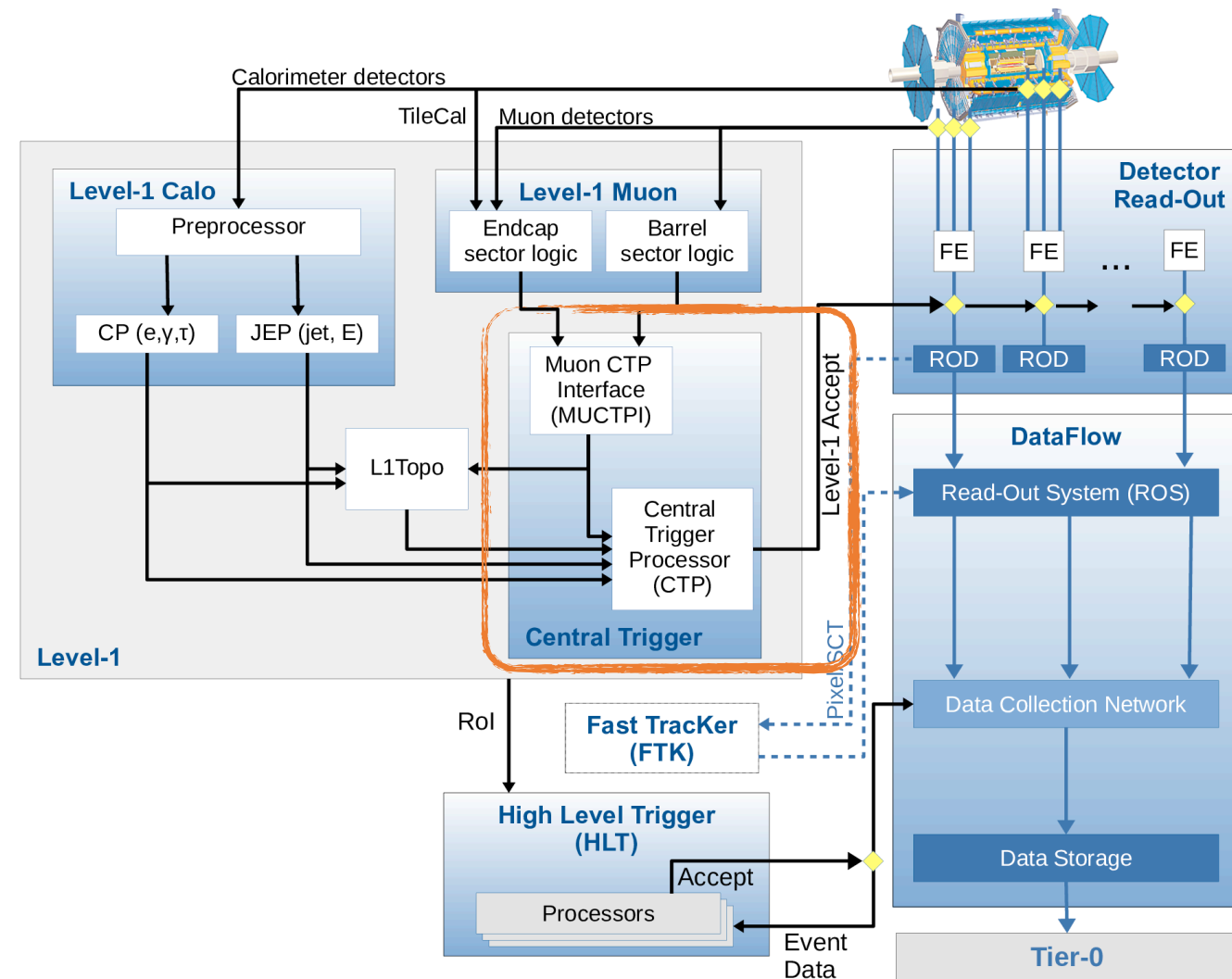




El sistema de Trigger de ATLAS: Level 1

Level 1: componentes

- L1Calo: usa información de los calorímetros para identificar posibles electrones, τ , fotones, jets
- L1Muon: usa información de los sistemas de muones y el calorímetro Tile para identificar posibles muones
- L1Topo: Combina objetos identificados por L1Calo y L1Muon y selecciona eventos a partir de características de la topología del evento (e.g., separación angular, masa invariante)
- Central Trigger: usa las decisiones provenientes de L1Calo, L1Muon y L1Topo para generar un L1 Accept para dicho evento

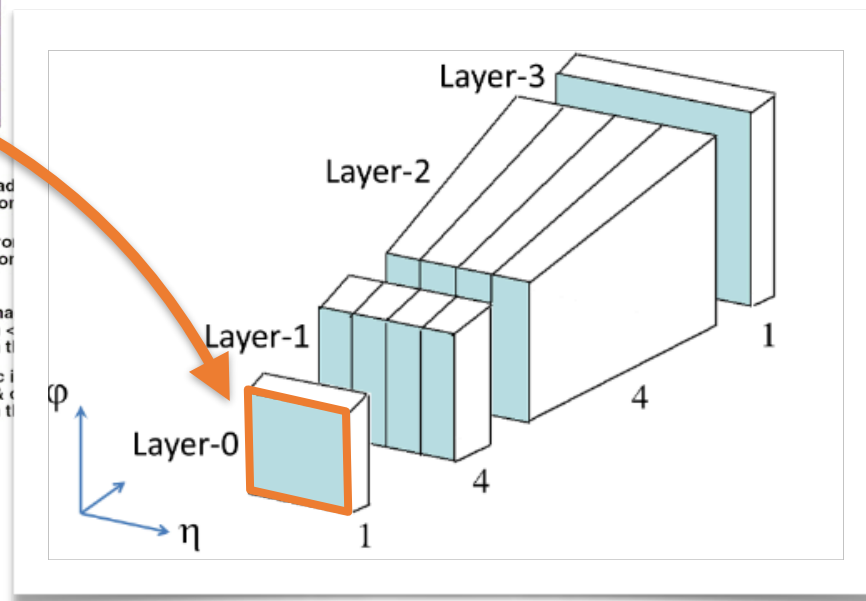
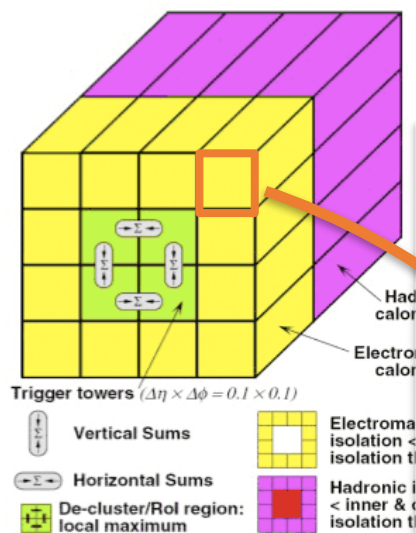
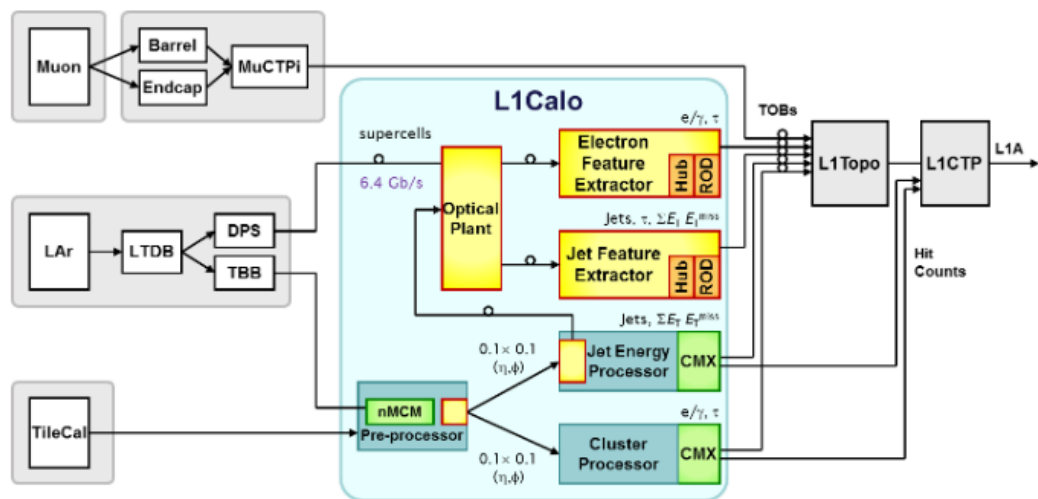




El sistema de Trigger de ATLAS: Level 1

¿Qué hay de nuevo para Run 3?

- Feature Extractors: nuevas tarjetas capaces de identificar con mayor exactitud posibles electrones, τ , fotones, jets
- Supercells: mayor resolución que nos permite una mayor eficiencia para seleccionar objetos de interés manteniendo el ruido de fondo bajo control

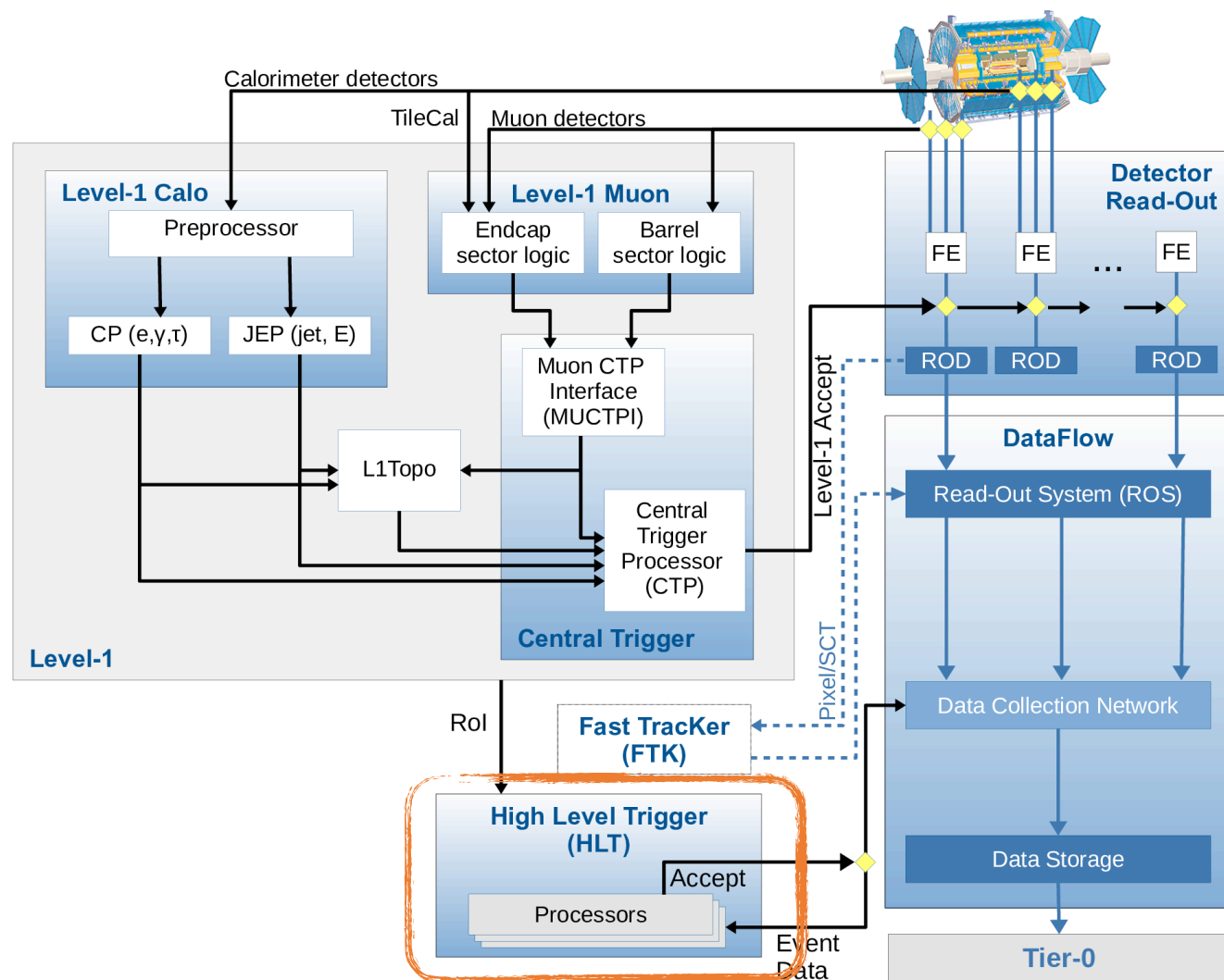




El sistema de Trigger de ATLAS: HLT

High Level Trigger

- Usa servidores comerciales con software desarrollado para maximizar el procesamiento de datos
 - Se le da preferencia al rápido procesamiento sobre el uso de recursos
 - Granja de servidores con CPUs
- La selección se realiza usando información de todo el detector con el máximo nivel de detalle disponible
- Frecuencia deducida de 100 kHz a ~2 kHz

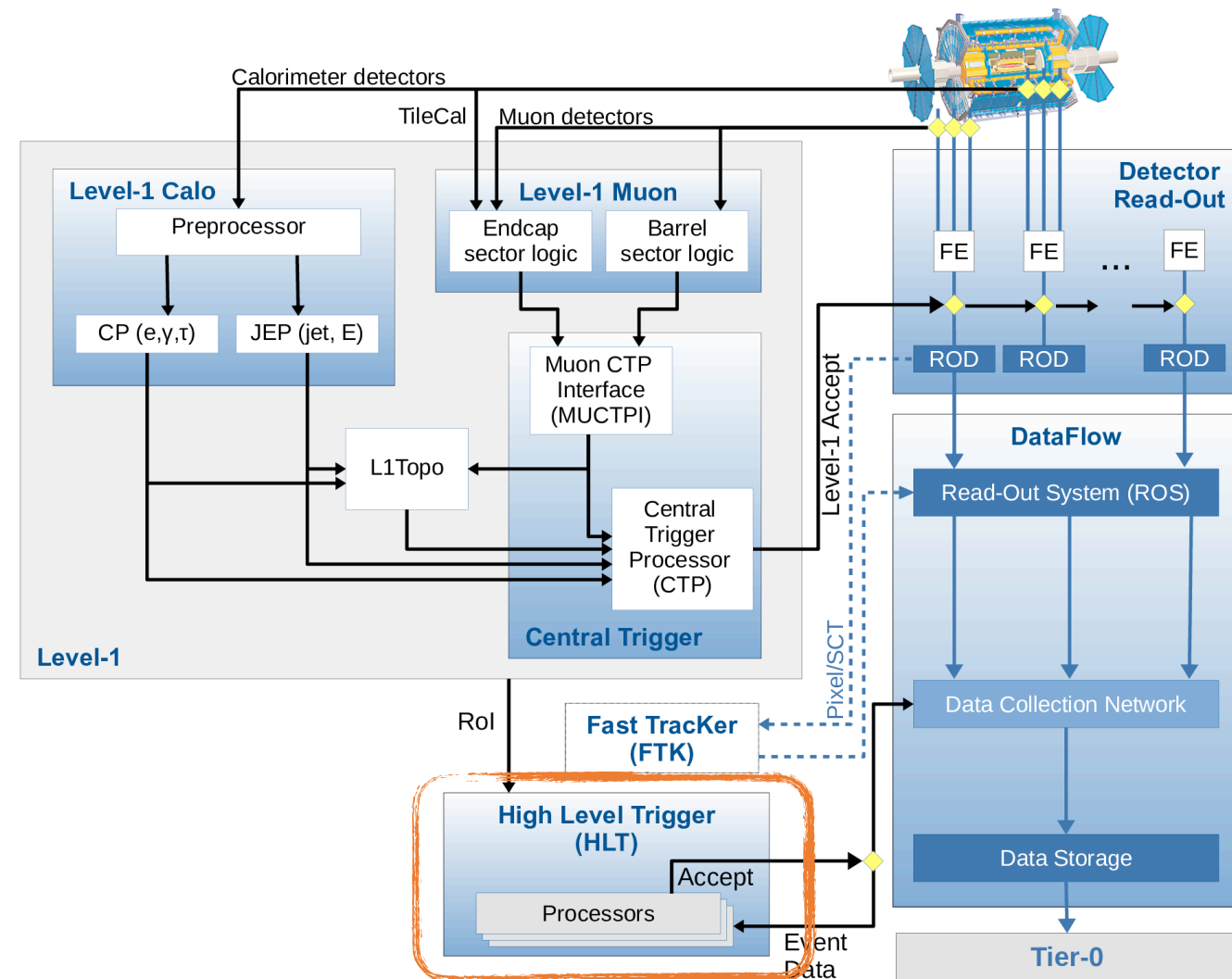




El sistema de Trigger de ATLAS: HLT

¿Qué exactamente hace el HLT?

- Reconstruye objetos usados en los análisis de física (e, γ , τ , jets, etc.): **feature extraction**
- Selecciona objetos basándose en la cinemática de los objetos o en sus características: **hypothesis**
- Para optimizar el tiempo de ejecución del HLT se utiliza el siguiente método:
 - **Fast reconstruction**: reconstrucción parcial del evento usando regiones de interés provenientes del L1 trigger
 - **Precision reconstruction**: reconstrucción total del event usando toda la información del detector

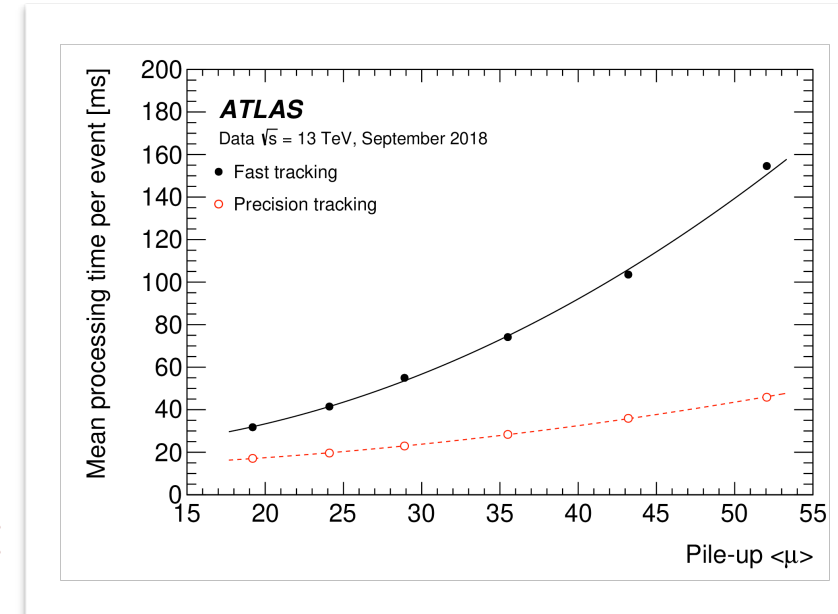
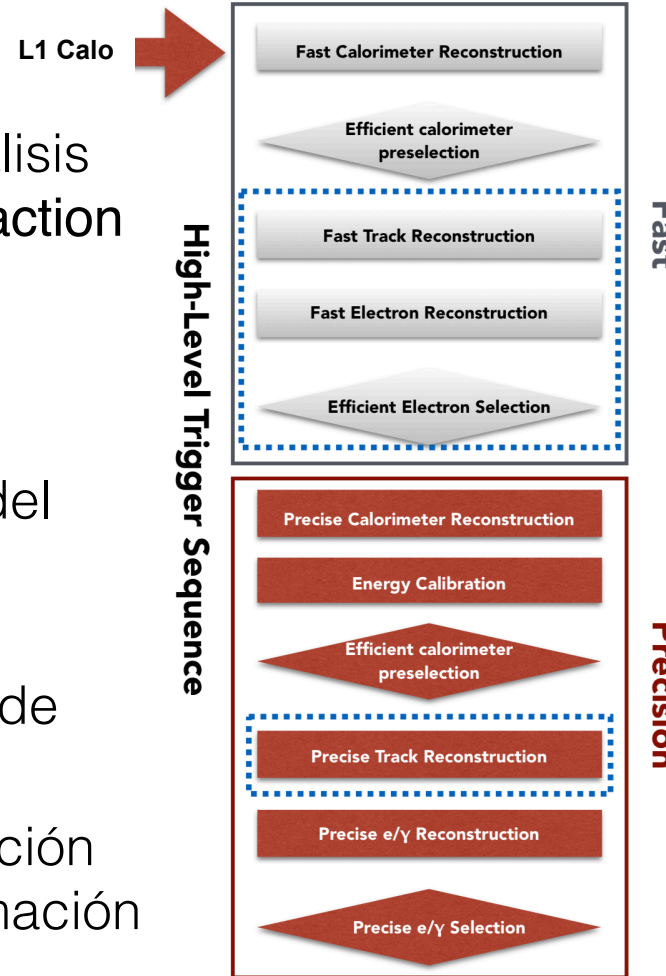




El sistema de Trigger de ATLAS: HLT

¿Qué exactamente hace el HLT?

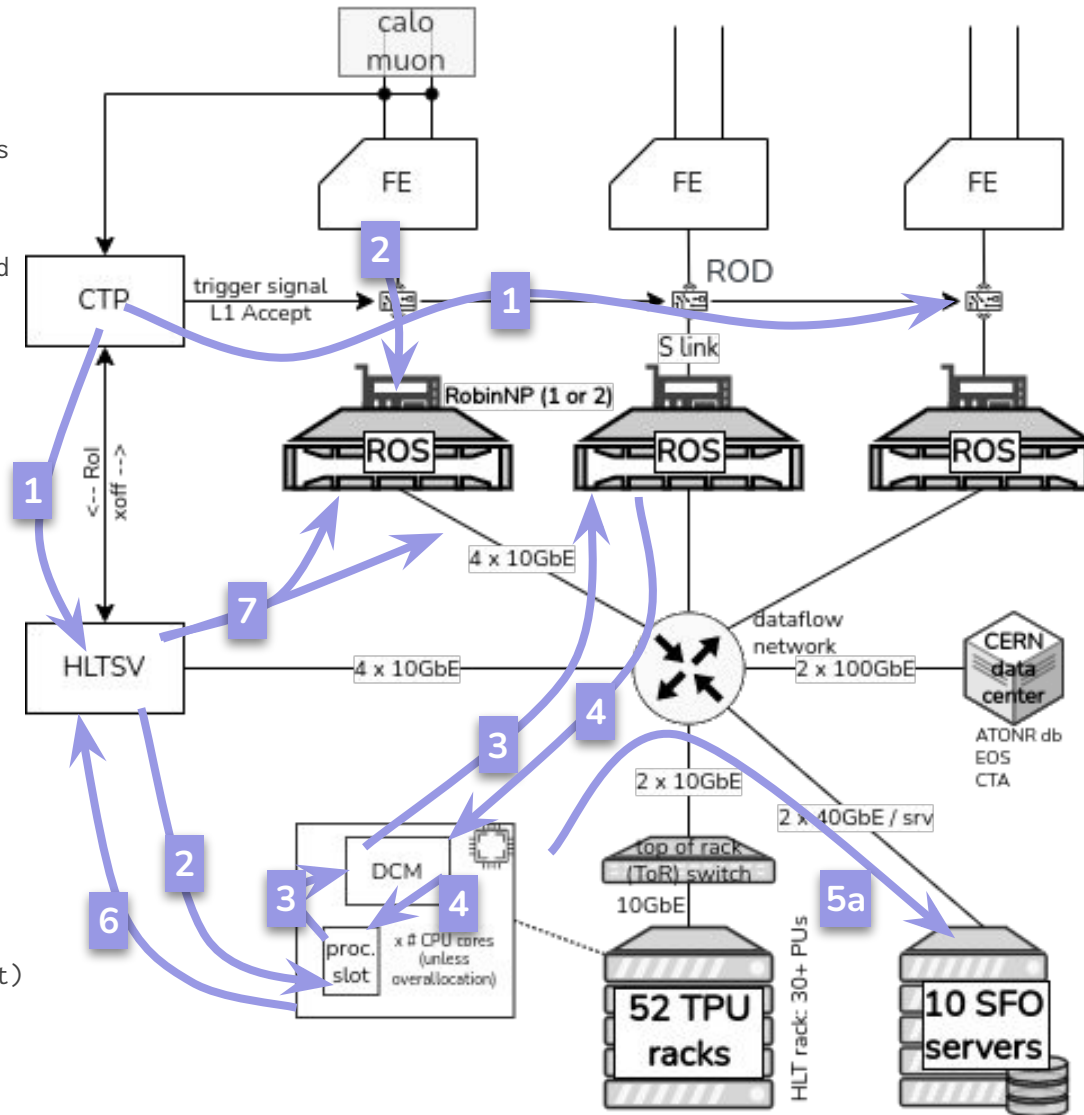
- Reconstruye objetos usados en los análisis de física (e , γ , τ , jets, etc.): **feature extraction**
- Selecciona objetos basándose en la cinemática de los objetos o en sus características: **hypothesis**
- Para optimizar el tiempo de ejecución del HLT se utiliza el siguiente método:
 - **Fast reconstruction:** reconstrucción parcial del evento usando regiones de interés provenientes del L1 trigger
 - **Precision reconstruction:** reconstrucción total del event usando toda la información del detector





El sistema de Trigger de ATLAS: ¿Cómo fluyen los datos?

- 1 CTP sends trigger signal to ReadOut Drivers
And RoI to HLTSV
Contains L1 ID
- 2a Data is transferred from detector Front-End
to ROD, processed
Transferred through S-link (channel) to
RobinNP card
Stored in RobinNP memory
- 2b In parallel
HLTSV transforms L1 ID in Global ID
Assigns event to an available Proc. Slot
- 3 Proc. Slot requests fragments to DCM by
channel ID
DCM associates channel ID to ROS IP
And requests the fragment
- 4 ROS sends fragment to DCM
Goto 3 until 5a or 5b
- 5a Event is accepted and sent to an SFO
- 5b Event is rejected
- 6 Proc. slot sends result to HLTSV
- 7 HLTSV marks proc. slot as available
And sends clear request to all ROSes (mcast)



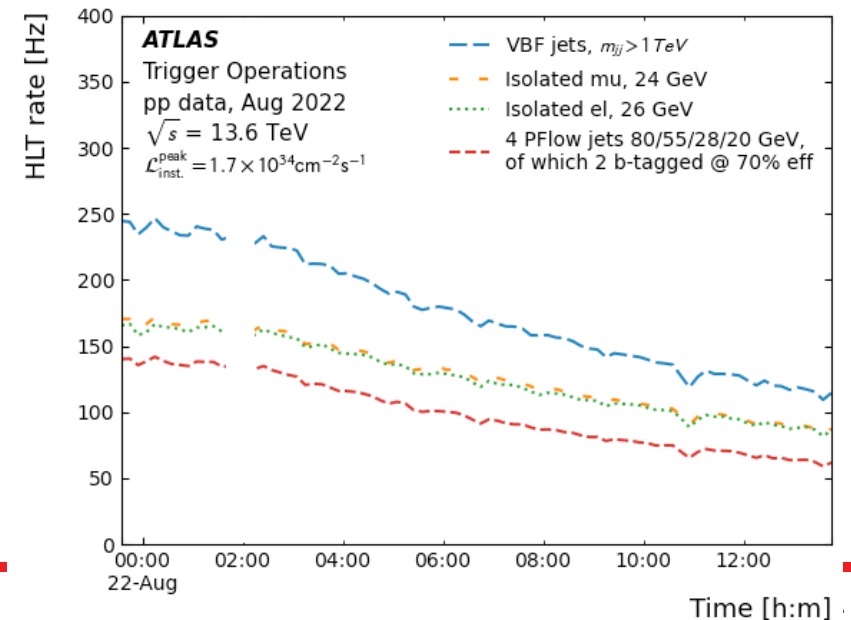
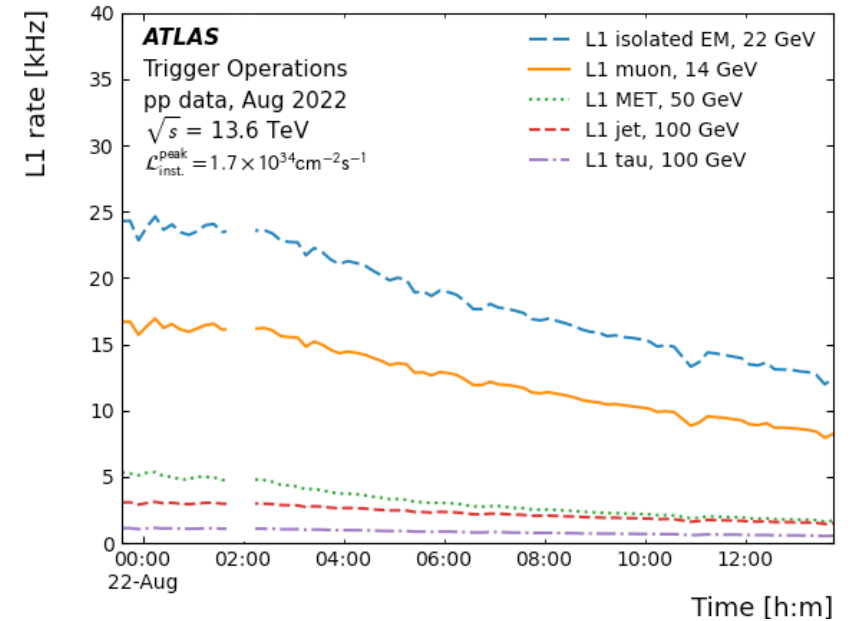
- After 5a
SFO writes event to file
- Later
File is closed: new lumiblock or max size
reached
And file is registered in ATONR database
- Later
CastorScript transfer files to EOS
And update its status in ATONR
Tier0 starts processing
And registers the file for movement to CTA
- Later
CTA writes the file to tape
SFO polls CTA periodically and deletes file
when on tape



El sistema de Trigger de ATLAS: ¿Cómo es la operación del trigger?

Tipos de trigger

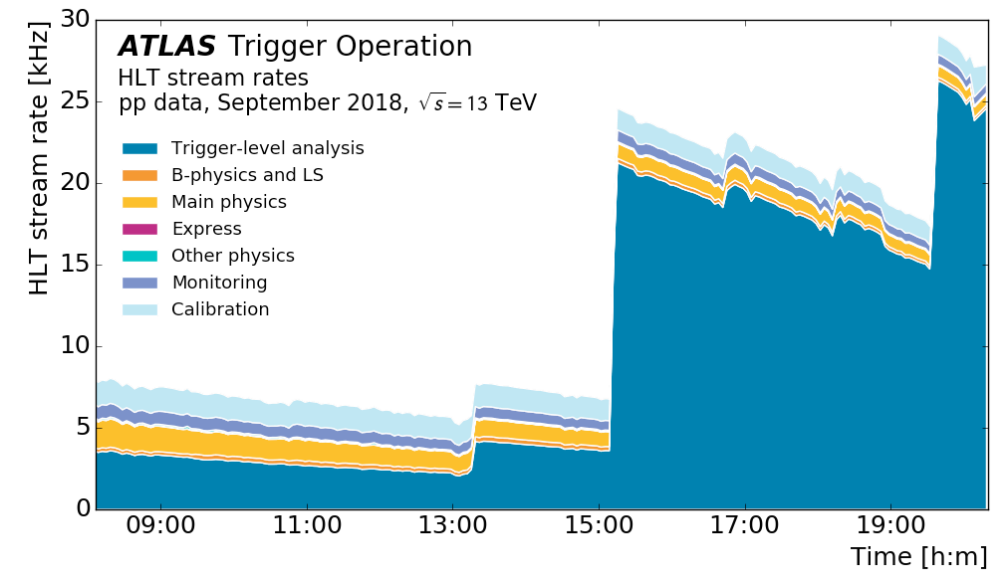
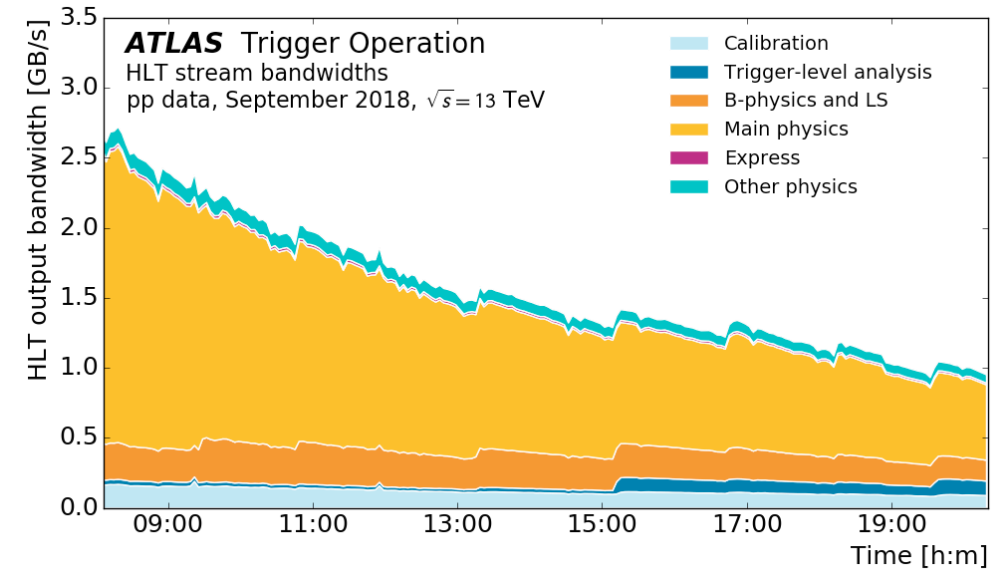
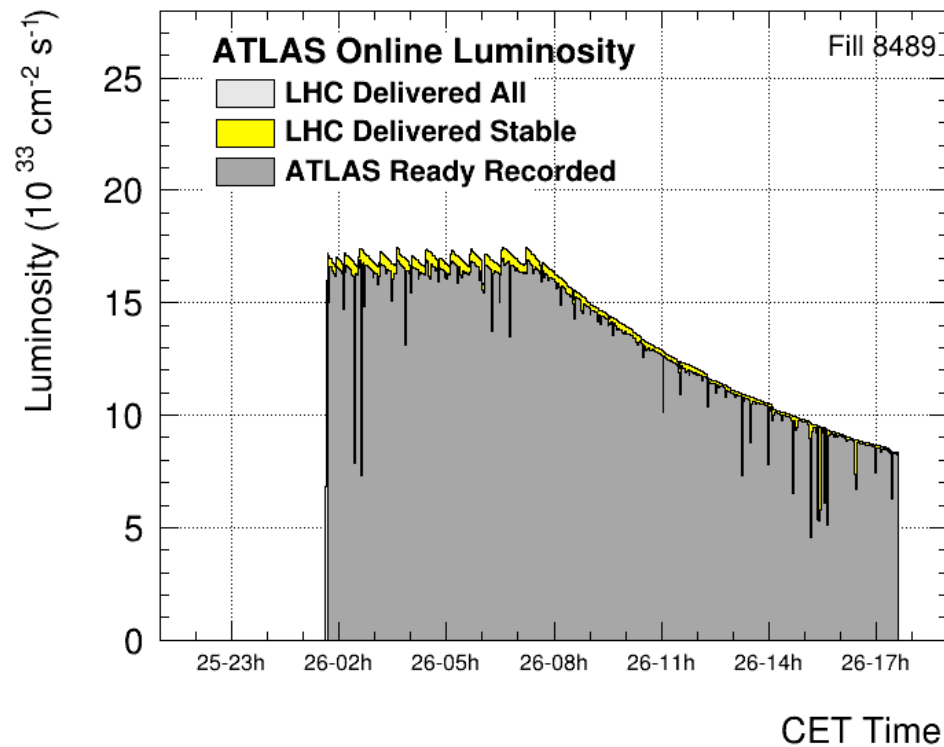
- Se dividen en el tipo de objeto que seleccionan
 - ▶ electrón, fotón
 - ▶ muón
 - ▶ τ
 - ▶ jet
 - ▶ b-jet (jets provenientes de b-quarks)
 - ▶ Missing E_T
 - ▶ B-physics
- Cada tipo de trigger tiene asignado un máximo ancho de banda tanto en L1 como en HLT dependiendo de su importancia en el programa de ATLAS





El sistema de Trigger de ATLAS: ¿Cómo es la operación del trigger?

- A medida que pasa el tiempo y el haz de protones se degrada, podemos hacer cambios a la configuración del trigger
- Permitimos que mas eventos sean salvados cuando hay ancho de banda disponible

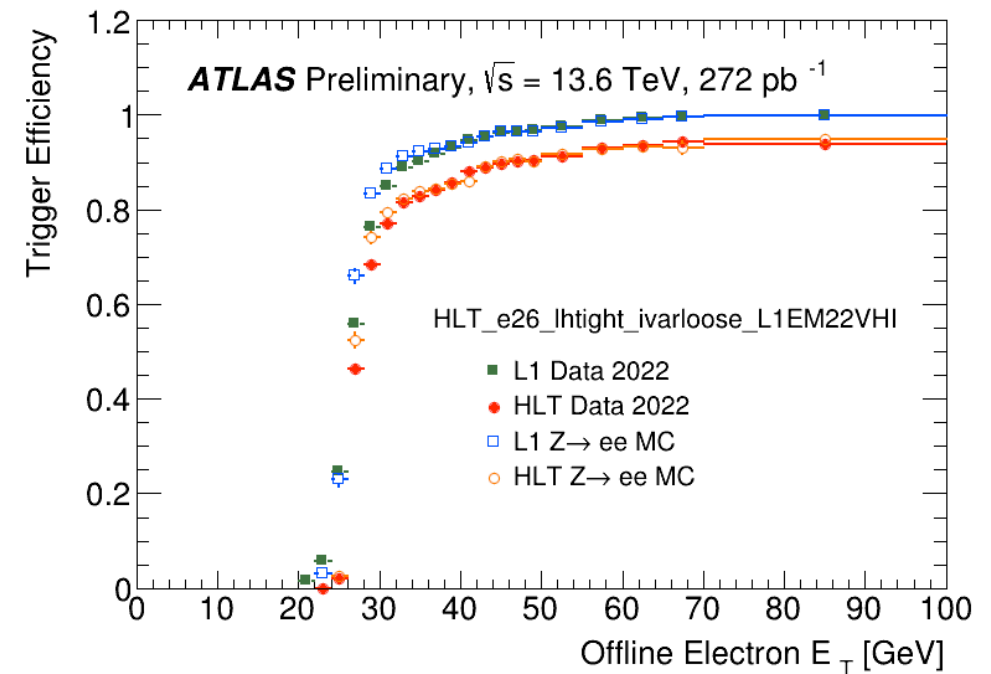
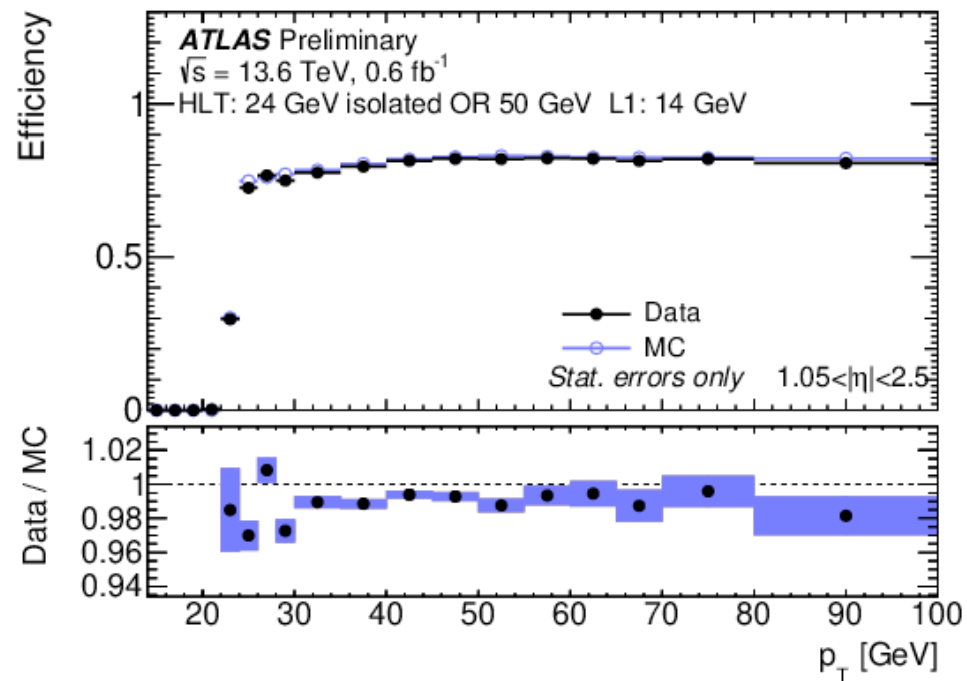




El sistema de Trigger de ATLAS: ¿Y si salvamos lo que pensamos?

¿Qué tan eficiente es nuestro sistema?

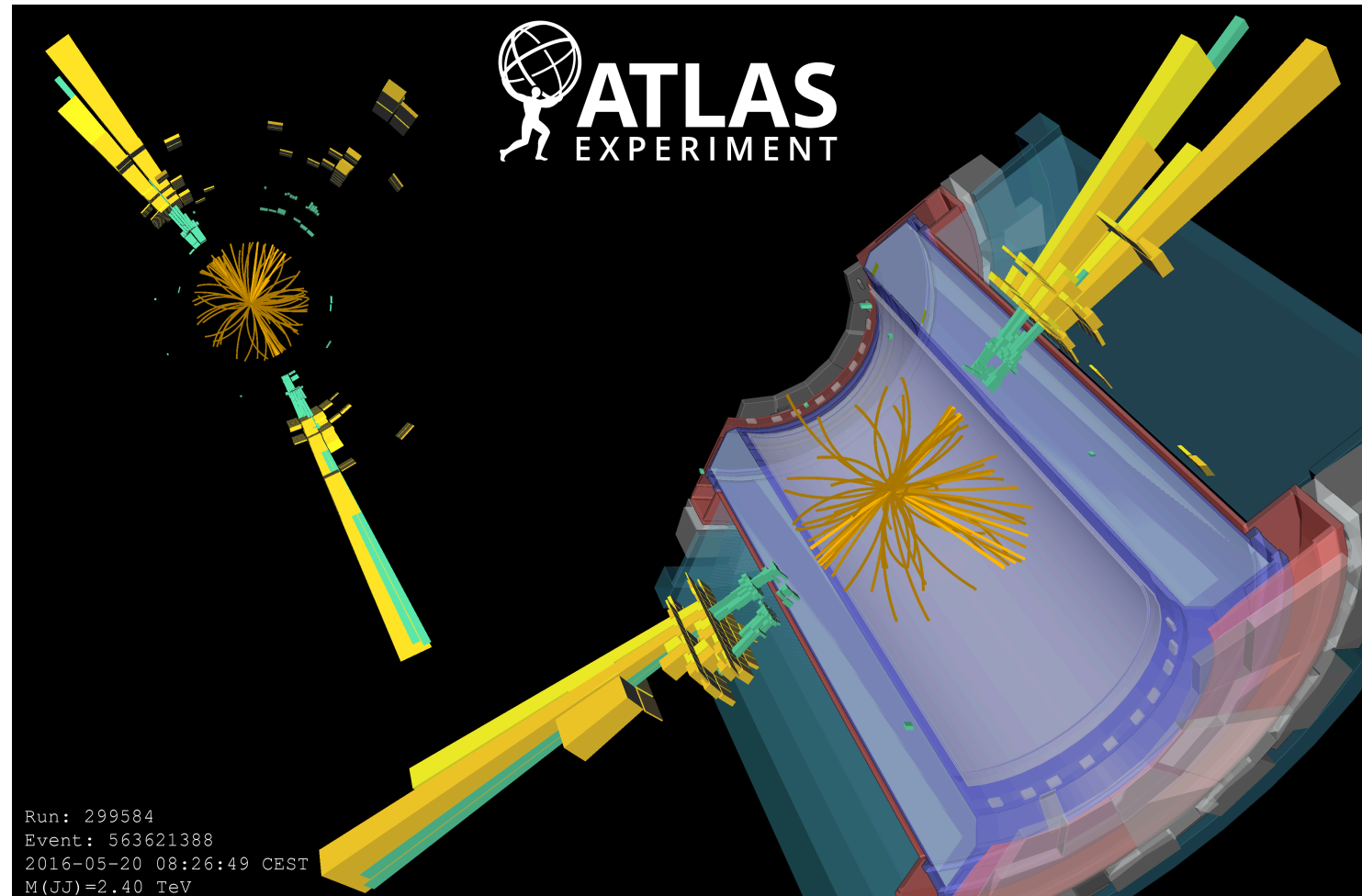
- Medir la eficiencia del trigger es indispensable
- Esto se mide tanto en datos reales como en datos simulados
 - En caso de discrepancias, se deben derivar factores de calibración para usar en los análisis





El sistema de Trigger de ATLAS: al final de camino

- Eventos seleccionados por el HLT son enviados a permanent storage
- Cerca del 10% es usado para calibración y verificación de la calidad de los datos
- Luego de la calibración todos los datos son reconstruidos y distribuidos alrededor del mundo para ser analizados





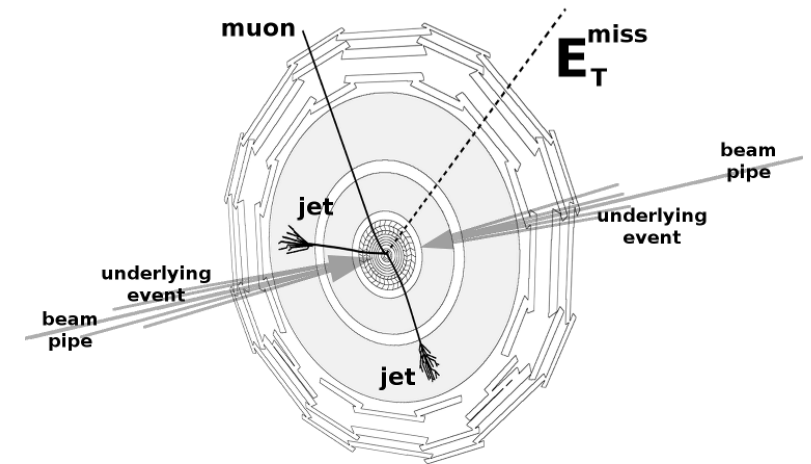
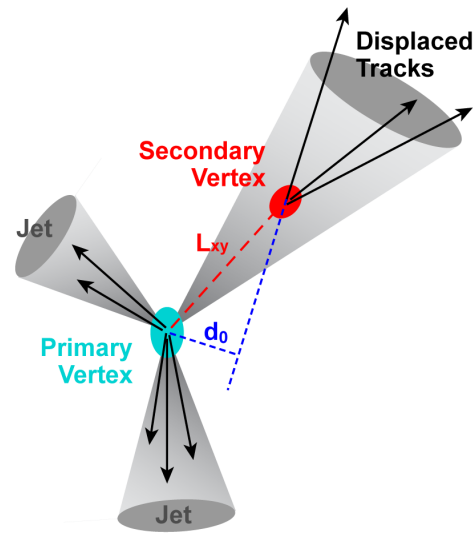
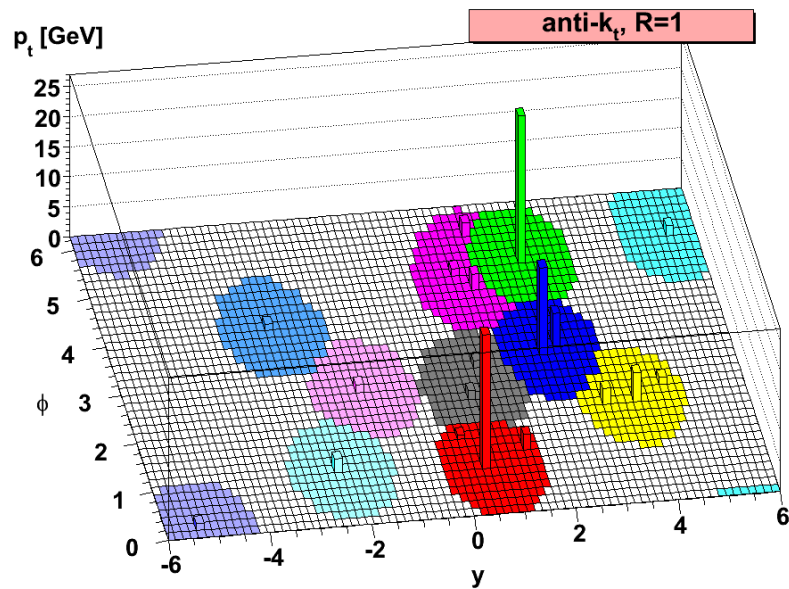
¿Cómo hacemos para encontrar cosas nuevas entre los datos?



Reconstrucción de objetos físicos

Objetos del análisis

- Para analizar los datos debemos primero identificar objetos que representen elementos físicos
- Los datos son reconstruidos utilizando toda la información de todo el detector: no hay ningún paso de tipo *fast* como en el Trigger
- Los objetos son calibrados para que su cinemática y características correspondan a aquellas del cual provienen
- Usualmente usamos: electrones, muones, fotones, jets, b-jets, Missing E_T , τ hadrónicos, etc.





Article A detailed map of Higgs boson interactions by the ATLAS experiment ten years after the discovery

<https://doi.org/10.1038/s41586-022-04893-w>
Received: 21 March 2022
Accepted: 23 May 2022
Published online: 4 July 2022

The ATLAS Collaboration¹

Open access
Check for updates

The standard model of particle physics¹ describes the known fundamental particles and forces that make up our Universe, with the exception of gravity. One of the central features of the standard model is a field that permeates all of space and interacts with fundamental particles^{1–4}. The quantum excitation of this field, known as the Higgs field, manifests itself as the Higgs boson, the only fundamental particle with no spin. In 2012, a particle with properties consistent with the Higgs boson of the standard model was observed by the ATLAS and CMS experiments at the Large Hadron Collider at CERN^{5,6}. Since then, more than 30 times as many Higgs bosons have been recorded by the ATLAS experiment, enabling much more precise measurements and new tests of the theory. Here, on the basis of this larger dataset, we combine an unprecedented number of production and decay processes of the Higgs boson to scrutinize its interactions with elementary particles. Interactions with gluons, photons, and W and Z bosons—the carriers of the strong, electromagnetic and weak forces—are studied in detail. Interactions with three third generation matter particles (bottom (b) and top (t) quarks, and tau leptons (τ)) are well measured and indications of interactions with a second-generation particle (muons, μ) are emerging. These tests reveal that the Higgs boson discovered ten years ago is remarkably consistent with the predictions of the theory and provide stringent constraints on many models of new phenomena beyond the standard model.

The standard model of particle physics has been tested by many experiments since its formulation¹ and, after accounting for the neutrino masses, no discrepancies between experimental observations and its predictions have been established so far. A central feature of the standard model is the existence of a spinless quantum field that permeates the Universe and gives mass to massive elementary particles. Testing the existence and properties of this field and its associated particle, the Higgs boson, has been one of the main goals of particle physics for several decades. In the standard model, the strength of the interaction, or coupling, between the Higgs boson and its associated particles is fully defined by the particle's mass and type. Direct couplings to photons and gluons whereas there are three types of couplings to massive particles in the theory. The first is the gauge coupling of the Higgs boson to the mediators of the weak force, the W and Z vector bosons. Demonstrating the existence of gauge couplings is an essential test of the spontaneous electroweak symmetry-breaking mechanism^{1–4}. The second type of coupling involves another fundamental interaction, the Yukawa interaction, between the Higgs boson and matter particles, or fermions. A central prediction of the theory is that the couplings scale with the particle masses and they are all precisely predicted once all the particle masses are known. The experimental determination of

the couplings of the Higgs boson to each individual particle therefore provides important and independent tests of the standard model. It also provides stringent constraints on theories beyond the standard model, which generally predict different patterns of coupling values. In 2012, the ATLAS⁵ and CMS⁶ experiments at the Large Hadron Collider (LHC)⁷ at CERN announced the discovery of a new particle with properties consistent with those predicted for the Higgs boson of the standard model^{8,9}. More precise measurements that used all of the proton–proton collision data taken during the first data-taking period from 2011 to 2012 at the LHC (Run 1) showed evidence that, in contrast to all other known fundamental particles, the properties of the discovered particle were consistent with the hypothesis that it has no spin^{10,11}. Alternate spin-1 and spin-2 hypotheses were also tested and were excluded at a high level of confidence. Investigations of the charge conjugation and parity (CP) properties of the new particle were also performed, demonstrating consistency with the CP-even quantum state predicted by the standard model, while still allowing for small admixtures of non-standard model CP-even or CP-odd states^{12,13}. Limits on the particle's lifetime were obtained through indirect measurements of its natural width^{14,15}. In addition, more precise measurements of the new particle's interactions with other elementary particles were achieved¹⁶. The results of all these investigations demonstrated that its properties were compatible with those of the standard model Higgs

Les Rencontres de Physique de la Vallée d'Aoste

La Thuile, Aosta Valley, Italy
March 5-11, 2023

[Conference Info and Registration](#)



¿Qué pasa con todos los datos después de ser utilizados?



Almacenamiento de datos

Para la posteridad

- Los datos de los experimentos de LHC nunca se borran
- Son archivados en cintas magnéticas que se reemplazan periódicamente
- Son distribuidos alrededor del mundo
- Puedes comprar tu propio trozo de los datos en la tienda del CERN



Para la comunidad

- Tanto ATLAS como CMS tiene proyectos para hacer sus datos públicos y poner a disposición herramientas básicas para su análisis.
- <https://atlas.cern/Resources/Opendata>
- <http://opendata.cern.ch/docs/about-cms>

Online Open Data Analysis

The screenshot shows a Jupyter notebook titled "ATLAS_OpenData_analysis_example-python_Hyy_channel". The notebook content includes a title "Searching for the Higgs boson in the H→γγ channel", a section "Python notebook example", and an introduction: "Introduction Let's take a current ATLAS Open Data sample and create a histogram:". Below this is a code cell with the following Python code:

```
In [1]: import ROOT
from ROOT import TH1D
import time

Welcome to Jupyter 6.18.0/4
```

The text below the code cell reads: "Explore ATLAS open datasets and physics analyses directly from your browser with the help of our cloud computing resources. These ["Jupyter](#)

Offline Open Data Analysis



The best way to analyse ATLAS Open Data offline is using our "[Virtual Machines](#)". This simple set-up includes all of the 13 TeV software and



<http://laconga.redclara.net>



contacto@laconga.redclara.net



lacongaphysics



Latin American alliance for
Capacity buildiNG in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.