

# Instrumentación & Control: Sistema de Triggers en el experimento ATLAS

Florencia Daneri

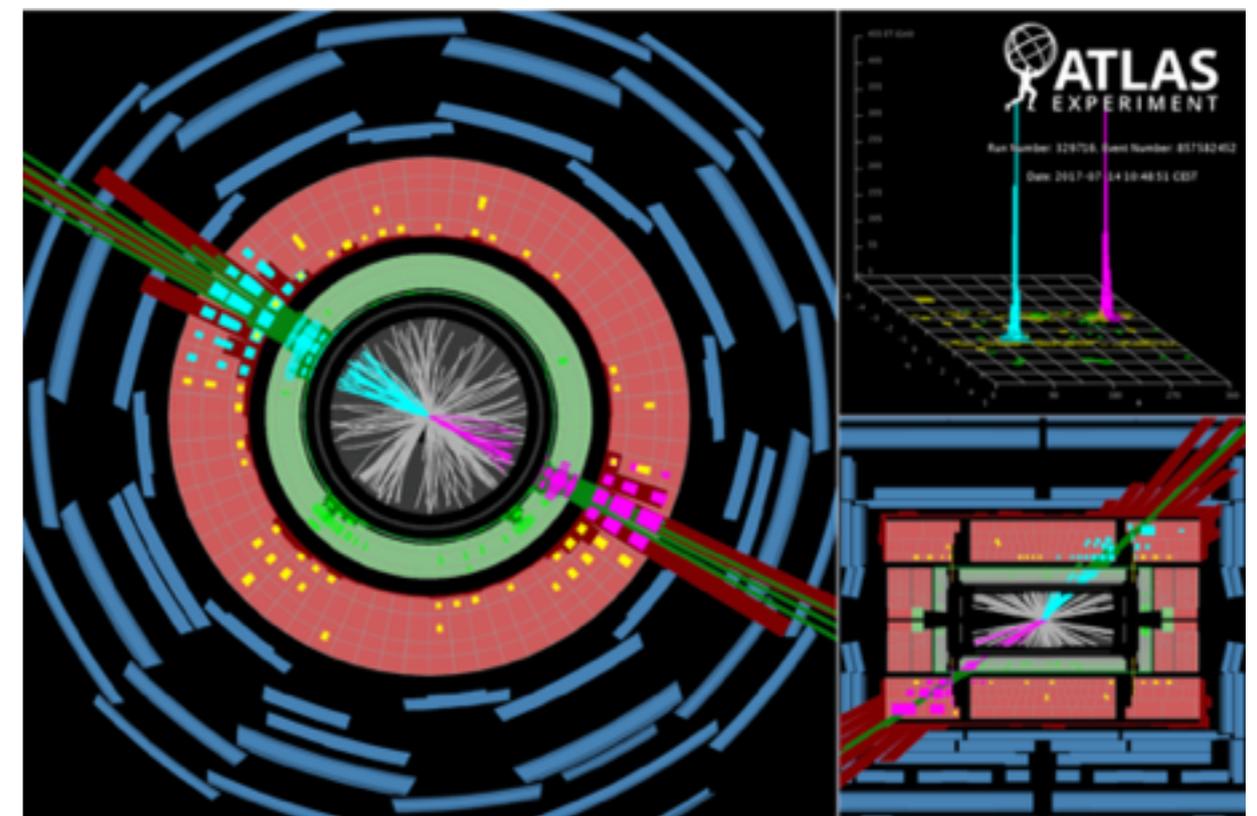
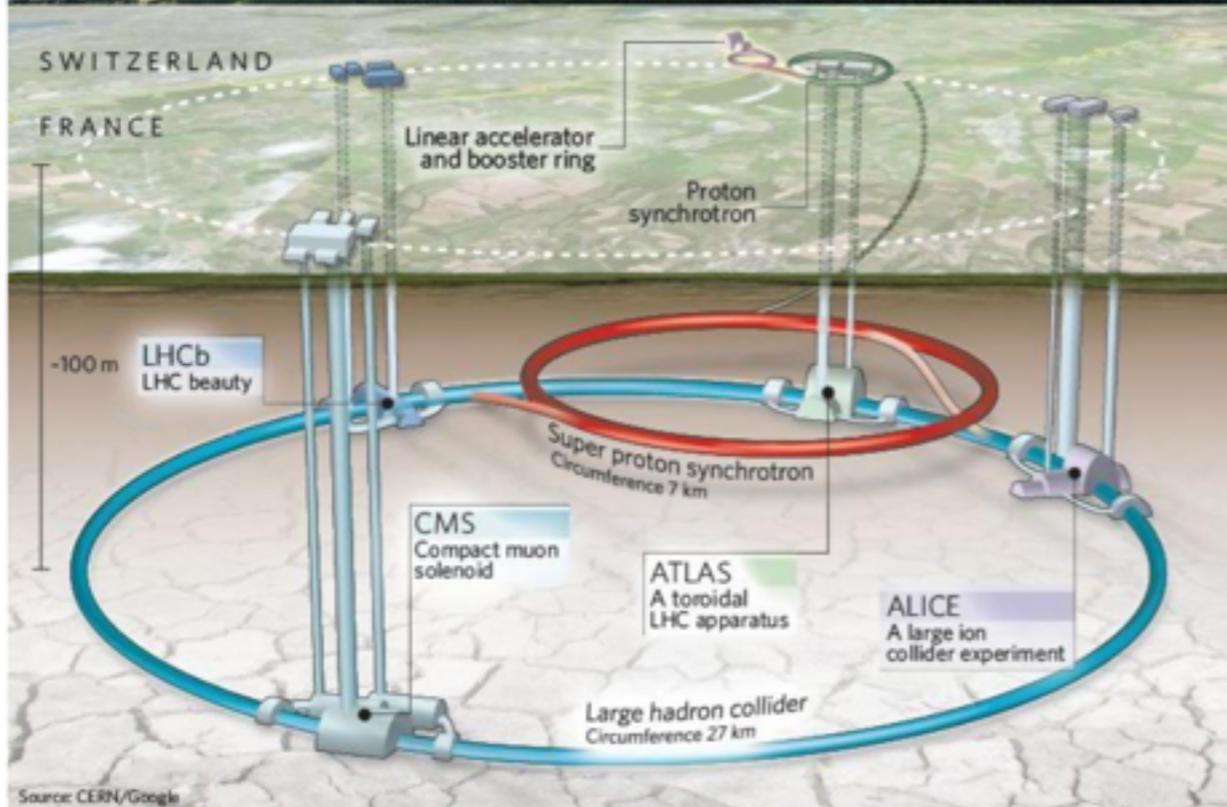
24 de Octubre, 2018



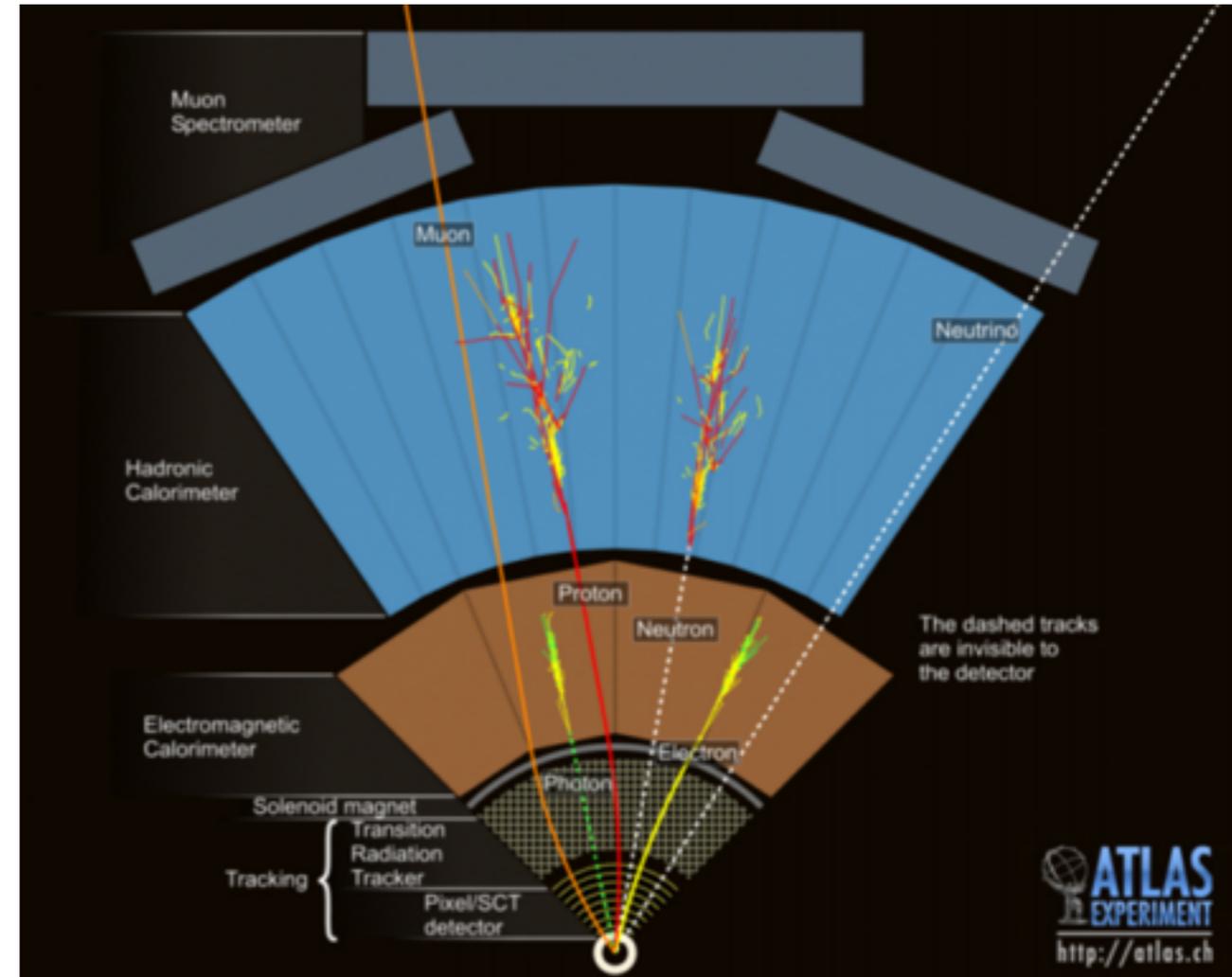
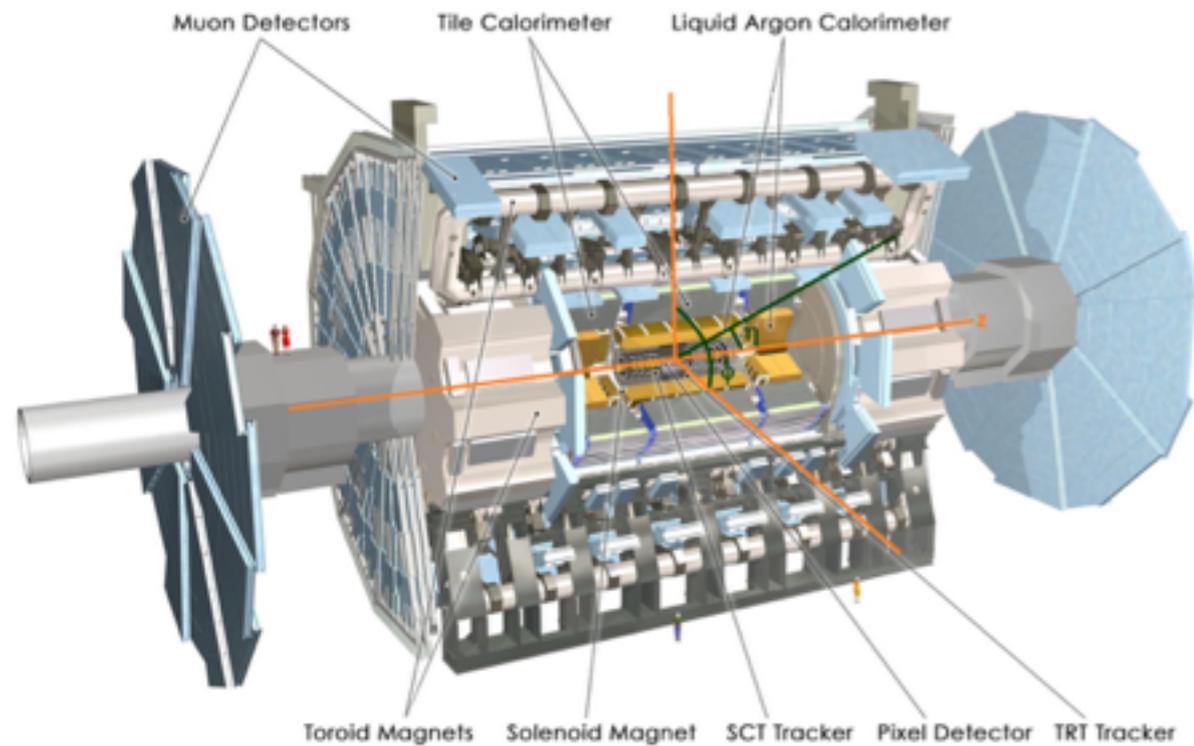
# Large Hadron Collider



- 27 km de circunferencia
- Colisiones p-p @  $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$
- Bunch Crossings (BC) cada 25 ns
- Frecuencia de colisión  $\sim 40 \text{ MHz}$
- **Evento:** todos los productos de una BC que son guardados
- **Pile-up:** productos de colisiones secundarias



# ATLAS



- Distintas tecnologías de detectores y componentes se usan para identificar partículas de estados finales
- Pueden dividirse en capas: detector de **trazas**, **calorímetros** y el **espectrómetro de muones**
- El sistema de **triggers** y **DAQ** es responsable de seleccionar y guardar los eventos de interés

¿Qué queremos medir?  
Fotones  
Electrones  
Muones  
Neutrinos  
Jets

# El problema del Rate

colliders	BC time	collision rate	Design luminosity (cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
LEP	22 ms	45 kHz	7 x 10 <sup>31</sup>
Tevatron	396/132 ns	2.5/7.6 MHz	4 x 10 <sup>32</sup>
LHC	25 ns	40 MHz	10 <sup>34</sup> →

- **Luminosidad:** medida de la cantidad de interacciones por unidad de área y tiempo
- Para valores bajos de luminosidad, el rate de interacciones es demasiado alto para cualquier sistema de adquisición
- El rate de salida está limitado por el poder computacional y la capacidad de almacenamiento
- Sólo una pequeña fracción de eventos puede ser guardada para luego analizar, pero ¿cómo se eligen?

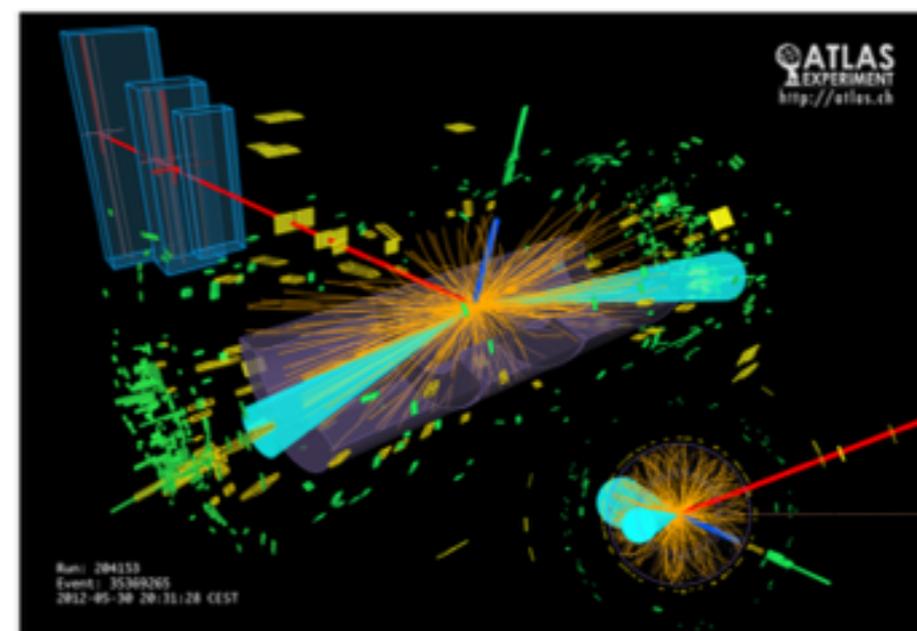
¡Trigger!

$$R = \mu \cdot f_{BC} = \sigma_{int} \cdot L$$

$L$  = Instant. luminosity  
 $f_{BC}$  = Rate of bunch crossings  
 $\mu$  = Average (pp) interactions / BC

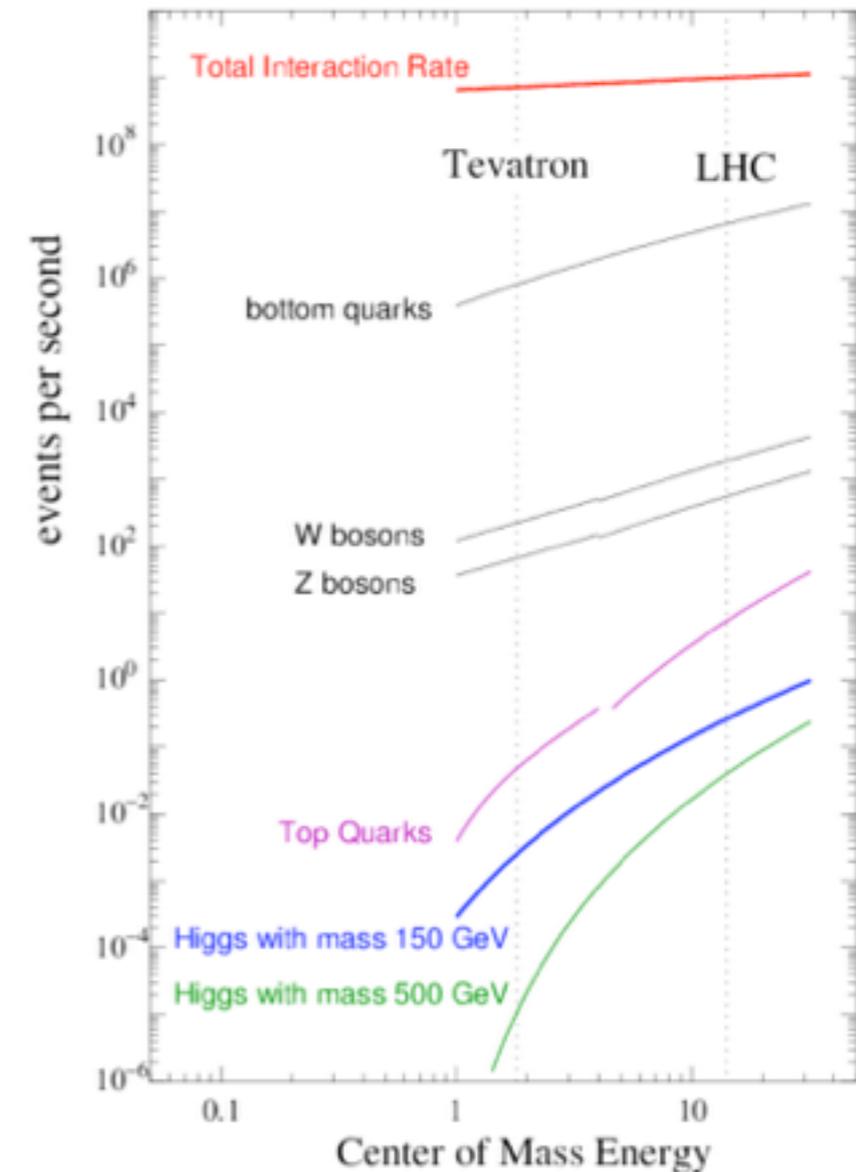
25 \* 40 MHz ≈ 70 mb \* 10 / nb ≈ 1GHz

máximo rate aceptable ~200 Hz



# ¿Qué nos interesa guardar?

- Producción de cross-sections se extiende por muchos órdenes de magnitud
- Colisiones están dominadas por física “no interesante” o **background**, mientras que los eventos de interés (**señal**) son poco probables -> discriminar background es crucial!
- El objetivo es guardar la mayoría de eventos que resulten de interés para una rango amplio de análisis, por ejemplo:
  - Búsquedas de Higgs ( $H \rightarrow ZZ \rightarrow \text{leptons}$ ,  $H \rightarrow \gamma\gamma$ ,  $H \rightarrow \tau\tau$ ,  $H \rightarrow bb$ )
  - Búsquedas de nueva física: materia oscura y supersimetría (usando triggers inclusivos que sean sensibles a nueva física impredecible)
  - Estudios de precisión (medición de la masa del W) y de física del quark b
- El sistema de triggers debe ser robusto y confiable, ya que todos los eventos que se no guardan se pierden por completo!



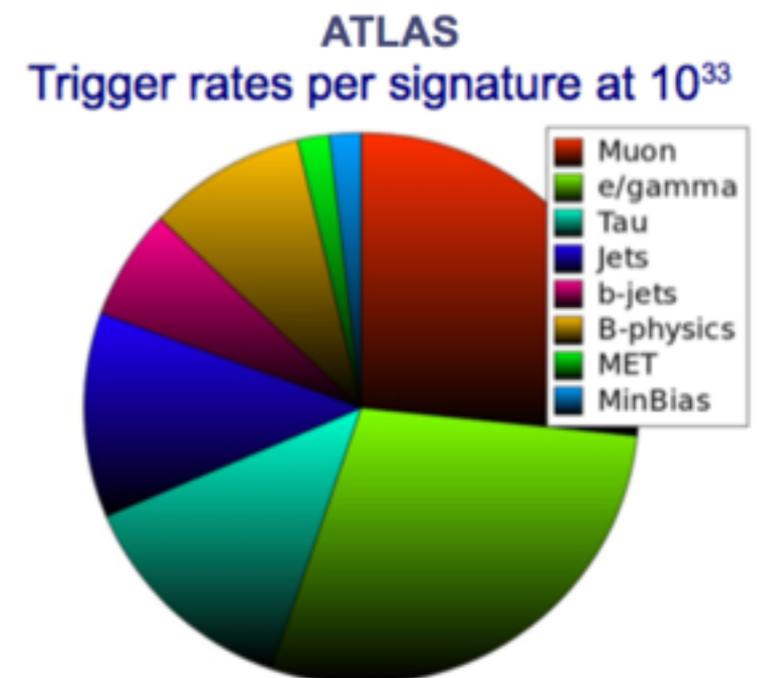
# ¿Qué nos interesa guardar?

## Pre-scaled triggers:

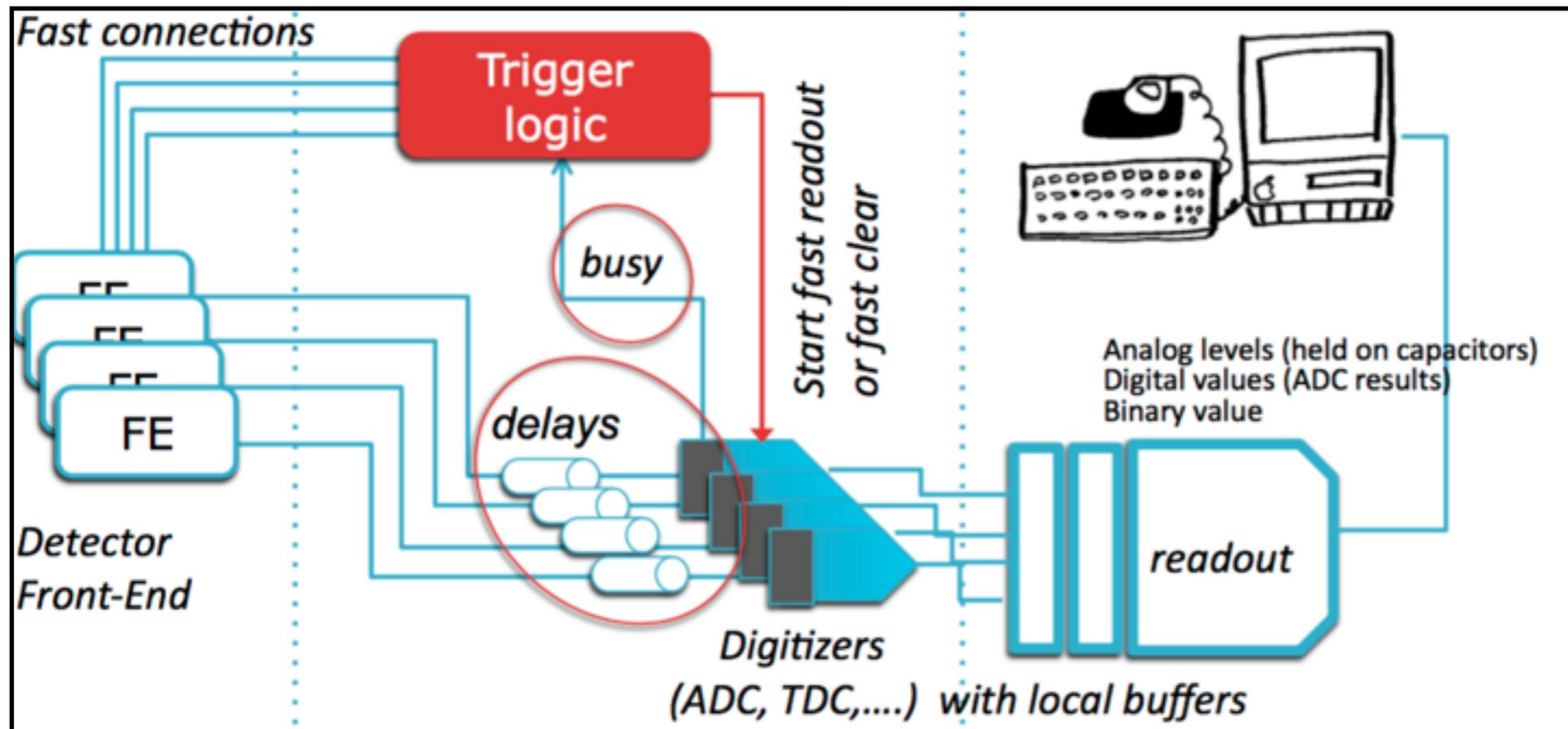
- Guardar sólo una fracción de los eventos que satisfacen el trigger
- Forma de guardar partículas con umbrales bajos de energía sin saturar el rate
- Útil para hacer estudios de performance del detector y estudios del background

## Trigger Menu:

- Lista con criterios de selección
- Un evento es seleccionado por el trigger si uno o más criterios se cumplen
- Diferentes criterios de selección para cubrir un amplio rango de análisis físicos
- El menú además debe incluir eventos adicionales para completar los análisis: medición de background, calibración de los detectores, etc.



# Latencia y Dead Time



## Latencia:

- Tiempo que tarda el trigger en tomar la decisión y distribuir la información a los conversores digitales
- Señales deben ser demoradas hasta que la decisión del trigger esté disponible

# Latencia y Dead Time

## Dead Time:

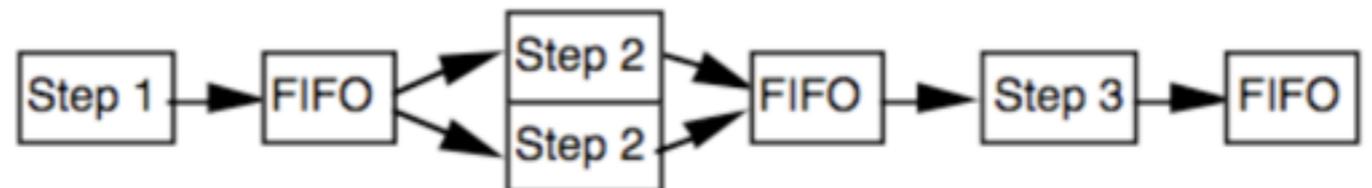
Fracción del tiempo de adquisición en la que no se guardan eventos (bajo %)

## Causas:

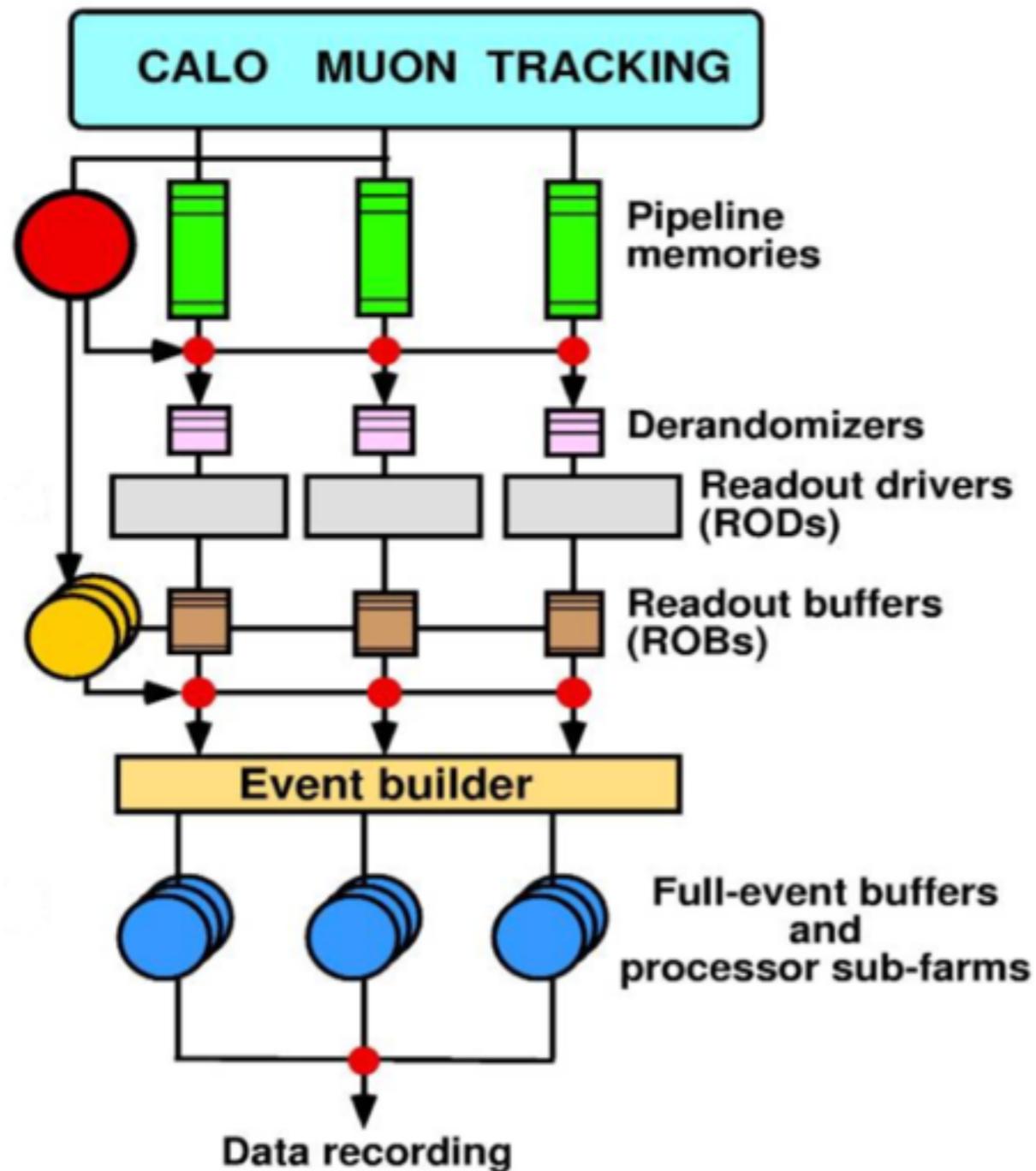
- Readout dead time: antes de que el evento sea procesado completamente, otros eventos no pueden ser procesados (**BUSY**)
- Trigger dead time: tiempo lógico operacional del trigger, suma sobre todos los componentes

## Soluciones:

- **Paralelismo**: procesos de trigger y readout independientes, uno por cada elemento del detector. DAQ y digitalización paralelos
- Procesos “**pipeline**”: ordenar procesos en diferentes pasos y usar buffers locales entre pasos que permitan diferentes tiempos de procesamiento en cada uno
- En cada paso se agregan **filtros** (selección más estricta) para reducir el volumen de los datos y algunos se descartan de forma aleatoria (pre-scale)
- Esto afecta el valor de la latencia en cada paso



# Multi-Level Trigger



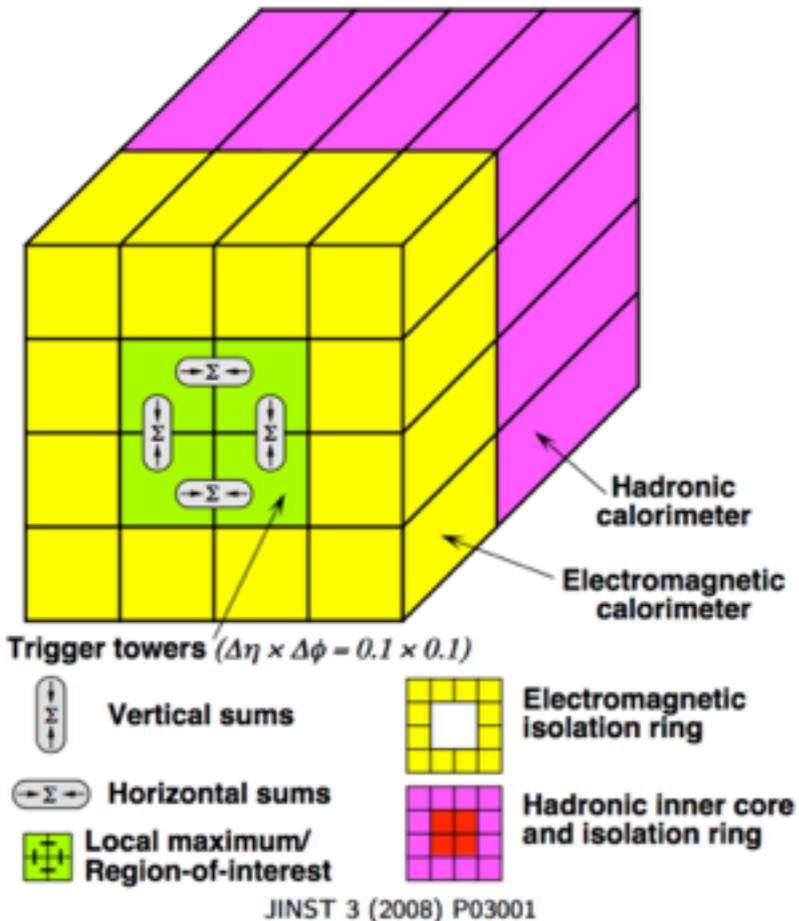
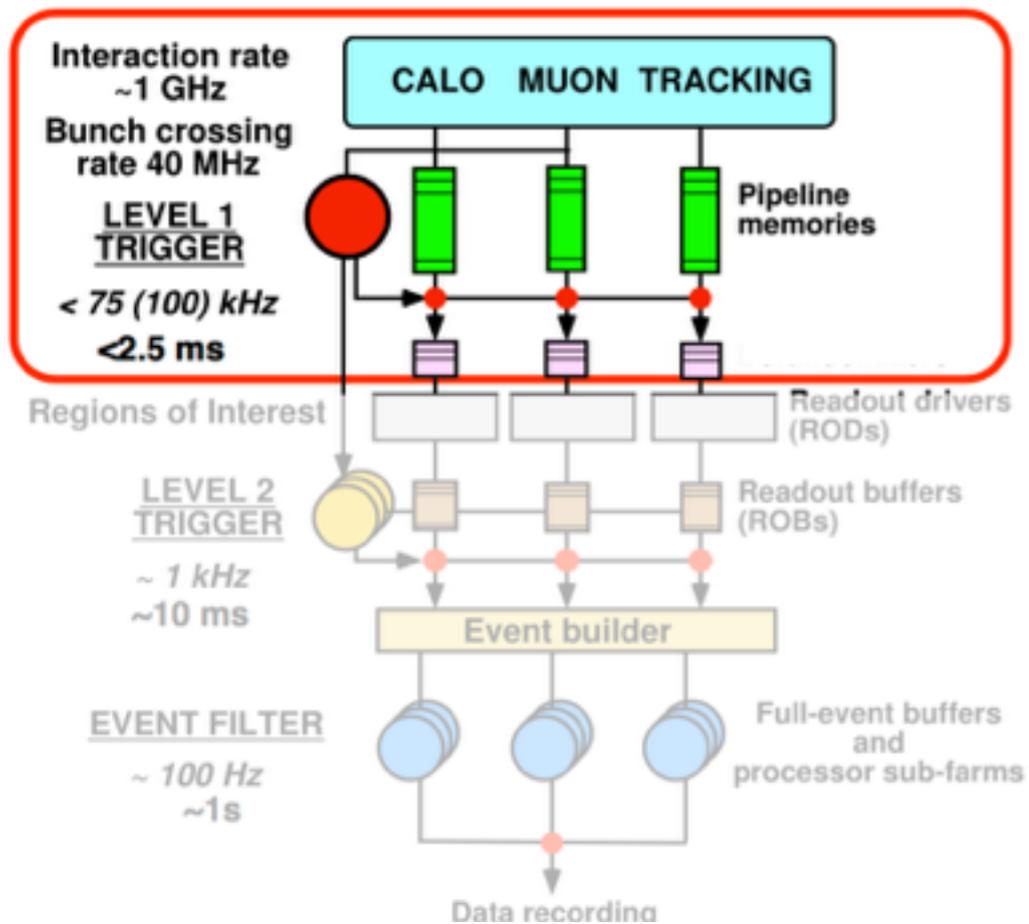
Se toman decisiones sucesivas cada vez más complejas de forma rápida:

- Primer nivel con baja latencia, trabaja con rates altos
- Niveles superiores tienen mayor poder de rechazo con mayor latencia y usan algoritmos más complejos

ATLAS cuenta con 3 niveles:

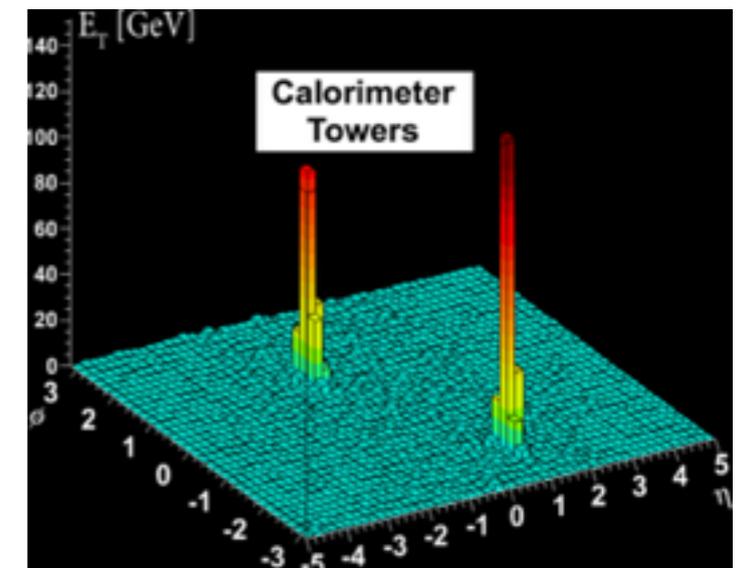
- Level 1
- Level 2
- Level 3 o Event Filter } High Level Trigger



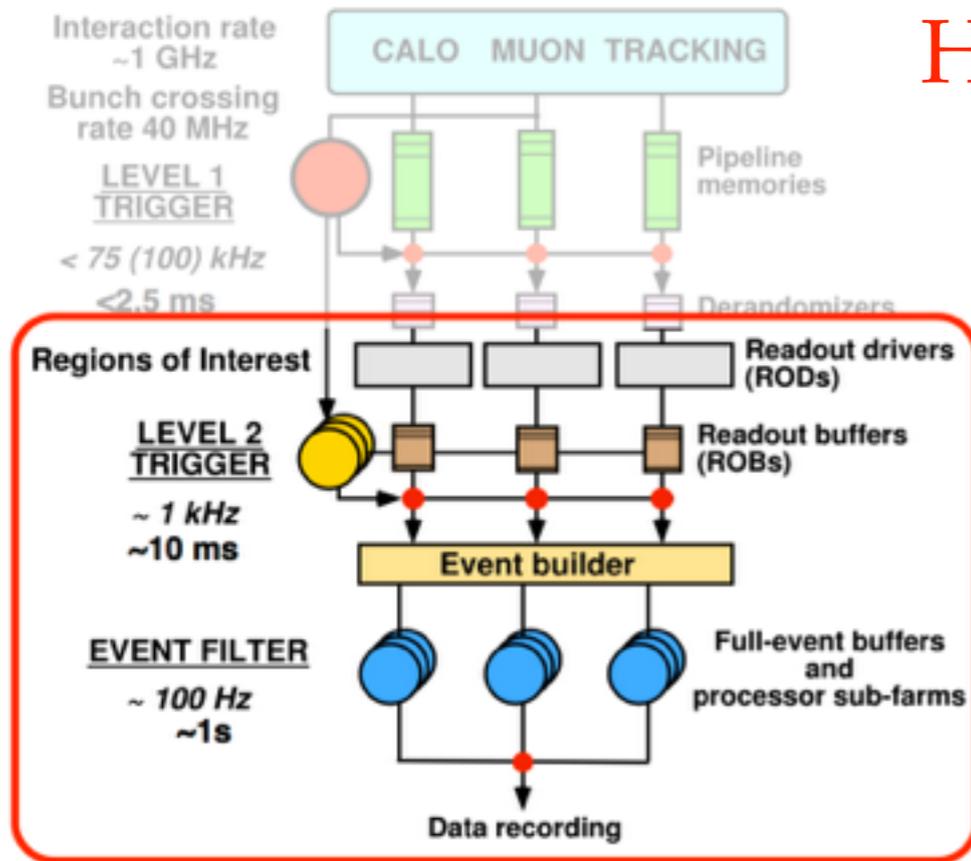


## Level 1

- Electrónica personalizada que procesa rápidamente los datos de los detectores
- Sólo usa información del **calorímetro** y el **espectrómetro de muones**
- Requiere algoritmos complejos para rechazar background y guardar señal
- La información de todos los canales de detección ( $\sim 10^8$ ) debe ser mantenida en la memoria local del detector durante la decisión del trigger. Las memorias de los pipelines son implementadas en FPGAs
- Crea “regiones de interés” (RoIs)
- Latencia < 2.5 ns
- Output Rate: 100 kHz



# HLT: Level 2 + Event Filter



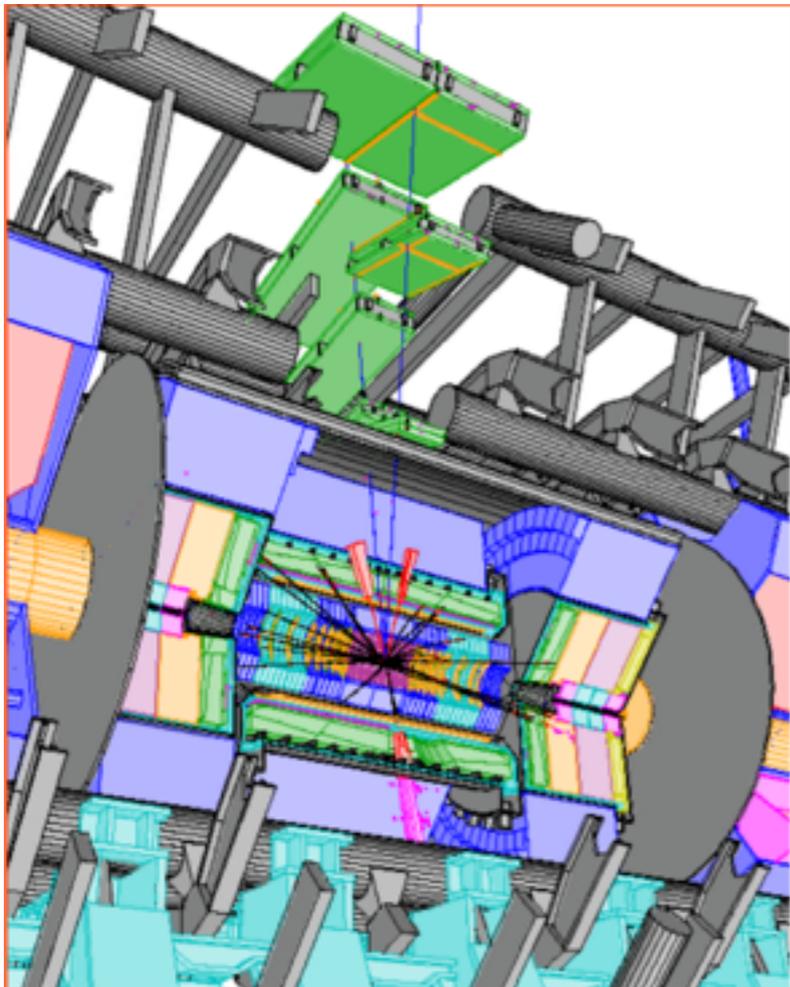
L2 y EF usan la infraestructura de software offline, algoritmos de mayor complejidad y precisión que utilizan más variables que L1

## Level 2:

- Usa sólo la información de las “regiones de interés”
- Latencia: 10 ms
- Output Rate: 1 kHz

## Event Filter:

- Tiene acceso a toda la información del evento (mayor granularidad de los detectores, trazas, etc.)
- Procesa eventos en paralelo, con múltiples procesadores
- Network-based event building
- Latencia: 1 s
- Output Rate: ~200 Hz



# Turn on curves: ¿cómo medir la eficiencia?

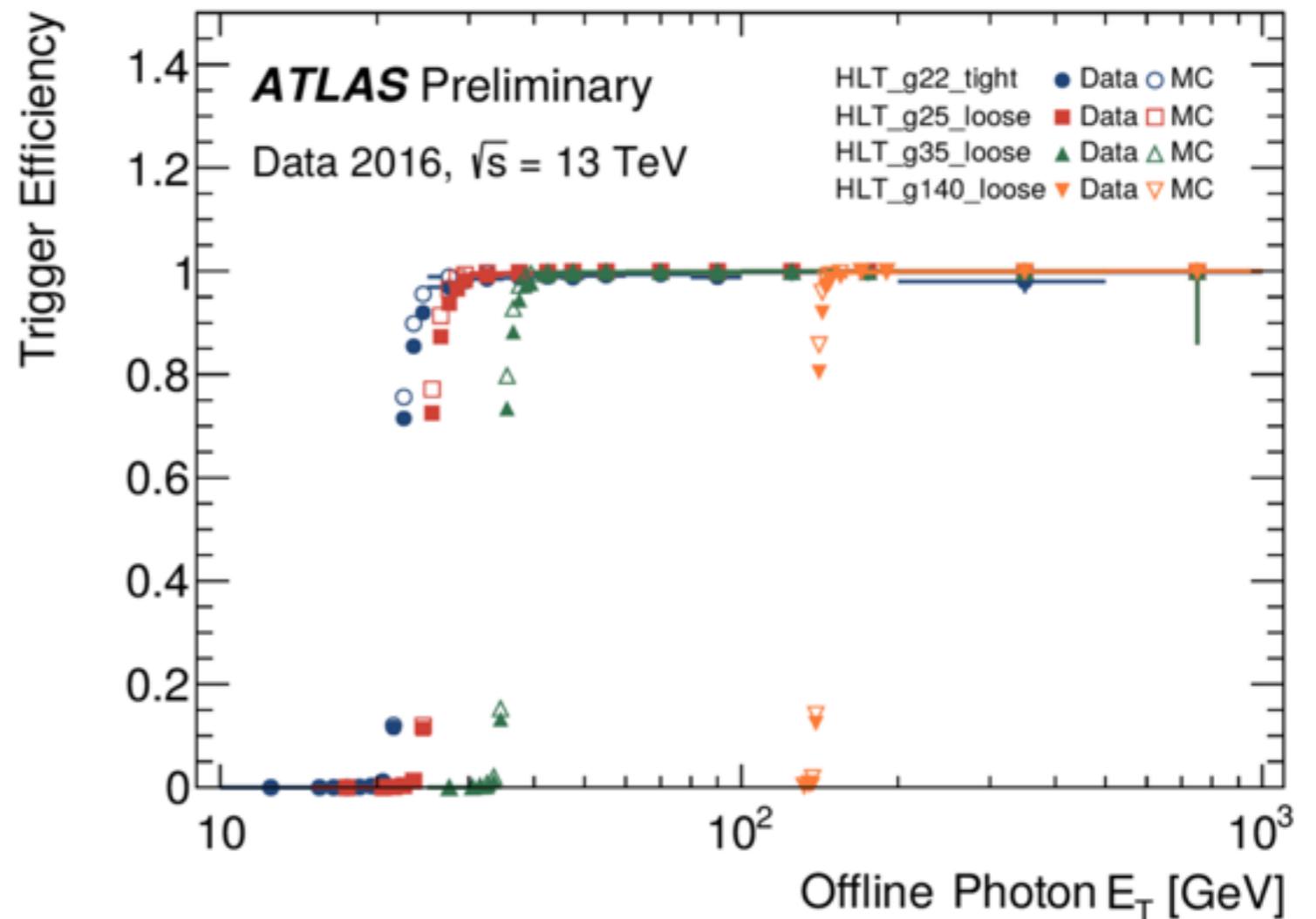
La capacidad de controlar el rate (y suprimir background) depende de la resolución de pT (o ET)

Idea básica: comparar dos casos, uno en que la selección del trigger haya sido aplicada y otro en que no

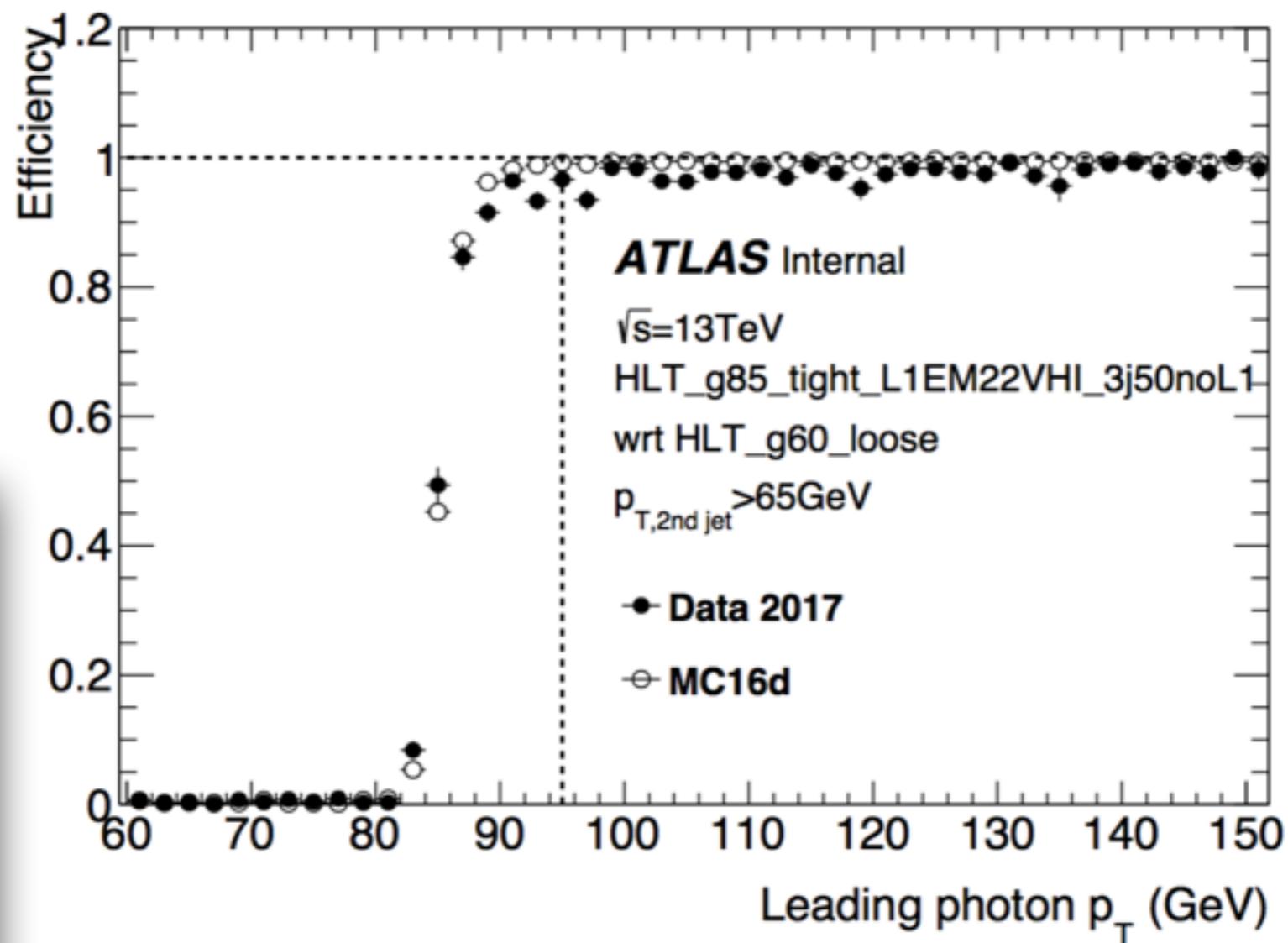
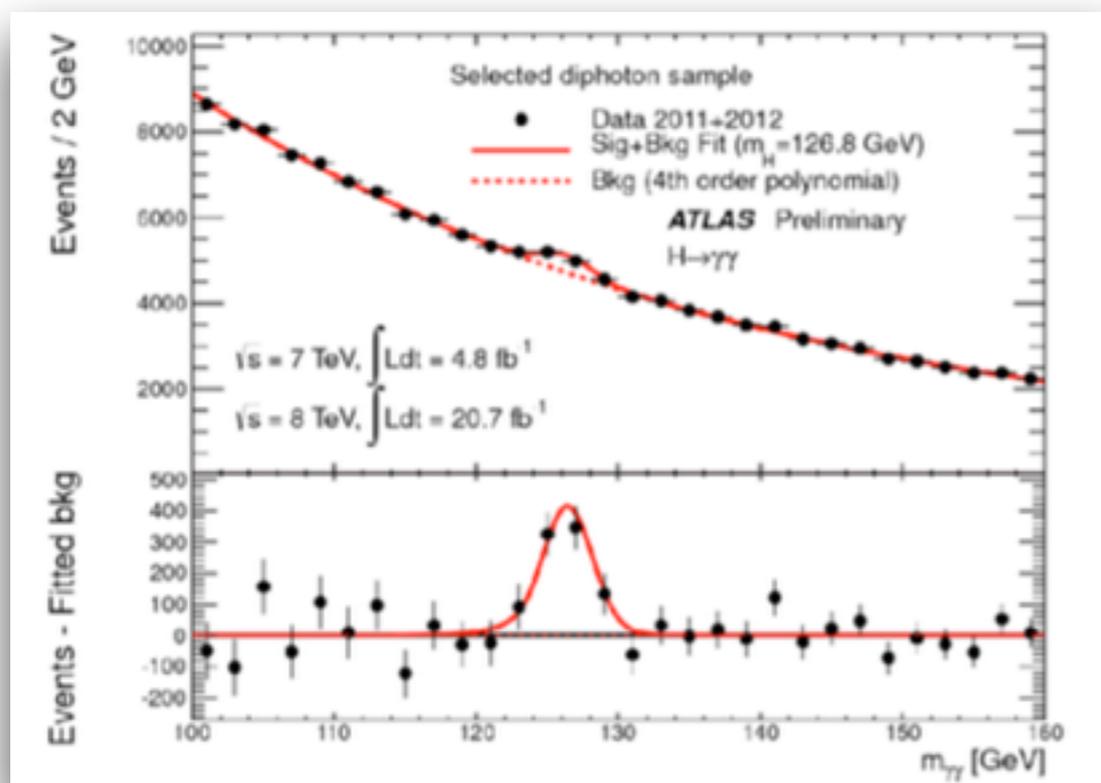
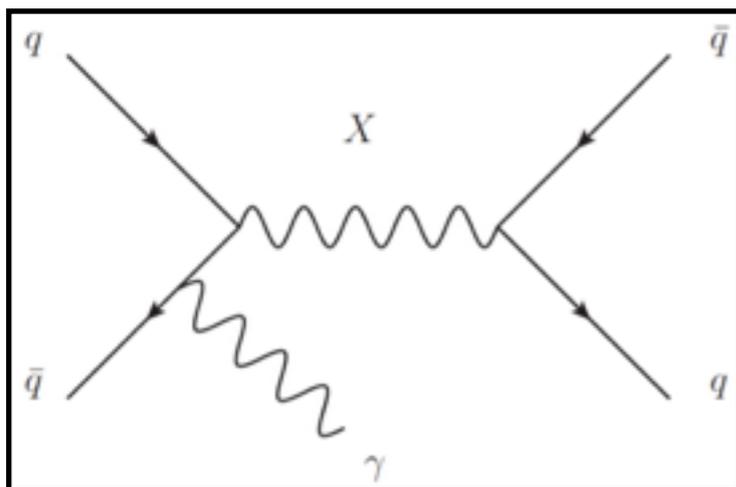
Realidad: se usan triggers pre-scaled

Se calcula el cociente:

$$\varepsilon = \frac{\#events(T, T_o)}{\#events(T_o)}$$



# Un caso de la vida real



# Conclusiones

- La frecuencia de las colisiones en ATLAS es de  $\sim 40$  MHz, resultando en un output rate de 1 GHz, pero el máximo aceptable es de  $\sim 200$  Hz
- ATLAS cuenta con un **complejo sistema de triggers** que toma decisiones sucesivas de forma rápida con un mayor grado de complejidad a cada paso
- El sistema de triggers permite guardar sólo **eventos de interés**
- La **latencia** y el **dead time** se reducen paralelizando los procesos y con la introducción de filtros y pipelines
- ATLAS cuenta con un sistema de **multi-level trigger**:
  - **Level 1**: electrónica personalizada, crea RoIs, 2.5 ns de latencia, reduce el rate a 100 kHz
  - **HLT**:
    - Level 2: sólo tiene acceso a la información de RoIs, algoritmos de mayor complejidad, 10 ms de latencia, reduce el rate a 1 kHz
    - Event Filter: accede a toda la información, 1 s de latencia, reduce el rate a  $\sim 200$  Hz
- Medición de eficiencias en análisis mediante la construcción de **turn on curves**

# Trigger Desk in ATLAS Control Room



# Trigger Desk in ATLAS Control Room

*¡Muchas gracias!*

