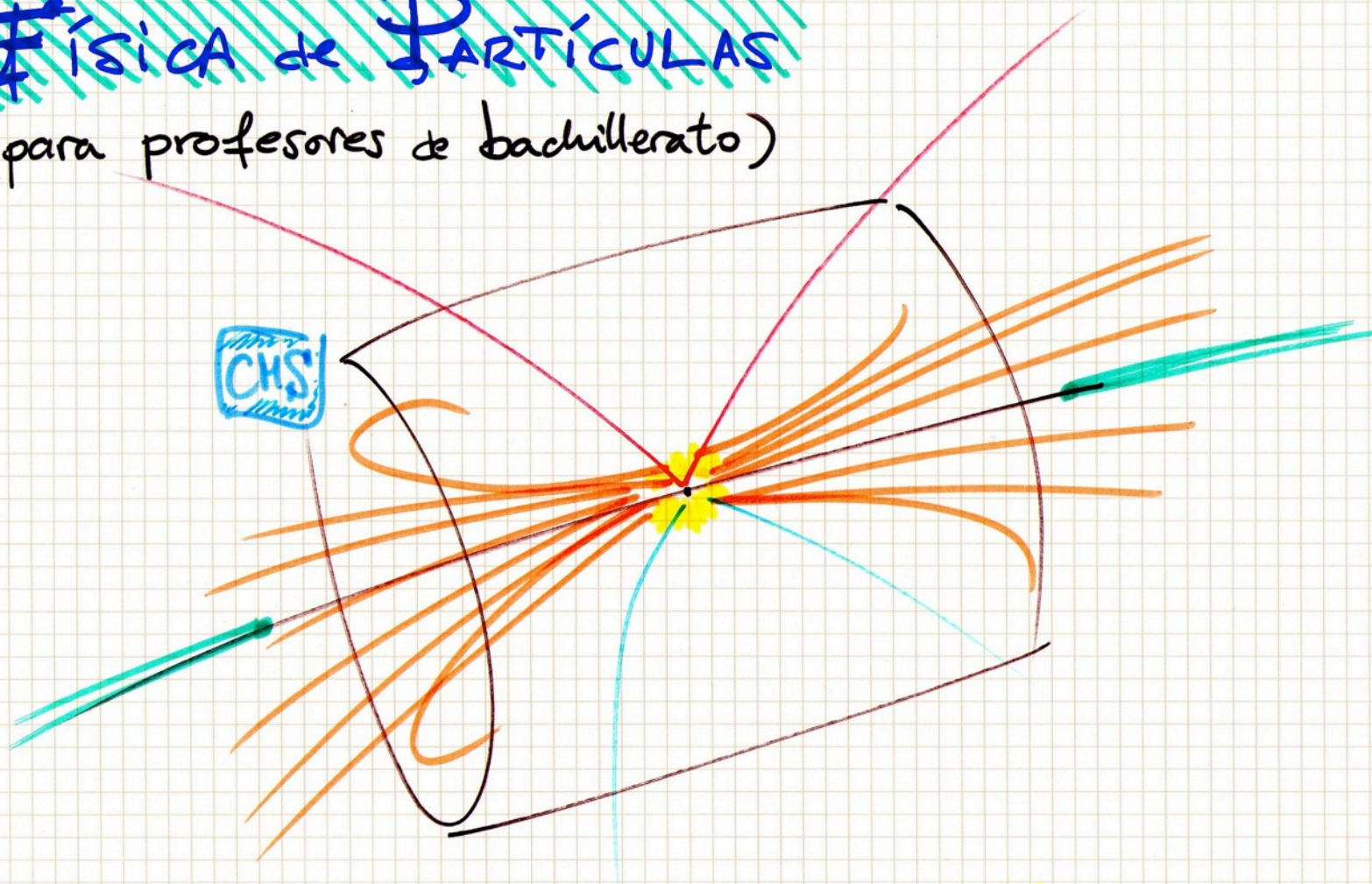


FÍSICA de PARTÍCULAS

(para profesores de bachillerato)



EL detector CMS

PABLO GARCÍA ABÍA
CIEMAT, Madrid

CERN, 25 de Junio de 2014

Requisitos de CMS

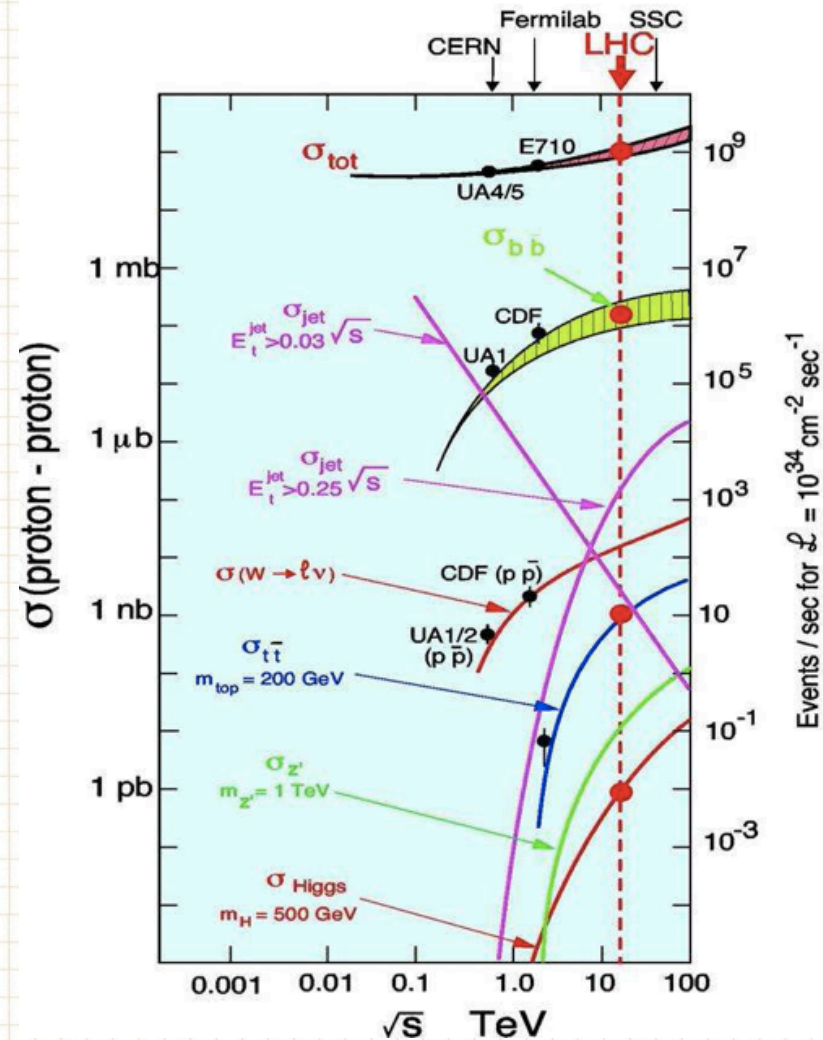
El principal objetivo de CMS es encontrar nuevas partículas:

- bosón de Higgs, partículas supersimétricas (materia oscura), gravitons, y ... ¡¡ lo inesperado !!
- **necesita filtrar 1 de cada 1,000,000,000,000 de sucesos: TRIGGER**

Es crucial hacer medidas de precisión para comprobar el modelo estándar: el quark top, los bosones W y Z, etc.

Requisitos de CMS:

- Hermético para medir con precisión la energía perdida, MET, y la energía de los jets.
- identificación de leptones de alto p_T y medir su momento con gran resolución.



Configuración de CMS: gran tracker de Silicio en un campo magnético uniforme, HCAL de 4π , ECAL muy segmentado y eficiente sistema de muones.

Compact Muon Solenoid

CMS es una cámara digital 3D enorme de 80 Mpixel con un volumen de 3700 m^3 y 12500 Ton de peso.

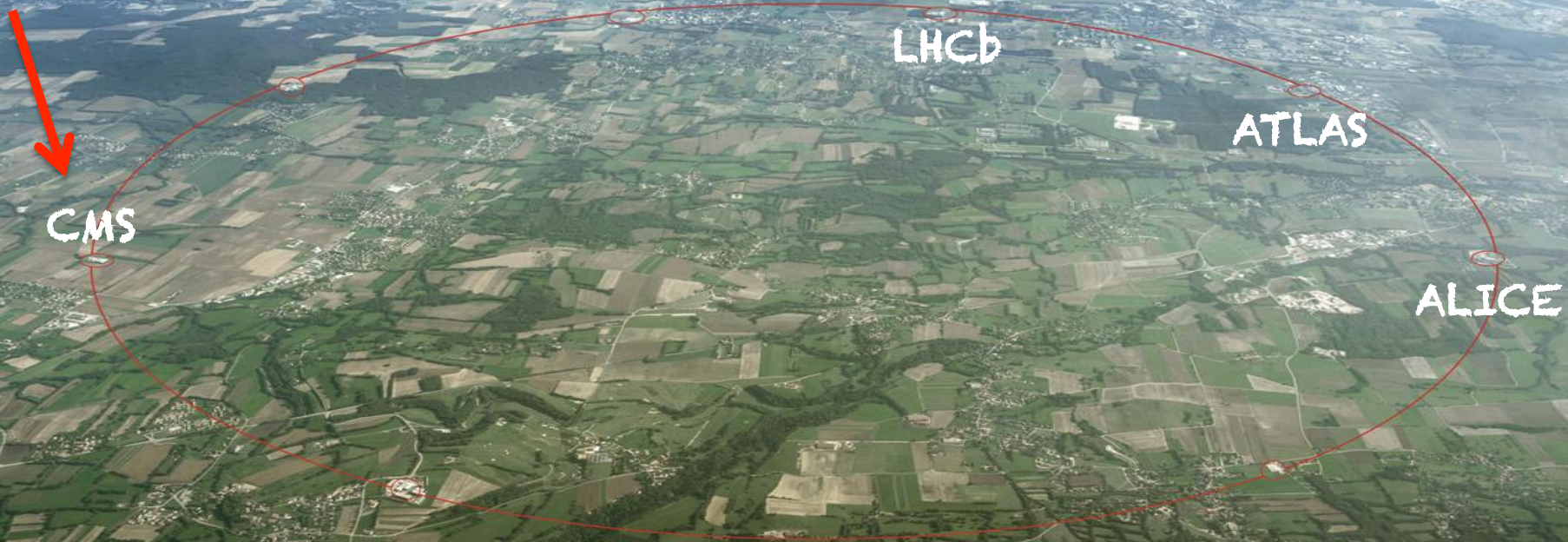
Sumergido en un B de 3.8 T, proporcionado por un imán superconductor, opera a 40 MHz.

Altísima precisión en las posiciones de los pixels/señales: de $20 \mu\text{m}$ a $200 \mu\text{m}$.

Está situado en el IPS de LHC.



Large Hadron Collider (LHC)



CMS está instalado en el punto de interacción 5 del acelerador LHC del CERN, a 100 m de profundidad.

CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE
12,500 tonnes

SILICON TRACKERS
Pixel (100x150 μm) $\sim 16\text{m}^2 \sim 66\text{M}$ channels
Microstrips (80x180 μm) $\sim 200\text{m}^2 \sim 9.6\text{M}$ channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID
Niobium titanium coil carrying $\sim 18,000\text{A}$

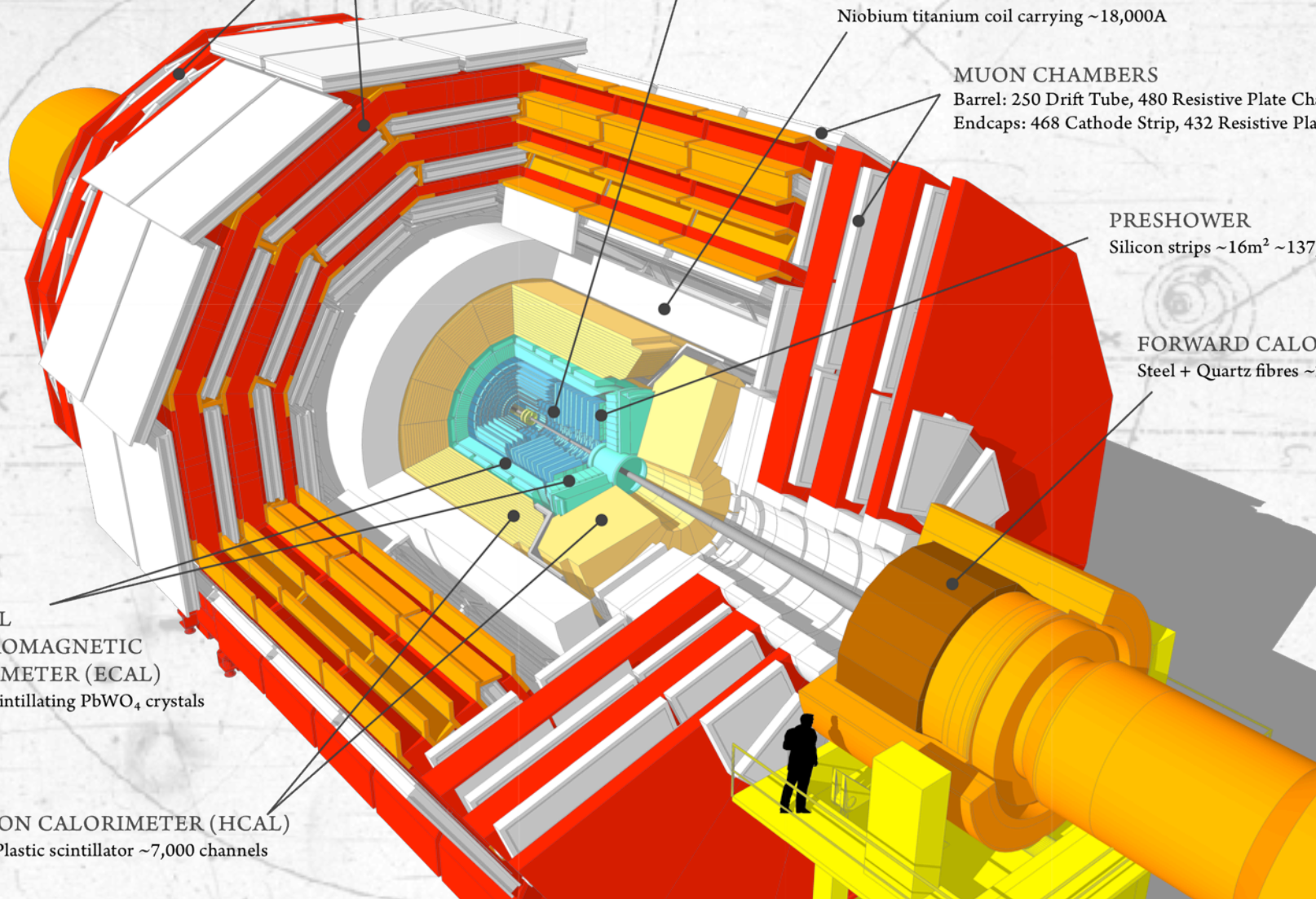
MUON CHAMBERS
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

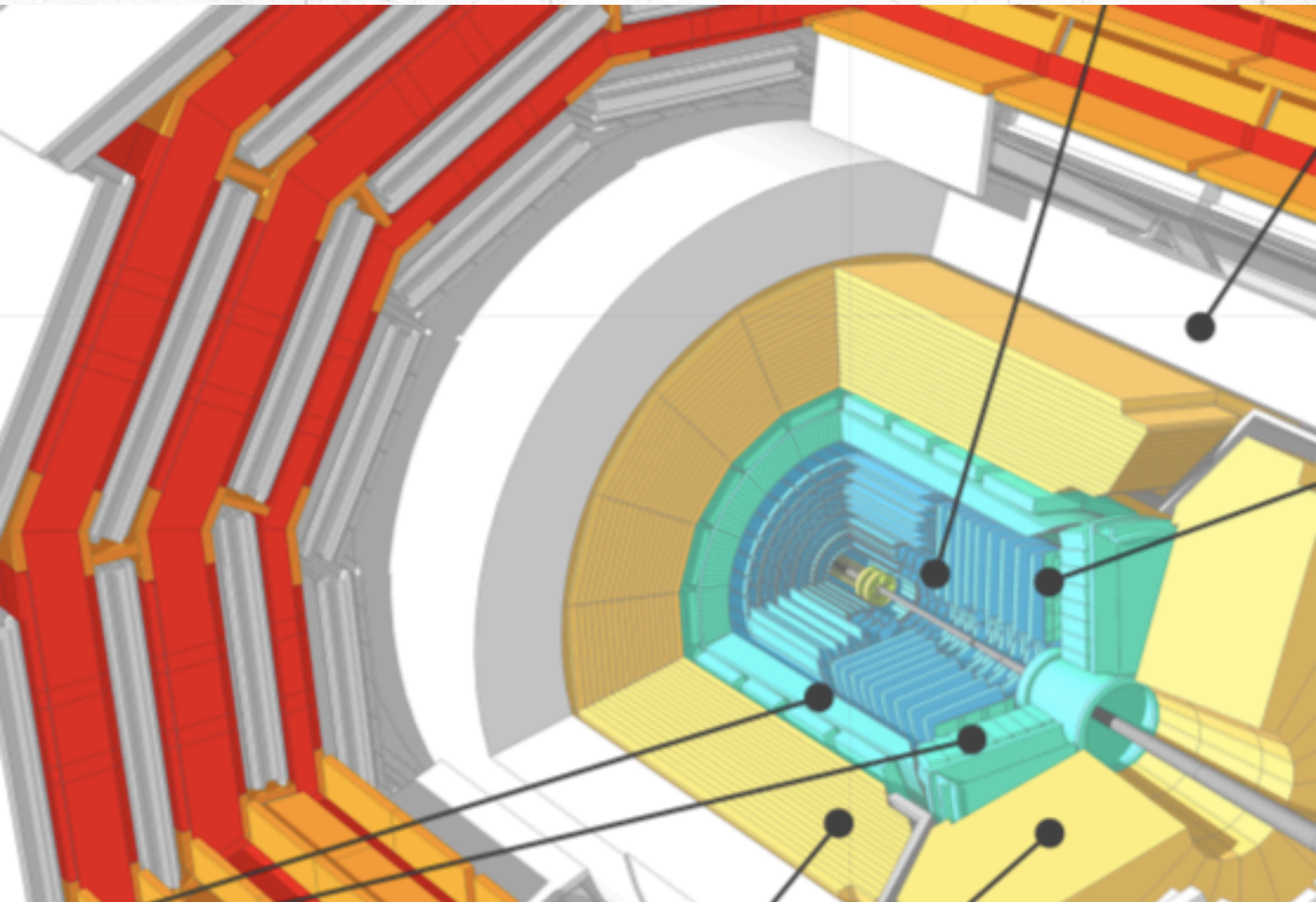
PRESHOWER
Silicon strips $\sim 16\text{m}^2 \sim 137,000$ channels

FORWARD CALORIMETER
Steel + Quartz fibres $\sim 2,000$ Channels

CRYSTAL
ELECTROMAGNETIC
CALORIMETER (ECAL)
 $\sim 76,000$ scintillating PbWO_4 crystals

HADRON CALORIMETER (HCAL)
Brass + Plastic scintillator $\sim 7,000$ channels

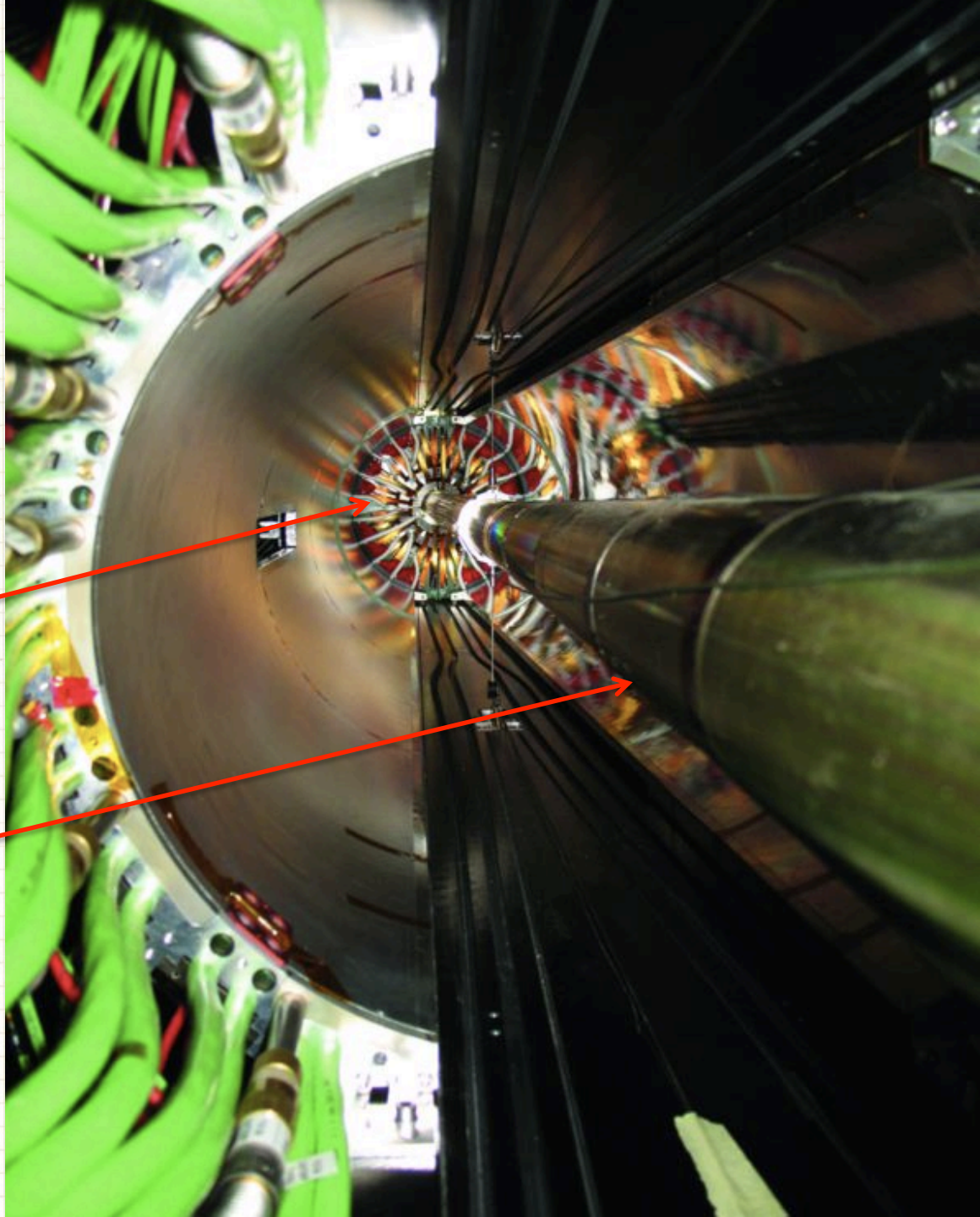




tubo del haz y detector de microvértice

detector de
microvértice

tubo del haz



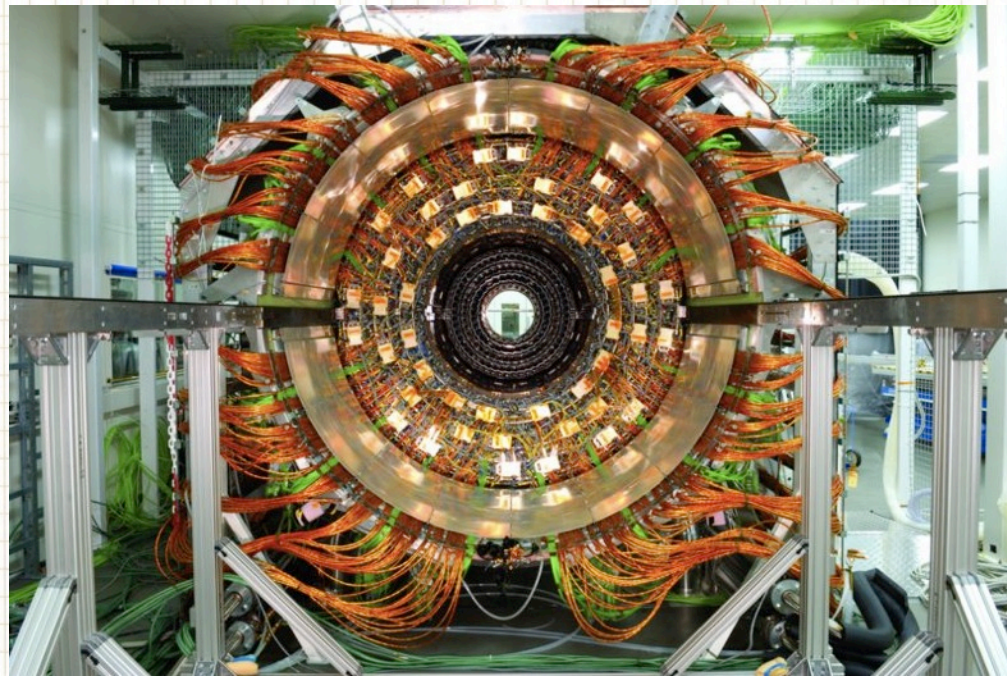
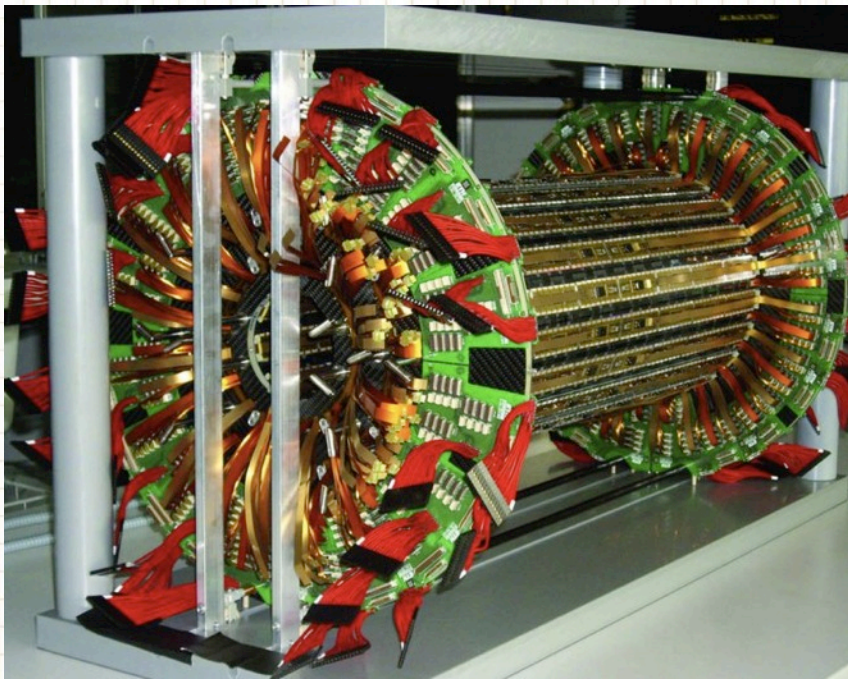
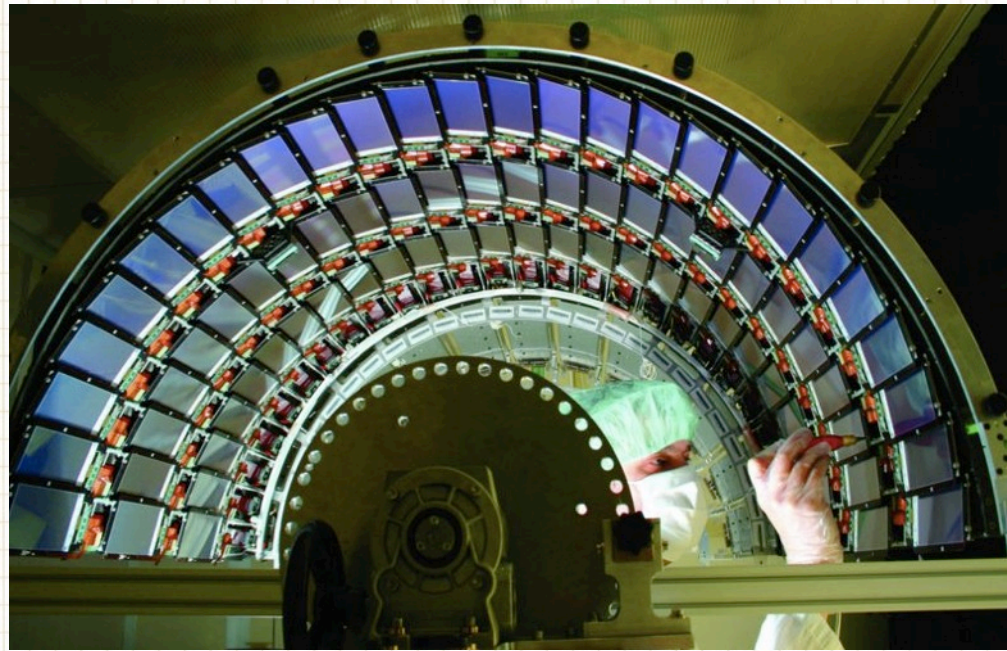
detector de trazas (Si)

volumen 23 m^3

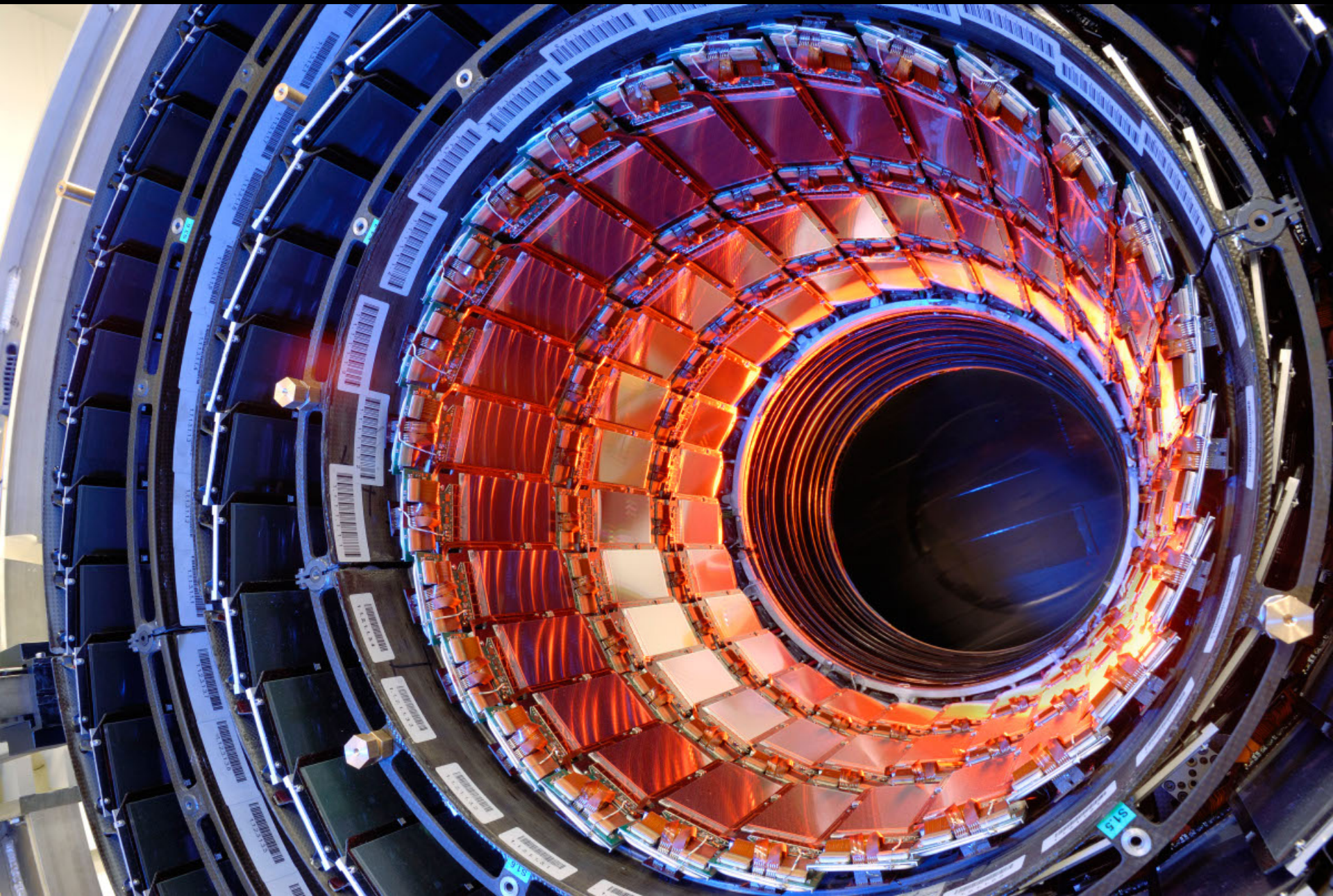
área activa 220 m^2

más de 60 millones de canales de lectura

opera a -15°C



cámara de trazas: detector de silicio



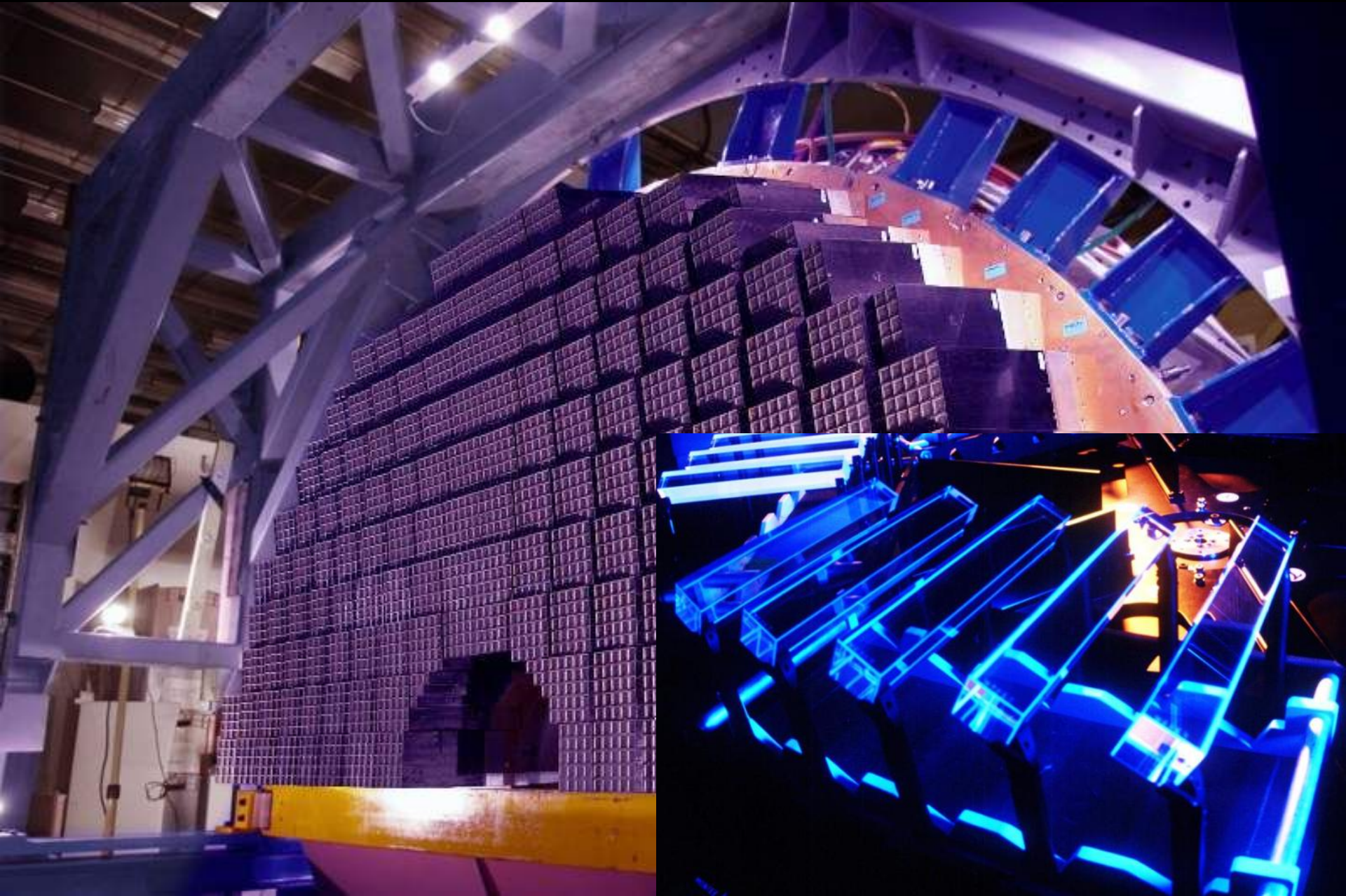
calorímetro electromagnético

calorímetro homogéneo:
80.000 cristales de
tungstano de plomo
(PbWO_4) crean cascadas y
producen luz de centelleo:

64.000 cristales en el
barril y 16.000 en los
endcaps, la luz es
detectada por fotodiodos.

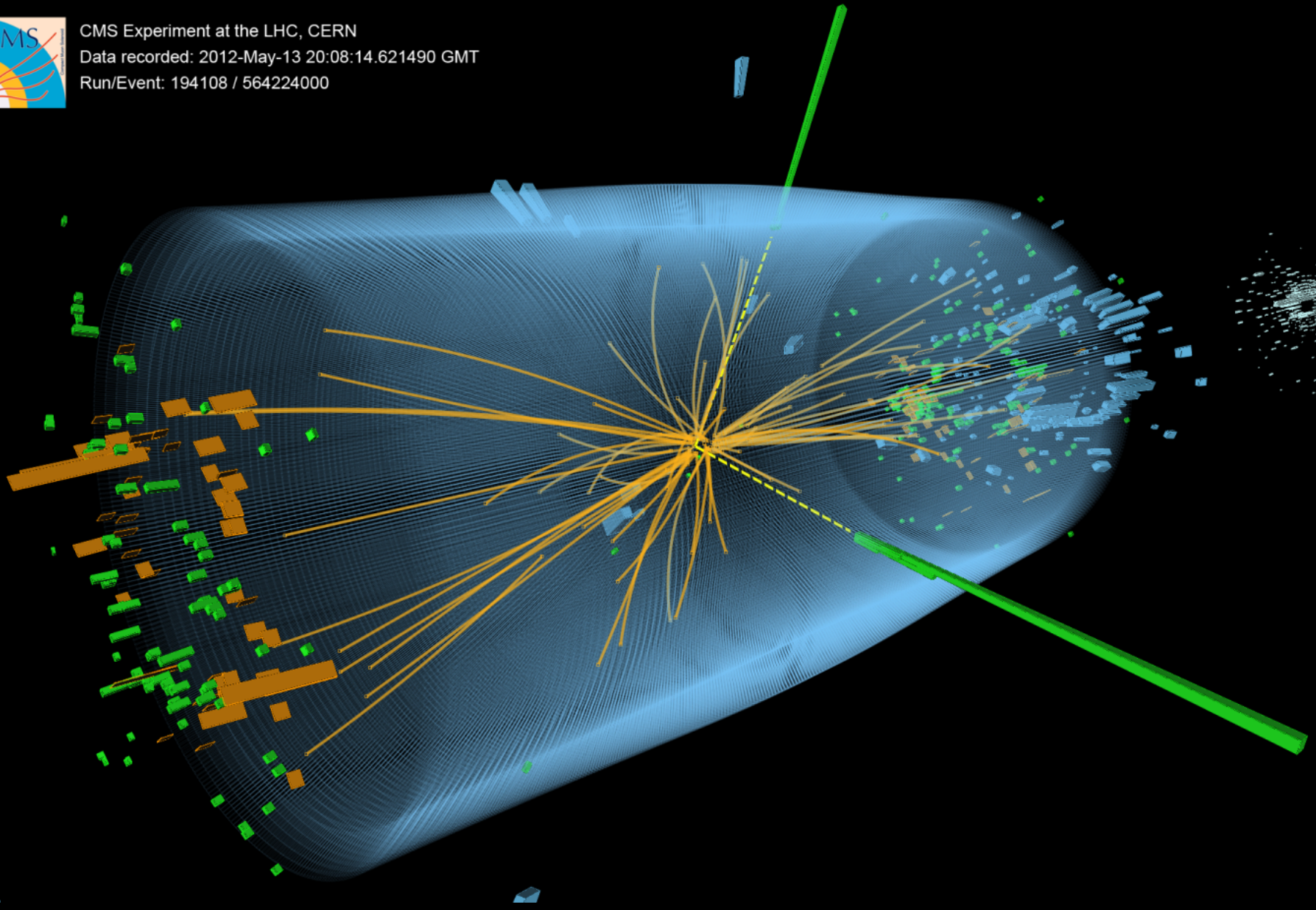


calorímetro electromagnético: cristales de plomo y tungsteno





CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT
Run/Event: 194108 / 564224000

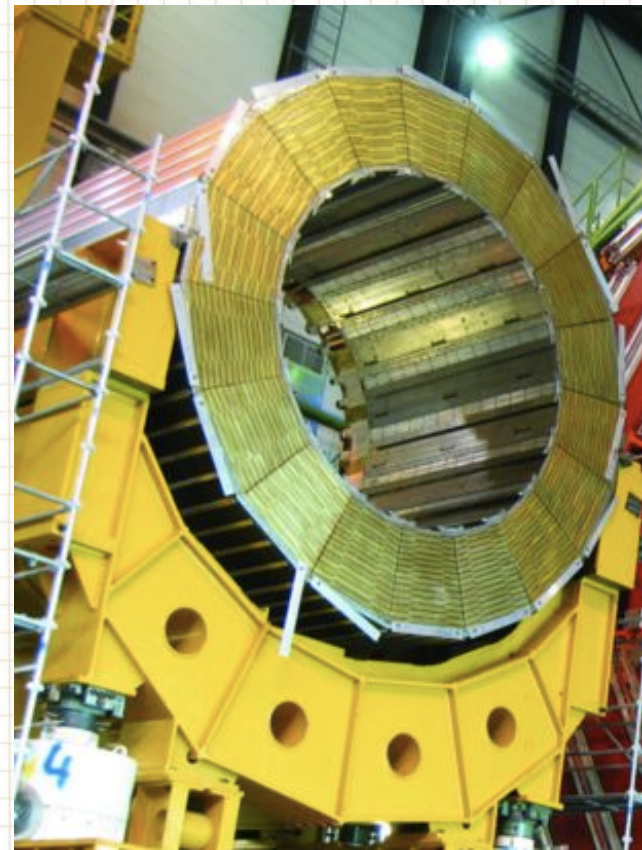


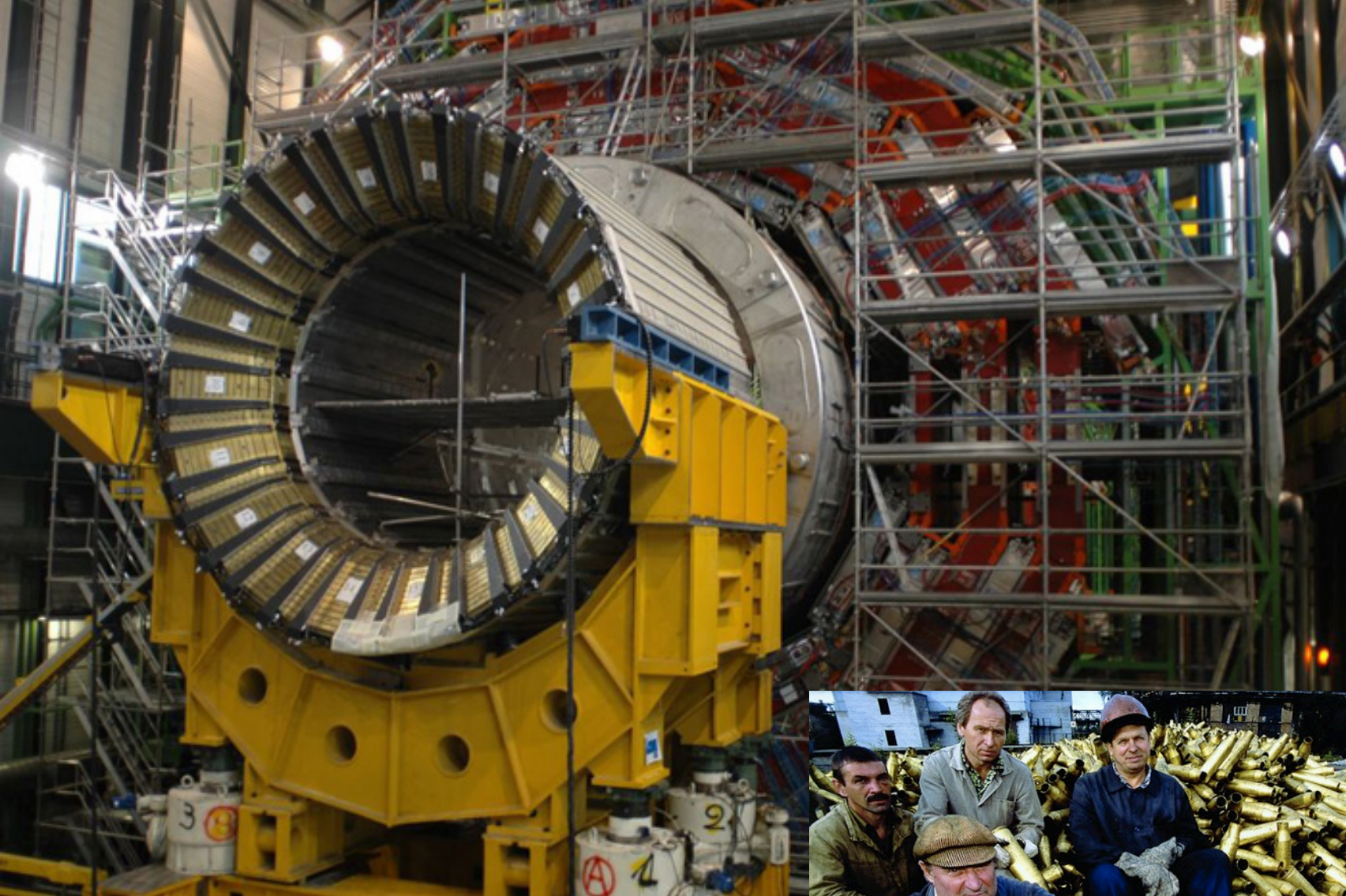
calorímetro hadrónico

Barril: 36 cuñas de latón, cada una de 35 Toneladas.

Endcap: latón recuperado de la industria militar rusa.

Forward HCAL: fibras de cuarzo embebidas en acero.





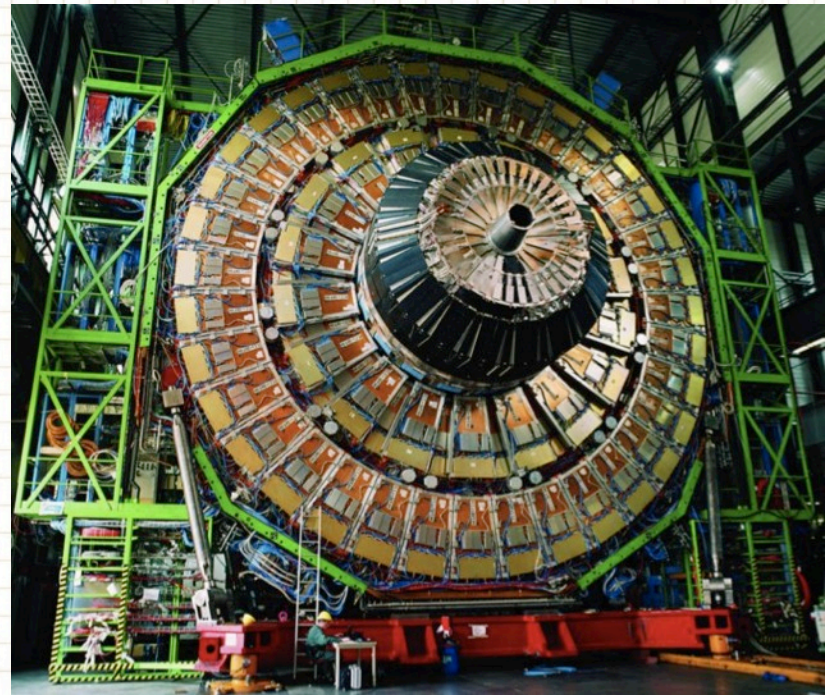
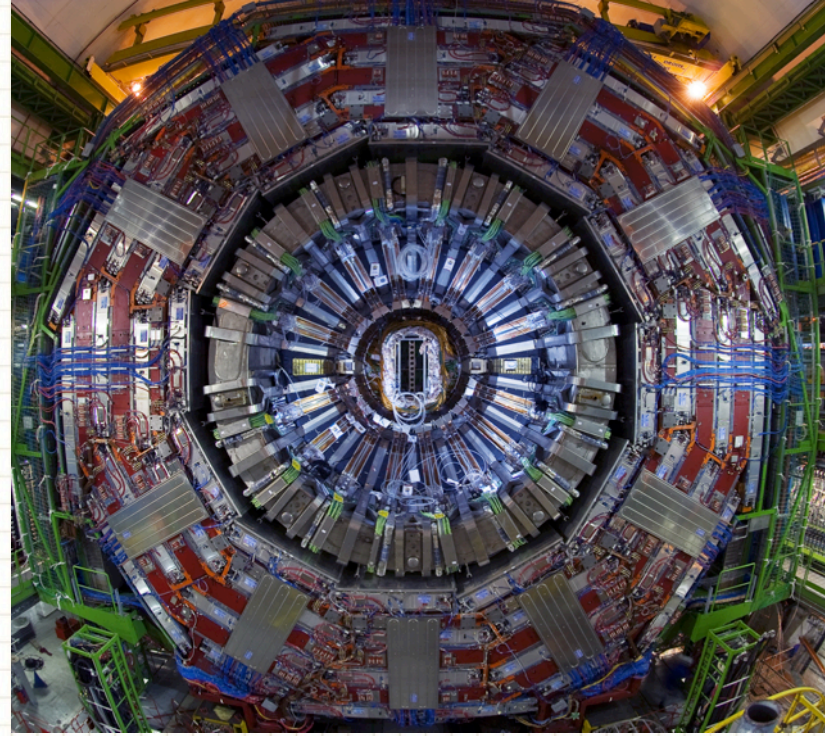
calorímetro hadrónico:
latón o acero y plástico
centelleador

detector de MUONES

La desintegración de partículas pesadas da lugar a muones de alta energía. Estos muones son fáciles de identificar y son utilizados por el trigger.

Detector con múltiples capas:

- **medida de la posición:** Tubos de Deriva (DT) en el barril y Cathode Strip Chambers (CSC) en los endcaps.
- **Trigger:** Resistive Plate Chambers (RPCs) en el barril y los endcaps.

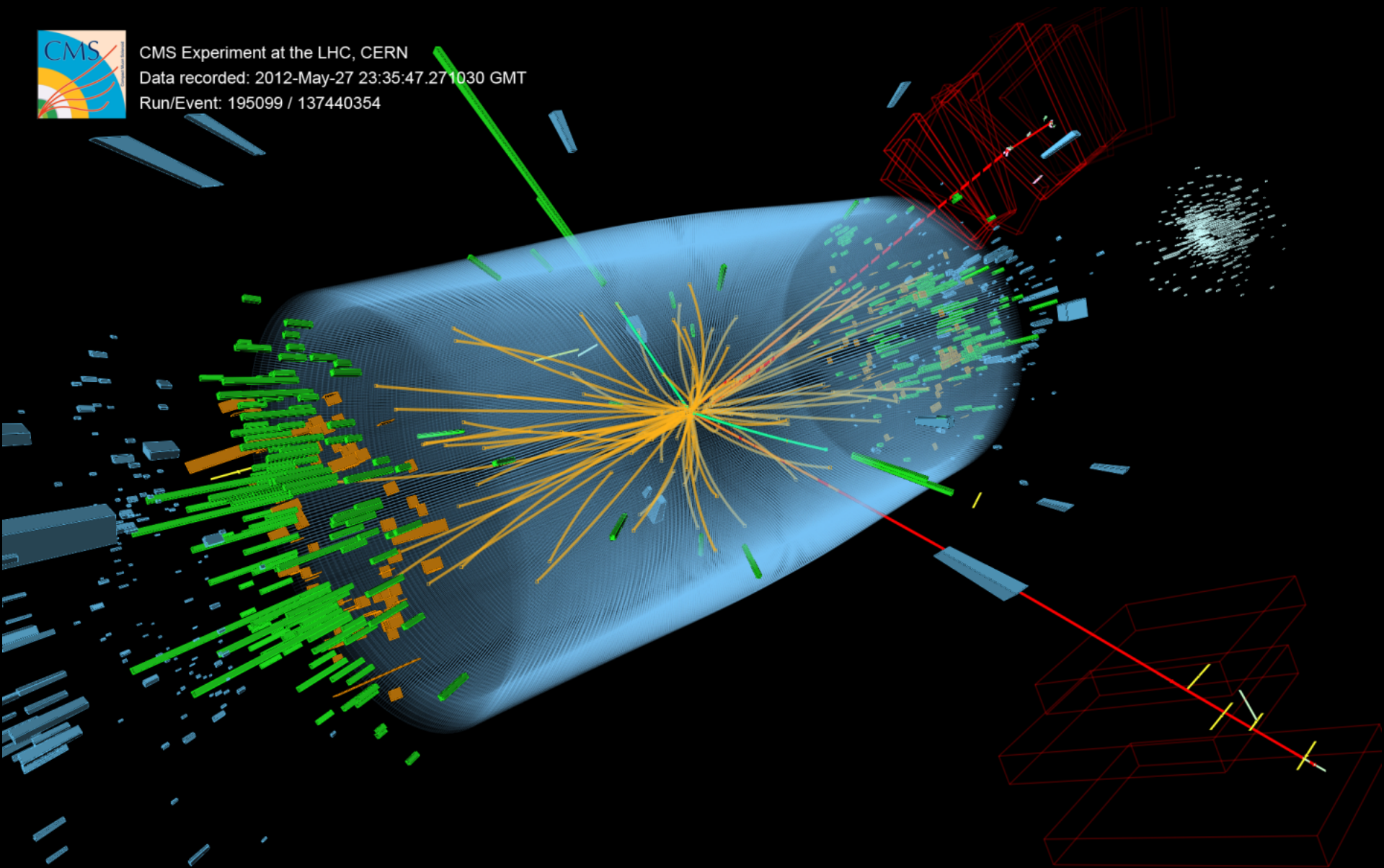


cámaras de muones: detector gaseoso de deriva





CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT
Run/Event: 195099 / 137440354

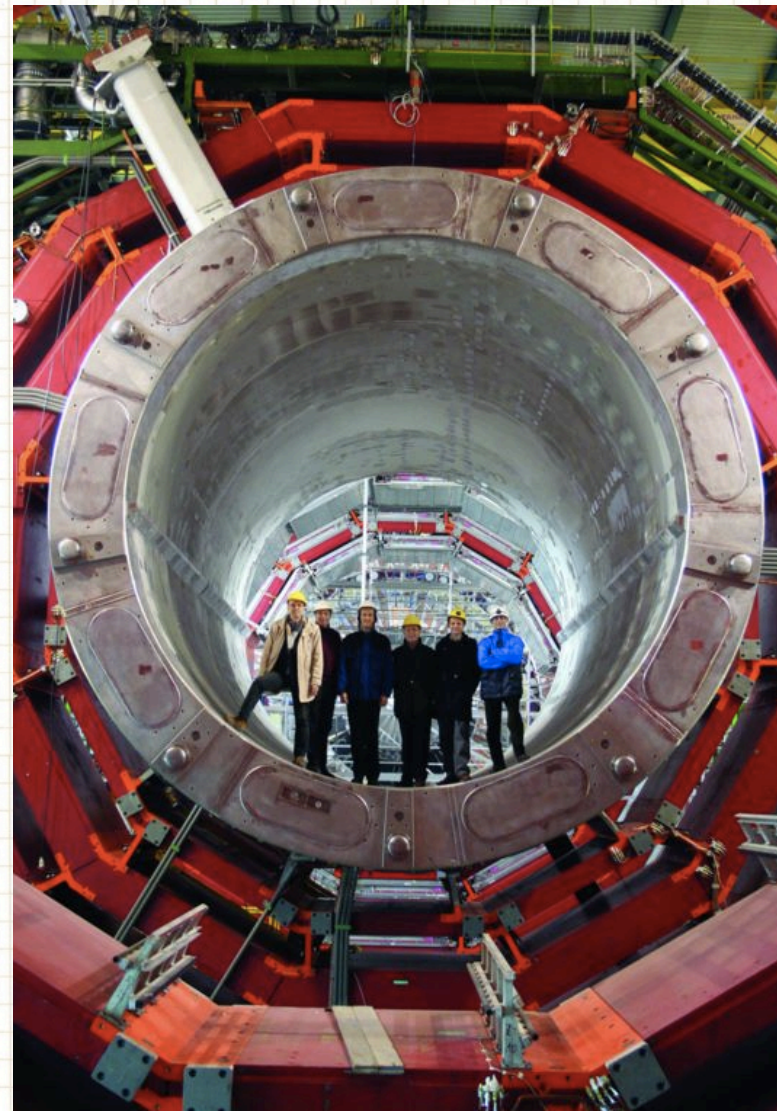
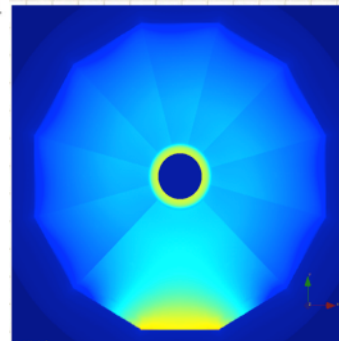
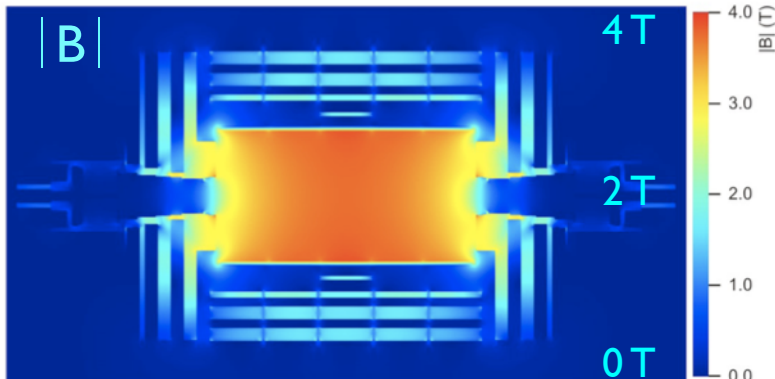
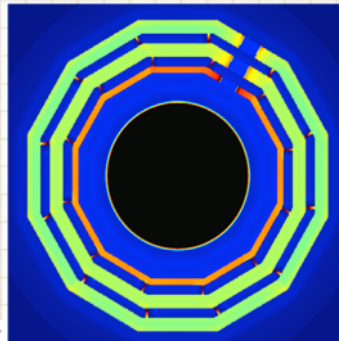


solenoide superconductor

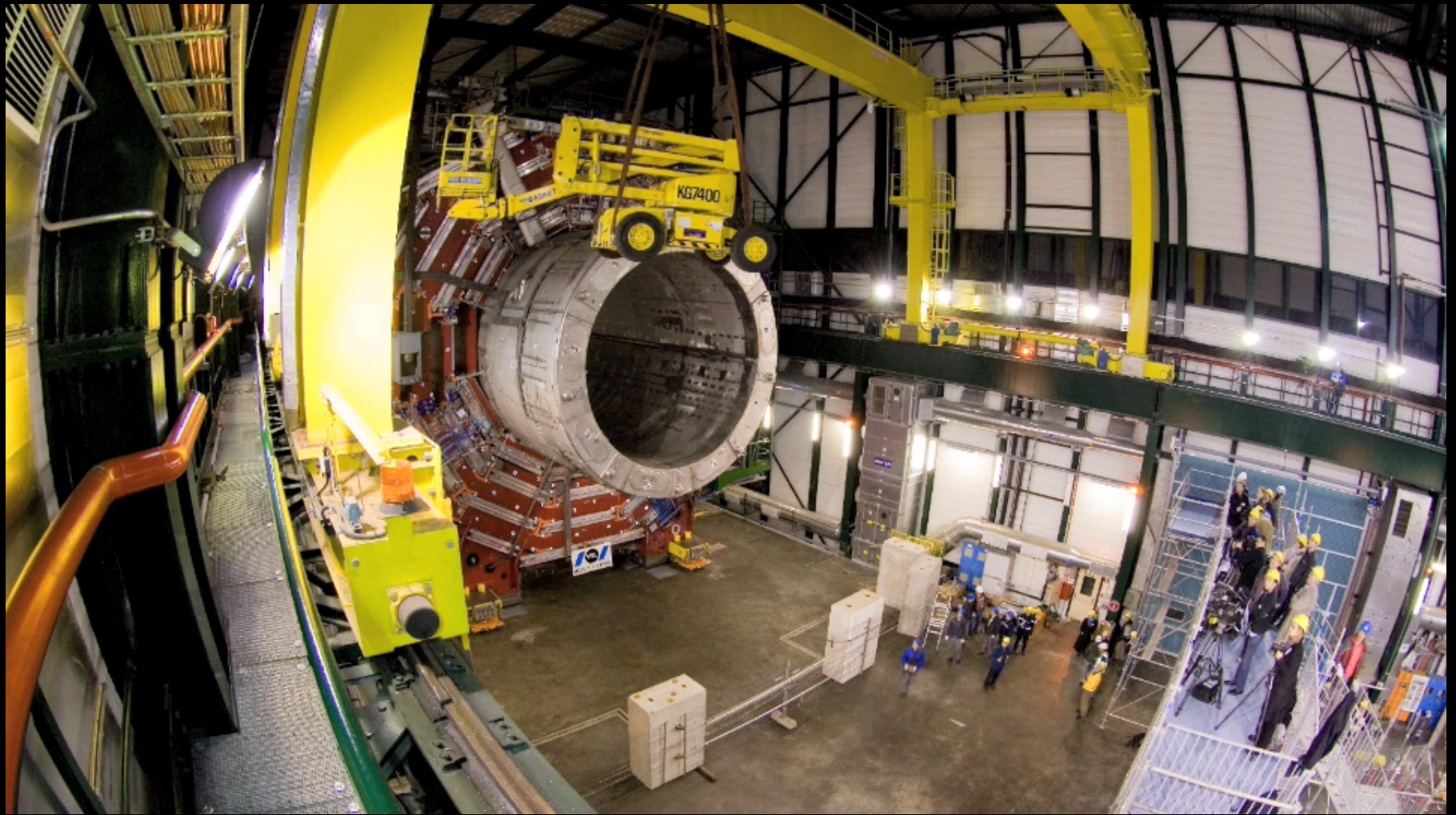
Imán de 5 módulos (longitud 2.5 m), cada uno es un cilindro de Aluminio con 4 capas de conductor, de 109 vueltas cada una. Refrigerado por Helio Líquido.

- Intensidad de la corriente = 19500 A.
- Campo magnético = 3.8 T.
- Energía almacenada = 2.3 GJ \approx 0.5 Ton de TNT.

precisión del modelo de $B < 0.1\%$ en la región del tracker, 10% en el hierro, confirmada por el análisis de muones cósmicos.

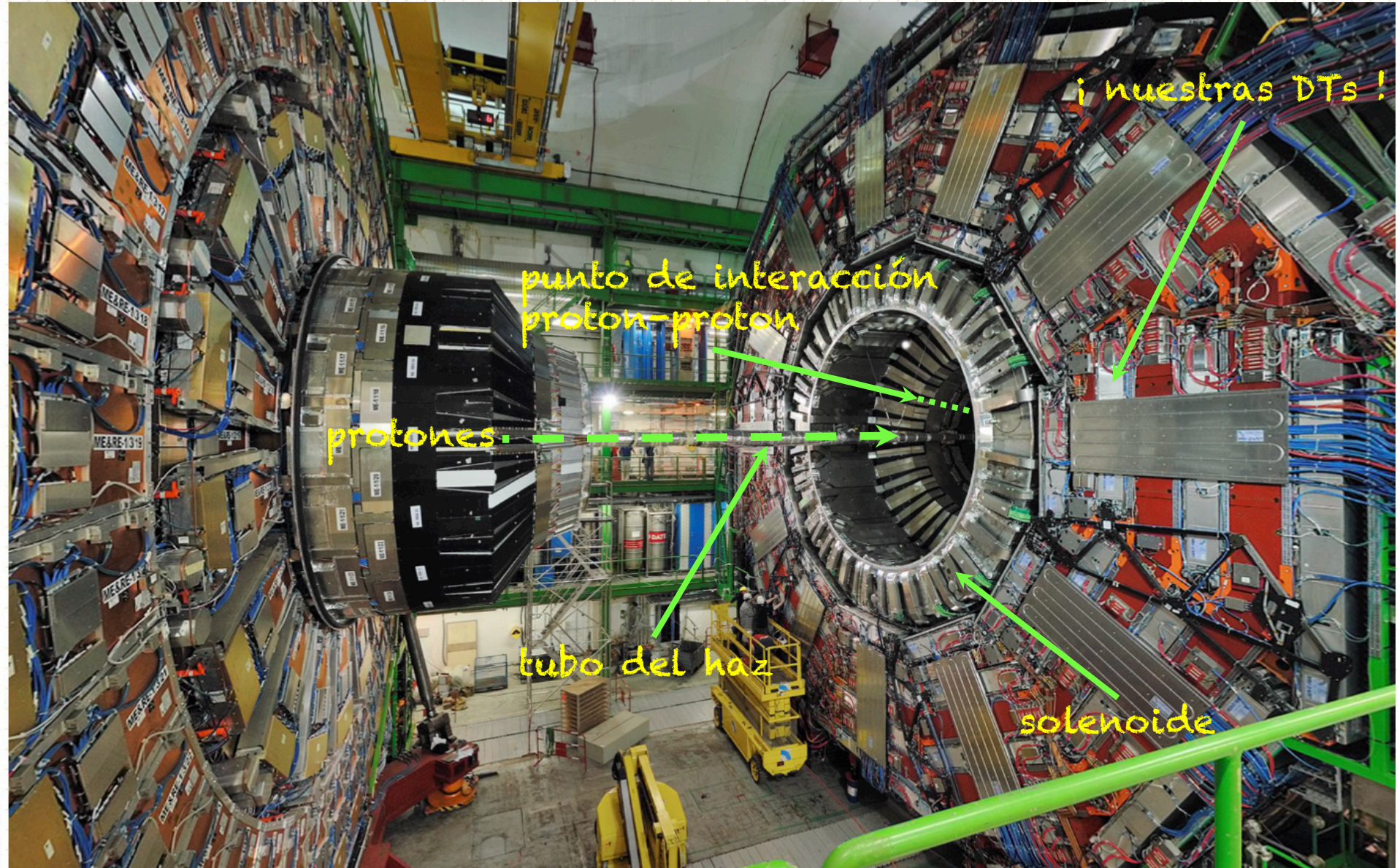


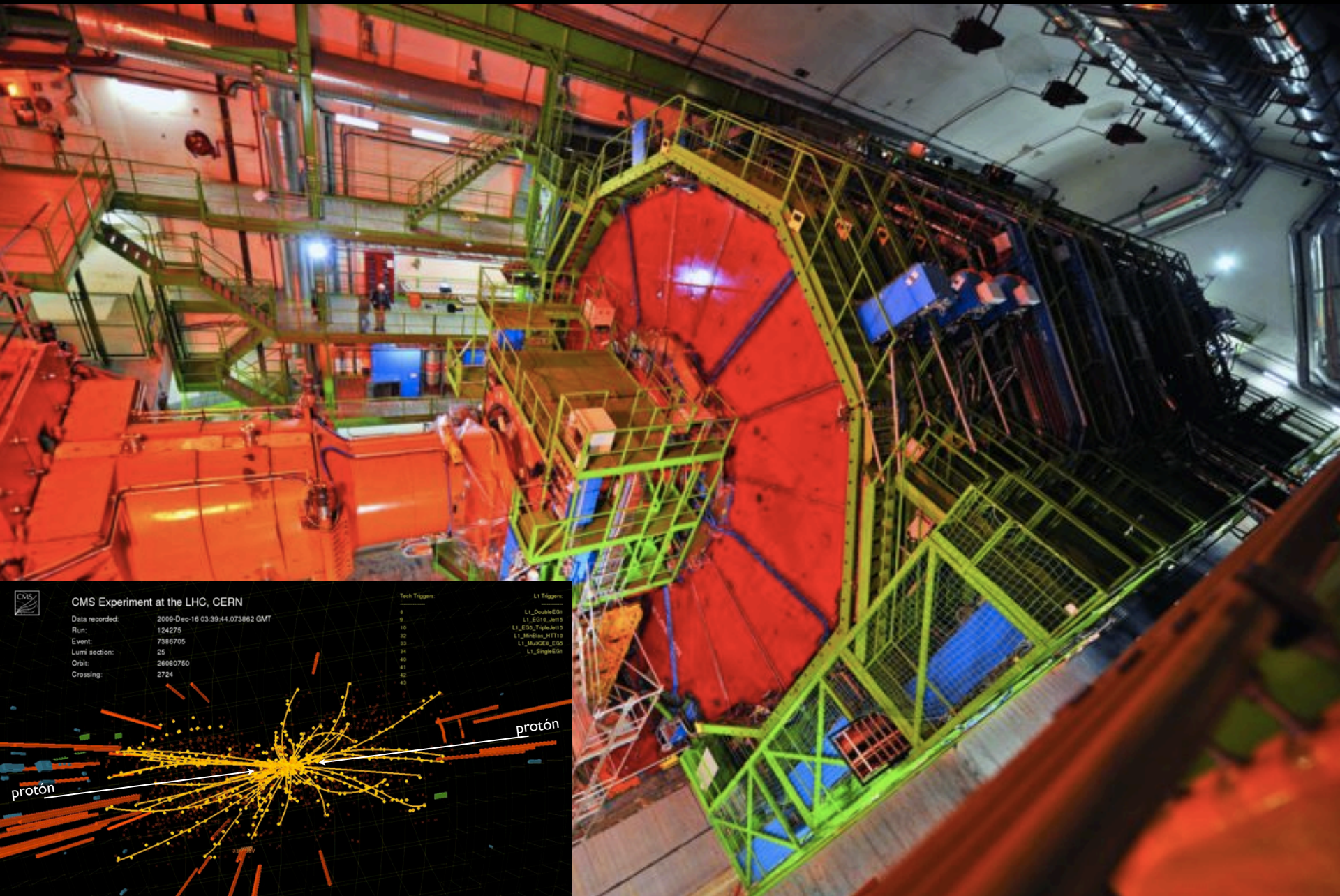
bajando la rueda central de CMS



esta parte de CMS pesa 2500 T

CMS en La caverna





CMS Experiment at the LHC, CERN

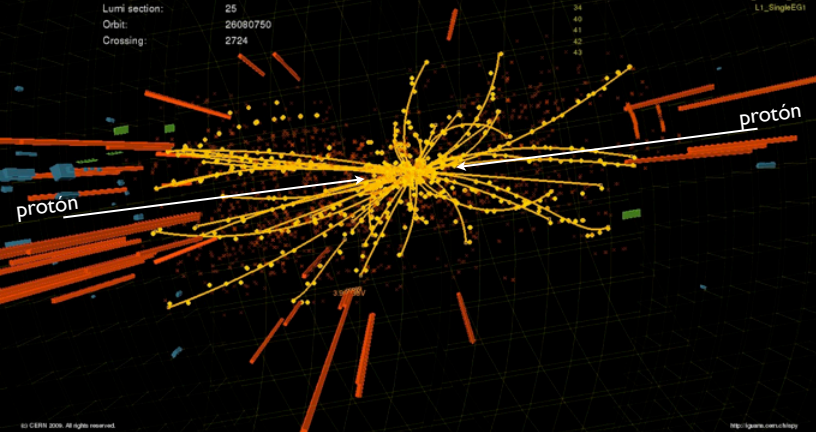
Data recorded: 2009-Dec-16 03:39:44.073862 GMT
Run: 194275
Event: 7380705
Lumi section: 25
Orbit: 26080750
Crossing: 2724

Tech Triggers

- 0
- 10
- 20
- 30
- 34
- 40
- 41
- 42
- 43

L1 Triggers

- L1_DoubleEG1
- L1_E1E5_Double
- L1_E5E7_Triples
- L1_MuonEG_HT10
- L1_MuonEG_E55
- L1_SingleEG1



interacciones entre partículas elementales registradas en CMS



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2010-Mar-30 11:04:14.111090 GMT(13:04:14 CEST)
Run: 132440
Event: 3087931
Lumi section: 138
Orbit: 35985009
Crossing: 1

Tech Triggers:

- 0
- 8
- 9
- 10
- 32
- 33
- 34
- 35
- 40
- 41
- 42
- 43

L1 Triggers:

- L1_BptcMinus
- L1_BptcPlus
- L1_BptcPlusORMinus
- L1_Bsc2Minus_BptcMinus
- L1_Bsc2Plus_BptcPlus
- L1_BscHighMultiplicity
- L1_BscMinBiasInnerThreshold1
- L1_BscMinBiasInnerThreshold2
- L1_BscMinBiasOR
- L1_BscMinBiasOR_BptcPlusORMinus
- L1_MinBias_HTT10
- L1_SingleEG1
- L1_SingleEG2
- L1_SingleForJet2
- L1_SingleForJet4
- L1_SingleJet6
- L1_ZeroBias_Ext

protón

protón

HLT Triggers:

- HLT_Activity_PixelClusters
- HLT_L1Jet6J
- HLT_L1SingleForJet
- HLT_L1SingleForJet_NoBPTX
- HLT_L1SingleEG2
- HLT_MinBiasBSC
- HLT_MinBiasBSC_NoBPTX
- HLT_MinBiasBSC_OR
- HLT_MinBiasEcal
- HLT_ZeroBiasPixel_SingleTrack
- HLT_MinBiasPixel_SingleTrack
- HLT_MinBiasPixel_DoubleTrack
- HLT_MinBiasPixel_DoubleIsoTrack5
- HLT_HighMultiplicityBSC
- HLT_SplashBSC
- HLT_L1_BscMinBiasOR_BptcPlusORMinus
- HLT_L1_BscMinBiasOR_BptcPlusORMinus_NoBPTX
- AiCa_EcalPhiSym
- HLT_L1_HFtech
- HLT_L1Tech_HCAL_HF_coincidence_PM

Drawing cuts & scales

Name	Min (mg scale)	Max (mg scale)
EERecHb_V2	0.250	1.000
EERecHb_V2	0.000	1.000
ESRecHb_V2	0.001	100.000
HRRecHb_V2	0.750	0.005
HERecHb_V2	0.750	0.005
HFRecHb_V2	3.000	0.005
HRRecHb_V2	3.000	0.005

millones de colisiones como esta registradas por segundo

una pequeña parte de la
colaboración CMS





Juan José Rodríguez Romero



José Javier Navarrete Bero



José José Martínez Morales



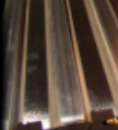
Gaspar López Rodríguez



José María Puerta Peláez



Juan Álvarez Masera



Jorge Muñoz



José María Hernández Carasa



M. Isabel Josa Matute



José Javier Navarrete Bero



José Fito Muñoz



Concepción Bernal Pérez



José Miguel Anjales Muñoz



María Berghel Soane



Daniel González López



José Luis Romero Pineda



Juan Pablo Fernández Román



Celsino Yuste de Santos



Gaspar López Rodríguez



José Manuel Alarcón Vega



Pedro Latorre de Gomara



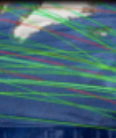
José Luis Romero Pineda



Juan Pablo Fernández Román



Manuel David Leal



Javier Alami Pravia



David Domínguez Vázquez



Gonzalo Martín Arvizu



José Manuel Alarcón Vega



María del Cruz Pozo Iglesias



José Luis Romero Pineda



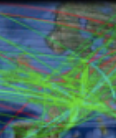
José Calvo de la Hoz



Miguel Cárdenas Romo



Francisco García Alonso



David Domínguez Vázquez



Carlos Blanco Ranea



Javier Alami Pravia



Carlos Vilanova Muñoz



María del Cruz Pozo Iglesias



José Luis Romero Pineda



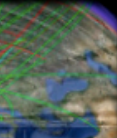
José Calvo de la Hoz



Miguel Cárdenas Romo



Francisco García Alonso



David Domínguez Vázquez



Carlos Blanco Ranea



Javier Alami Pravia



Carlos Vilanova Muñoz



María del Cruz Pozo Iglesias



José Luis Romero Pineda



José Calvo de la Hoz



Miguel Cárdenas Romo



Francisco García Alonso

Ciemat

Compact Muon Solenoid



Eusebio Sánchez Alonso



Sergio Cascales Casado



Eduardo Navarro De Barrios



Manuel Aguilar Bortolá de Lago



Eusebio Sánchez Alonso



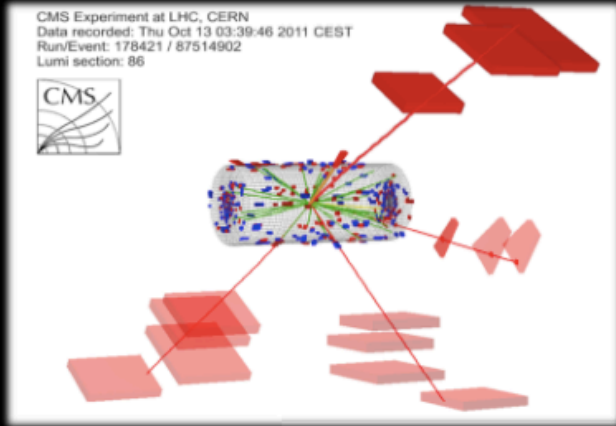
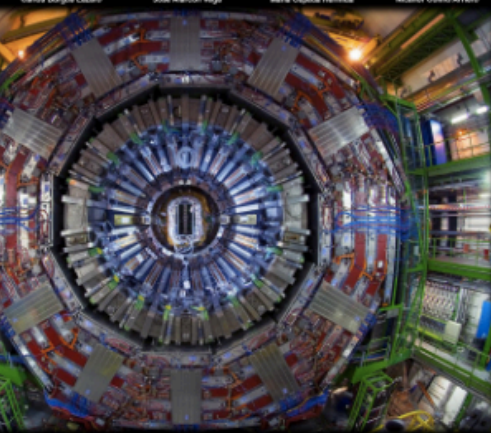
Sergio Cascales Casado



Eduardo Navarro De Barrios



Manuel Aguilar Bortolá de Lago



CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Thu Oct 13 03:39:46 2011 CEST
Run/Event: 178421 / 87514902
Lumi section: 86



José Javier Chércoles Catalán



Manuel Comal Dome



Enrique Calvo Alarcón



María Chantón Lóiz



José Miguel Barcala Rivera



Juan Carlos Oñor González



Juan Carlos Puras Sánchez



Pablo García Abán



Jesús Saldao Diaz



Javier Benavente Cordeiro



Juan José Rodríguez Viqueiro



Carlo Battarè



Javier Benavente Cordeiro



Juan José Rodríguez Viqueiro



Cristina Fernández Berbes



María Aldega Martín



Javier Benavente Cordeiro



Juan José Rodríguez Viqueiro



Héctor Comal Canales



Carlos Willmet Zappacosta



Álvaro Navarro Tobar



Héctor Comal Canales



Carlos Willmet Zappacosta



Camero Diaz Paricio



Antonio Luis Portillo Poma




Antonio Luis Portillo Poma



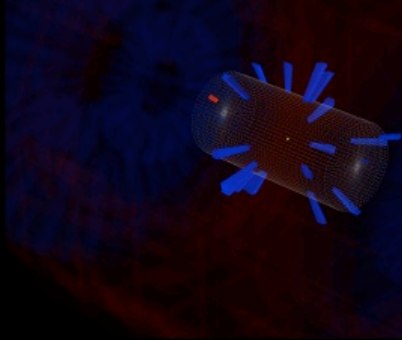
Equipo de la Unidad de Fabricación y Aprobación

Operación

todos los sub-detectores activos, operando a más del 95% de rendimiento.


26/09/11 PROTON PHYSICS DAQ state Run Number Lv1 rate Ev. <Size> kB DeadTime(AB) Acc. Hz (%) HLT <CPU>
Mon 12:32:14 SQUEEZE Configured 177177 0.000 kHz 0.0 [0.0] 100.000 %

CMS Experiment at LHC, CERN
 Data recorded: Mon Sep 26 12:32:27 2011 CEST
 Run/EVM: 177176 / 926797
 Lumin section: 72
 OnLineGroup: 9616667 / 2016



Data to Surface				SM streams				
Sub-System	State	FRL	FED	IN	Stream	No.Events	Rate (Hz)	BnW (MB/s)
TRG	Configured	3	3	3	ALCAPHISYM	293.625E+3	0.00	0.00
CSC	Configured	9	9	9	A	188.346E+3	0.00	0.00
DAQ	Configured	0	0	0	Calibration	48.936E+3	0.00	0.00
DQM	Configured	0	0	0	EcalCalibrati	48.936E+3	0.00	0.00
DT	Configured	6	6	6	NanoDST	48.521E+3	0.00	0.00
ECAL	Configured	54	54	54	ExpressCos	3.623E+3	0.00	0.00
ES	Configured	39	39	39	HLTMON	1.527E+3	0.00	0.00
HCAL	Configured	26	26	26	FaultyEvents	0.000E+0	0.00	0.00
HFLUMI	Configured	6	6	6	ALCAPO	0.000E+0	0.00	0.00
PIXEL	Configured	40	40	40	RPCMON	0.000E+0	0.00	0.00
RPC	Configured	3	3	3	TrackerCalib	0.000E+0	0.00	0.00
SCAL	Configured	1	1	1	Error	0.000E+0	0.00	0.00
TRACKER	Configured	250	438	437				
CASTOR	Configured	3	3	3				

Data Flow

/cdaq/physics/Run2011/3e33/v4.0/HLT/V2

LHC RAMPING OFF
 PreShower HV ON
 Tracker HV OFF
 Pixel HV OFF
 Physics NOT declared

#Lv1(EVM) **828840**
 Lv1 Rate **0 kHz**

Pending Lv1 **0**
 #Frag. in RU **0**
 Max **0** Min **0**

#Running FUs **0**
 0.00%

BnW (MB/s) **0**
 EvSize (kB) **0**

Events in BU **0**
 <Ev.> **0**

Pending Req. **0**
 <#P> **0**

RcvEv.-Disc. **0**
 <Time/Ev.> **0**

#Running FUs **0**
 0.00%

<FU-CPU> **0.408 %**
 <SM-CPU> **2.7 %**

BnW MB/s < **0**
 EventRate Hz **0**

Disks usage **0.100 %**
 Free space TB **228.5**

A **0 Hz**
 Stored **633514**

Time to fill disk 0 of srv-c2c06-18 > week

TIER0_TRANSFER_ON

Beam setup & DCS states history

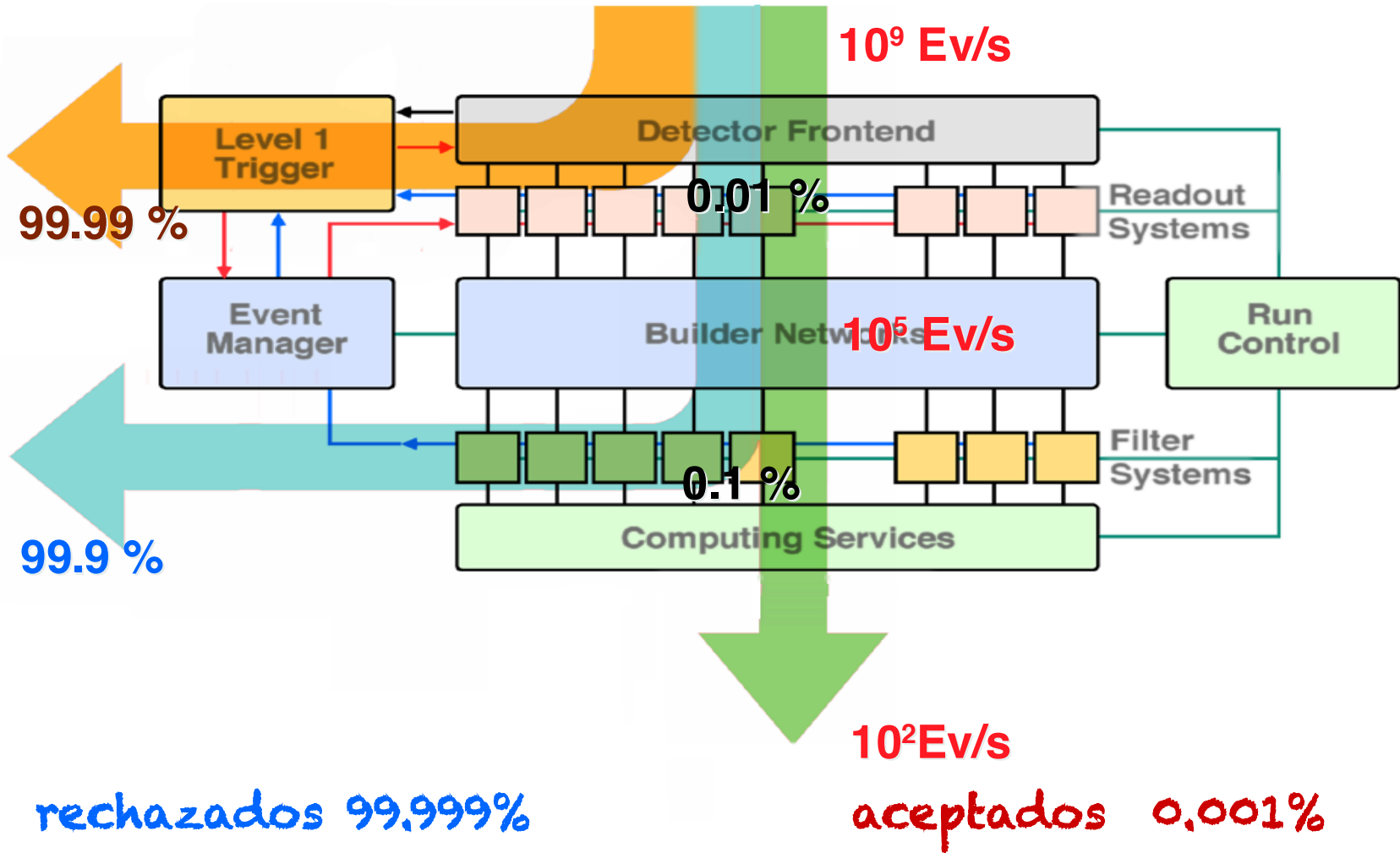
LHC mode: PROTON PHYSICS, SQUEEZE



UTC time 26/09/11 10:32:14

Local time: Geneva 12:32, Los Angeles 03:32, Chicago 05:32, Moscow 14:32, Beijing 19:32

toma de datos: trigger



1 Petabyte de datos registrados por año

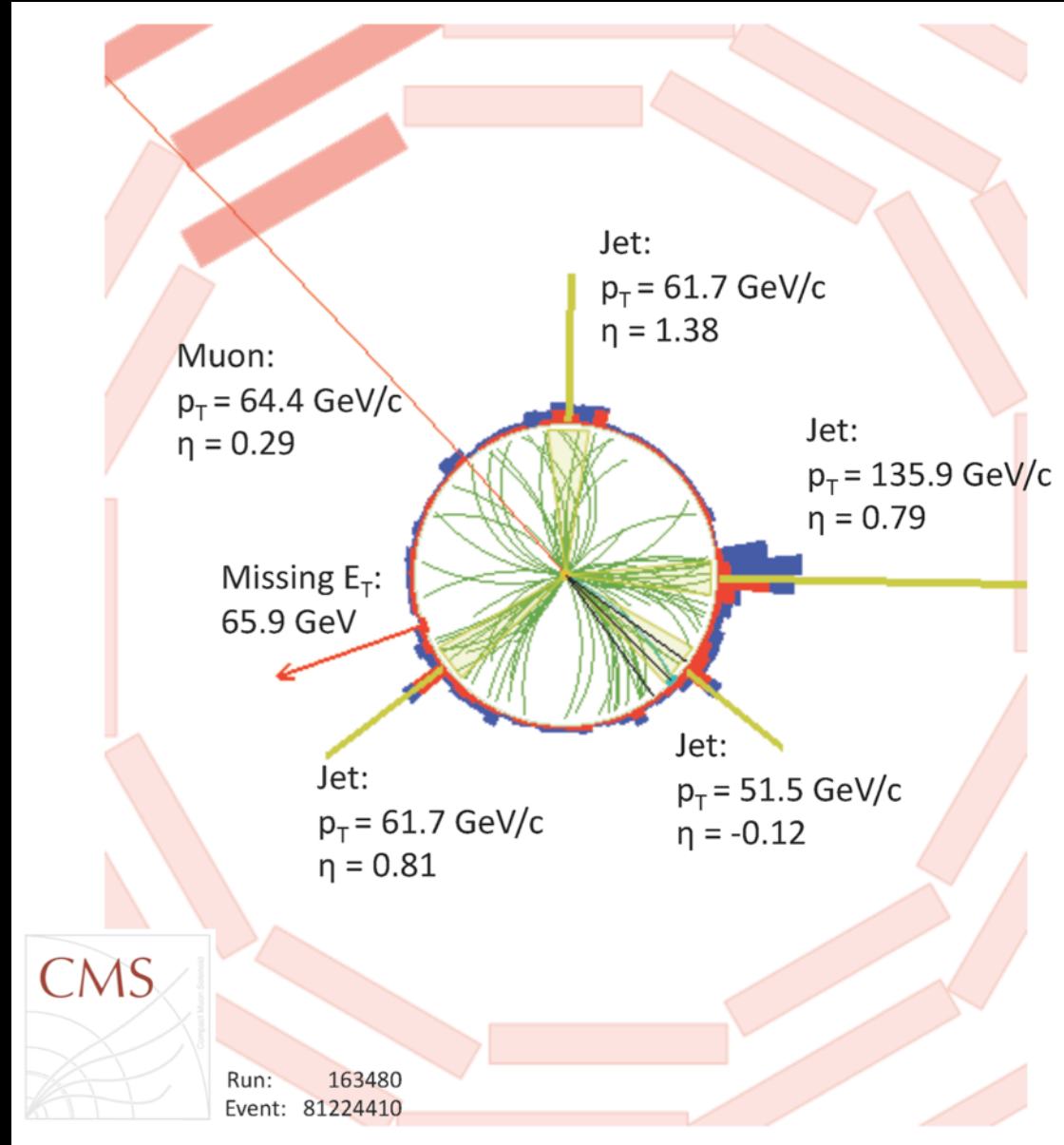
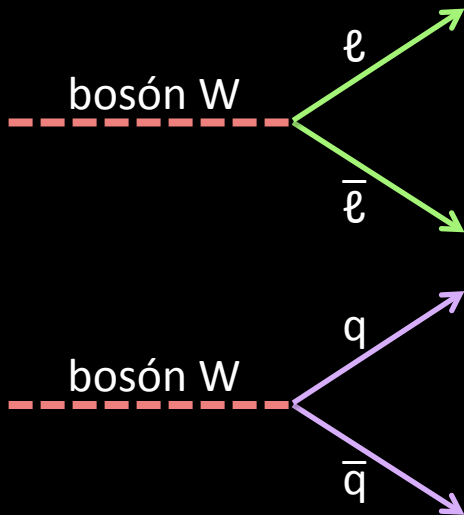
Producción de quarks t y \bar{t}

$$pp \rightarrow t \bar{t} \rightarrow \mu + 4 \text{ jets}$$

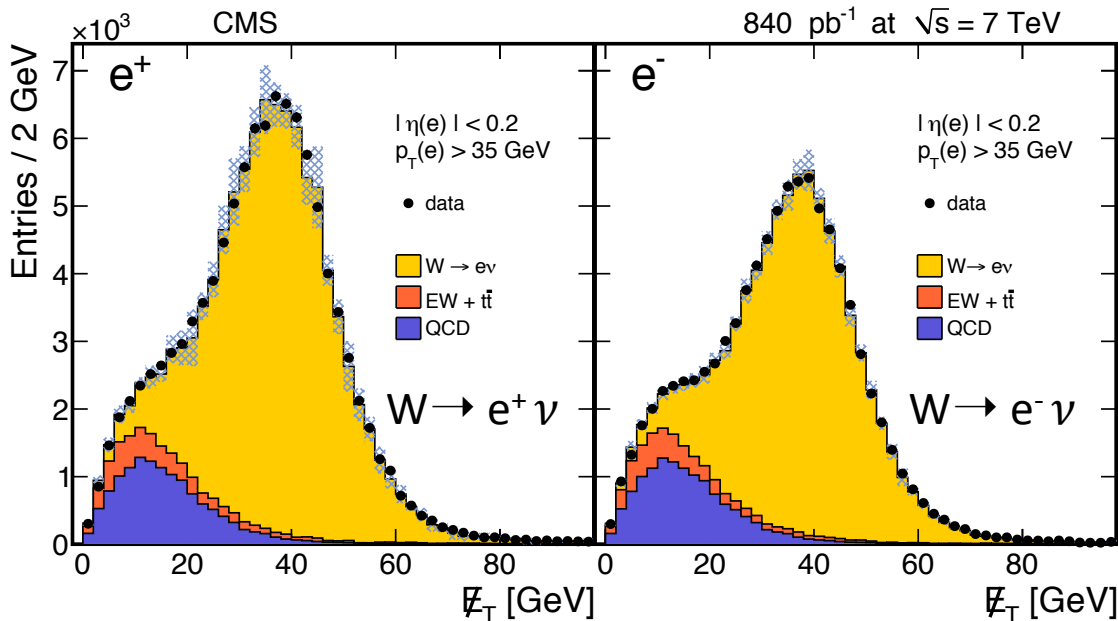
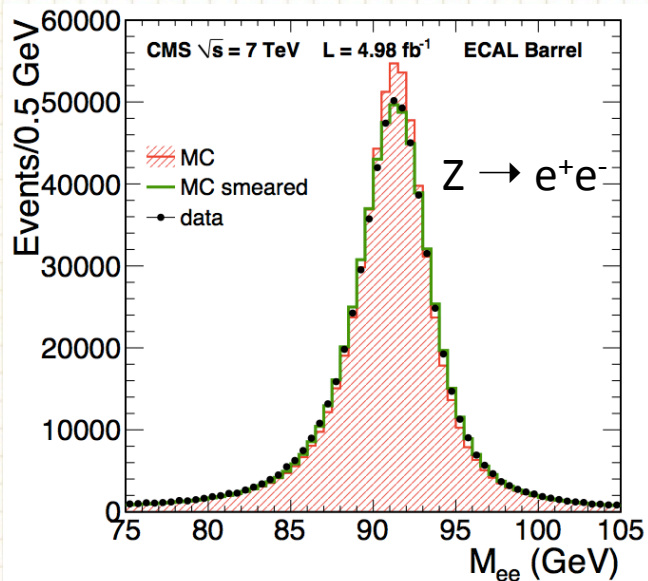
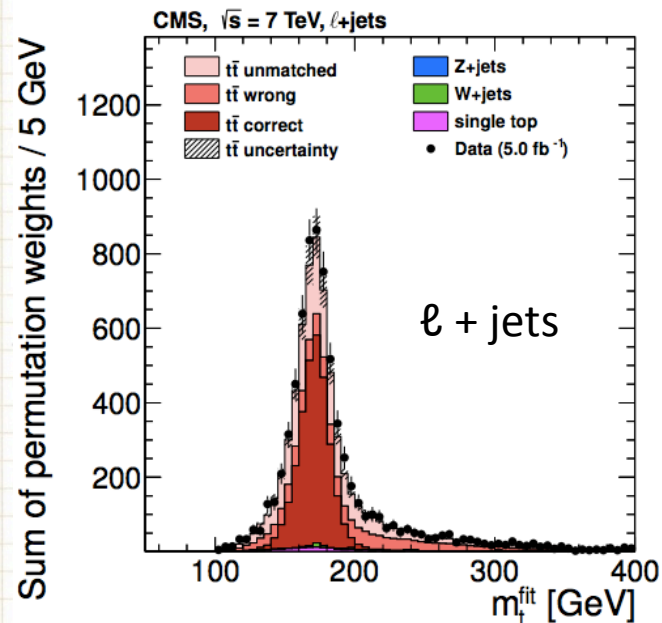
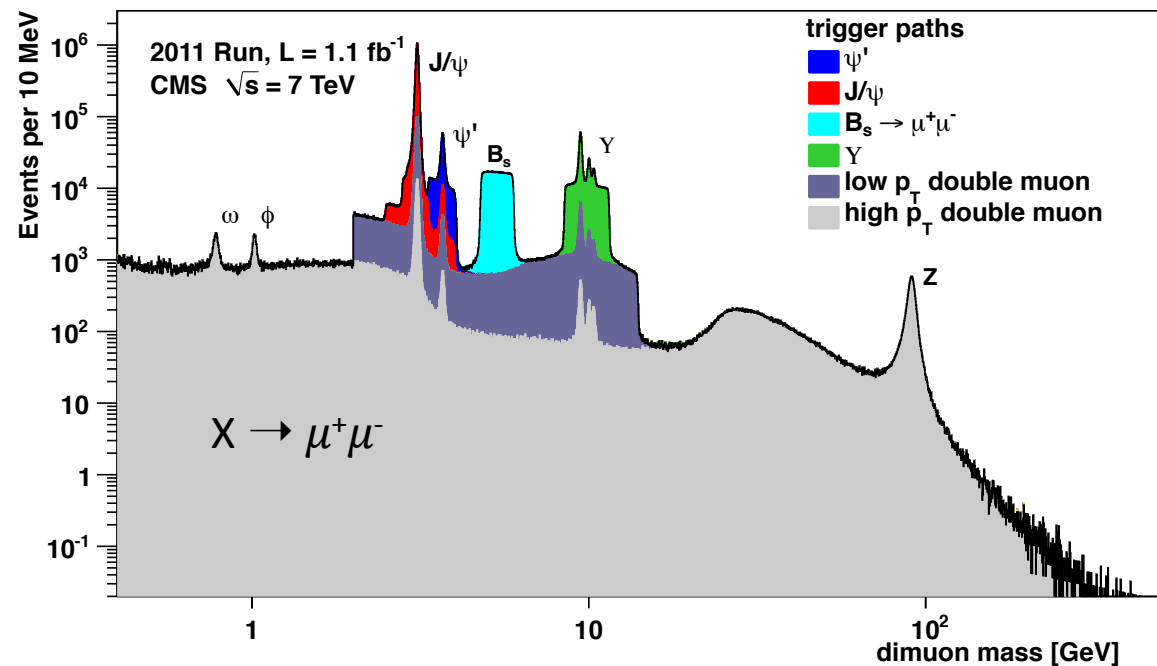
$$t \rightarrow bW^+, W^+ \rightarrow \mu\nu$$

$$\bar{t} \rightarrow \bar{b}W^-, W^- \rightarrow 2 \text{ jets}$$

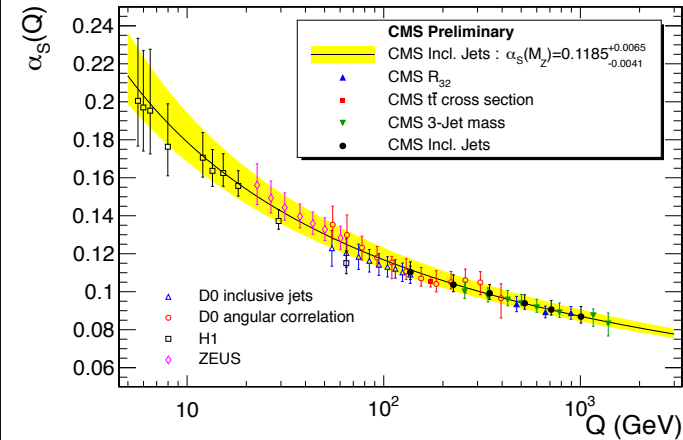
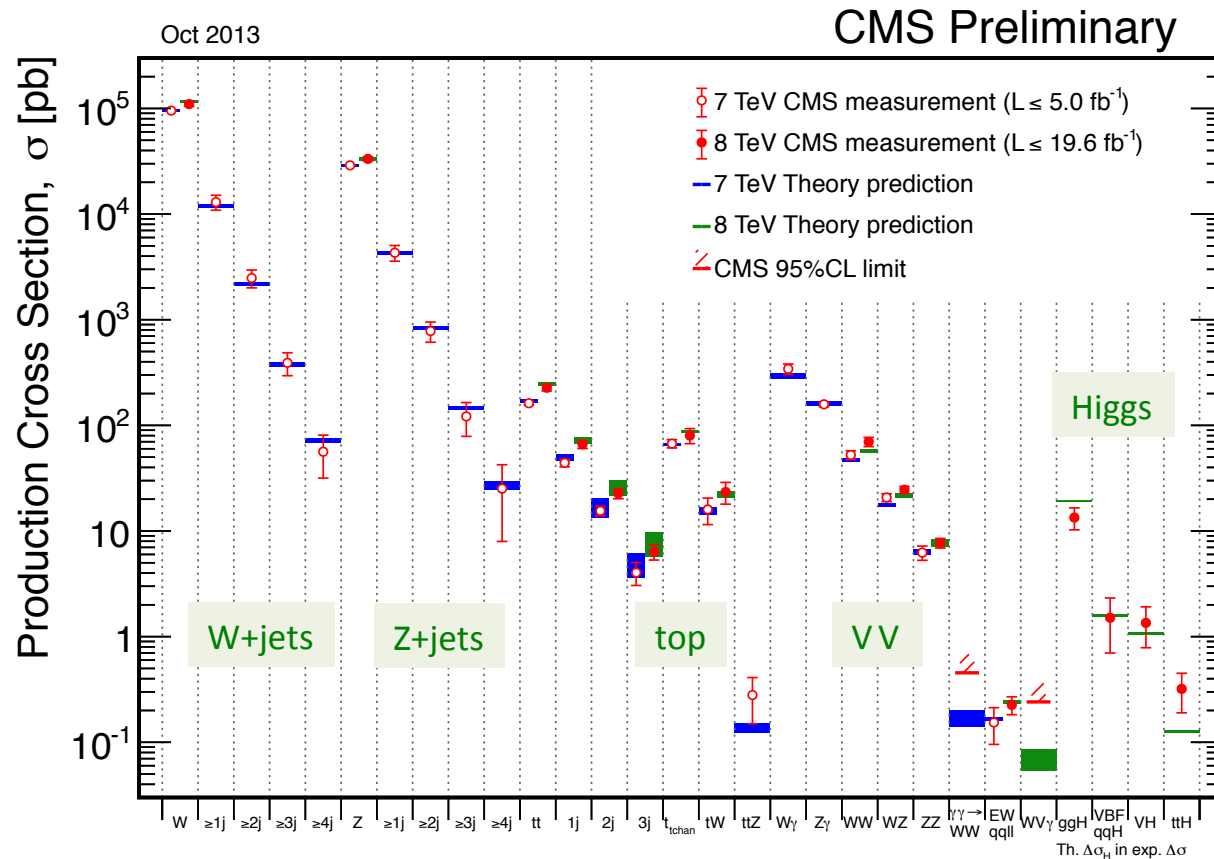
$$b \rightarrow 1 \text{ jet}$$



CMS performance: SM



Medidas precisas del modelo estándar, la clave del descubrimiento



Nuevas medidas de $\alpha_s(Q)$ a partir de varios procesos.

Estas medidas requieren buena comprensión del detector y de las predicciones del ME, que son fondo para las señales de nueva física.