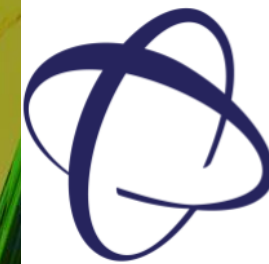


El CERN: tecnologías, aceleradores y desafíos medioambientales



**FACULTAD
DE CIENCIAS**

Dr. José Miguel Jiménez Carvajal, Director del Departamento de Tecnología

Un impacto (in)directo en la Sociedad

La Misión del CERN

¡Un centro de investigación con dimensiones industriales!

Los Grandes Instrumentos Científicos y la Tecnología

La estrategia europea en física de partículas y la Tecnología

Desafíos medioambientales de los Grandes Instrumentos Científicos

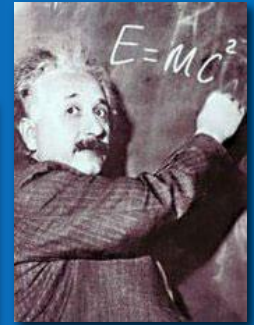
La Misión del CERN



- **Extender** las fronteras del conocimiento

Los secretos del Big Bang ... ¿Cómo era la materia en los primeros momentos de la existencia del Universo?

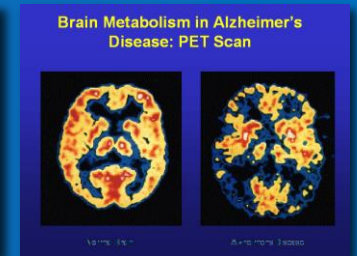
Desarrollar nuevas tecnologías para aceleradores y detectores



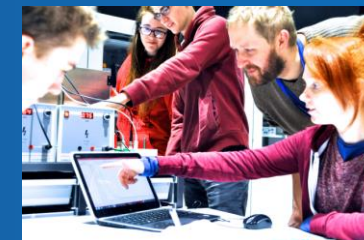
- **Desarrollar** las nuevas tecnologías para aceleradores y detectores

Tecnología de la información: la web y la red

Medicina: diagnóstico y terapia



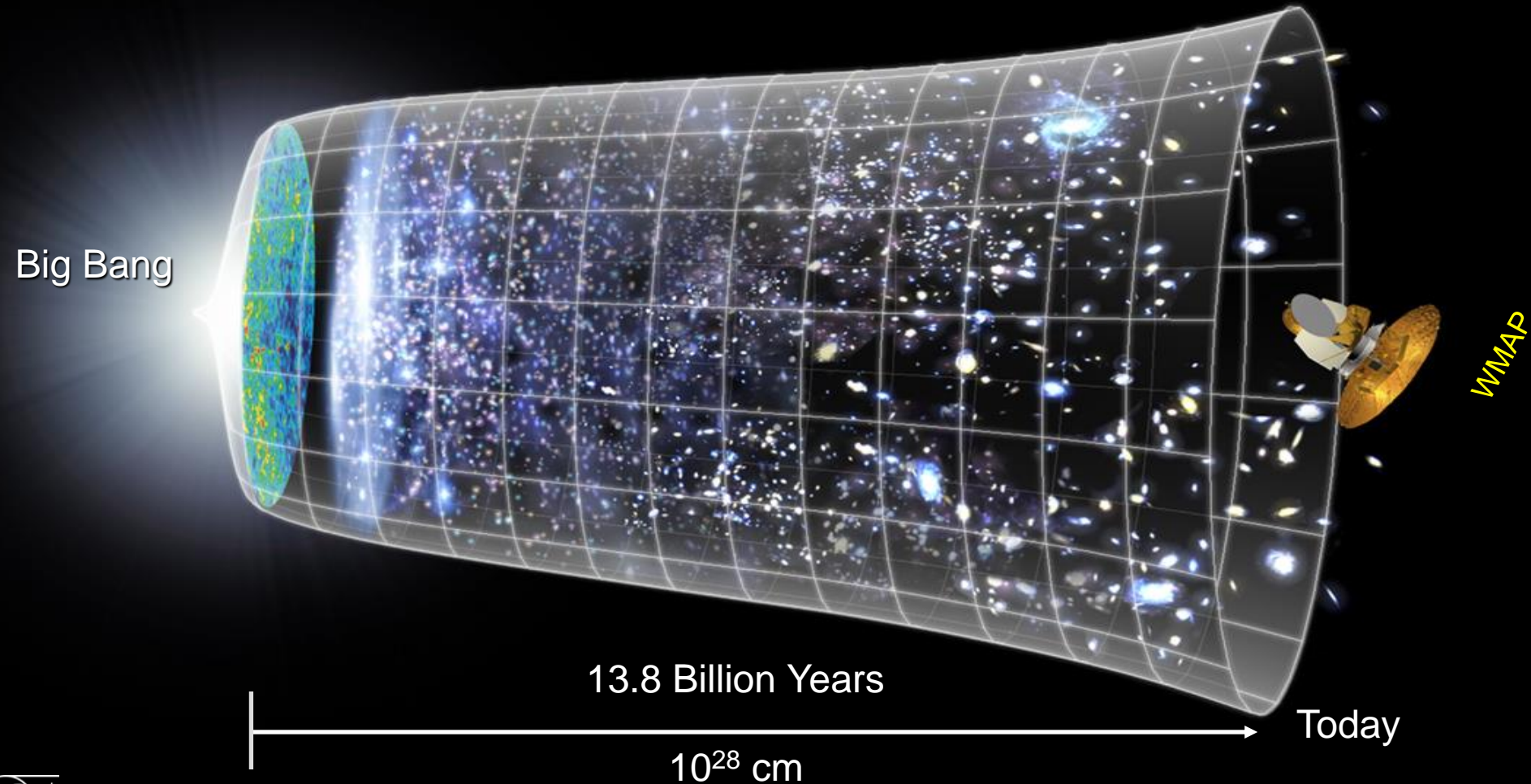
- **Formar** los científicos e ingenieros de mañana



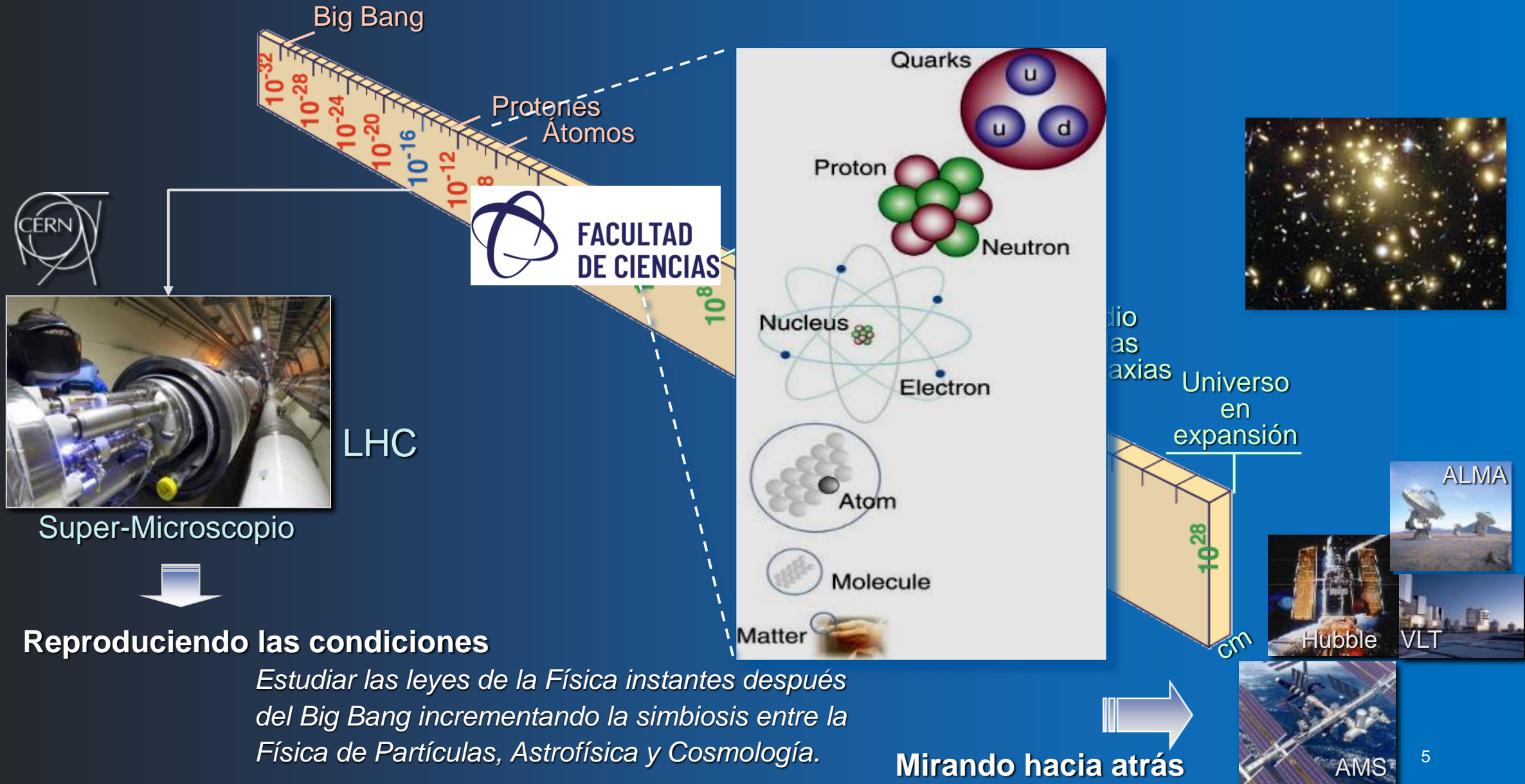
- **Unir** las personas de diferentes naciones y culturas



Comprender los primeros momentos de nuestro Universo después del Big Bang

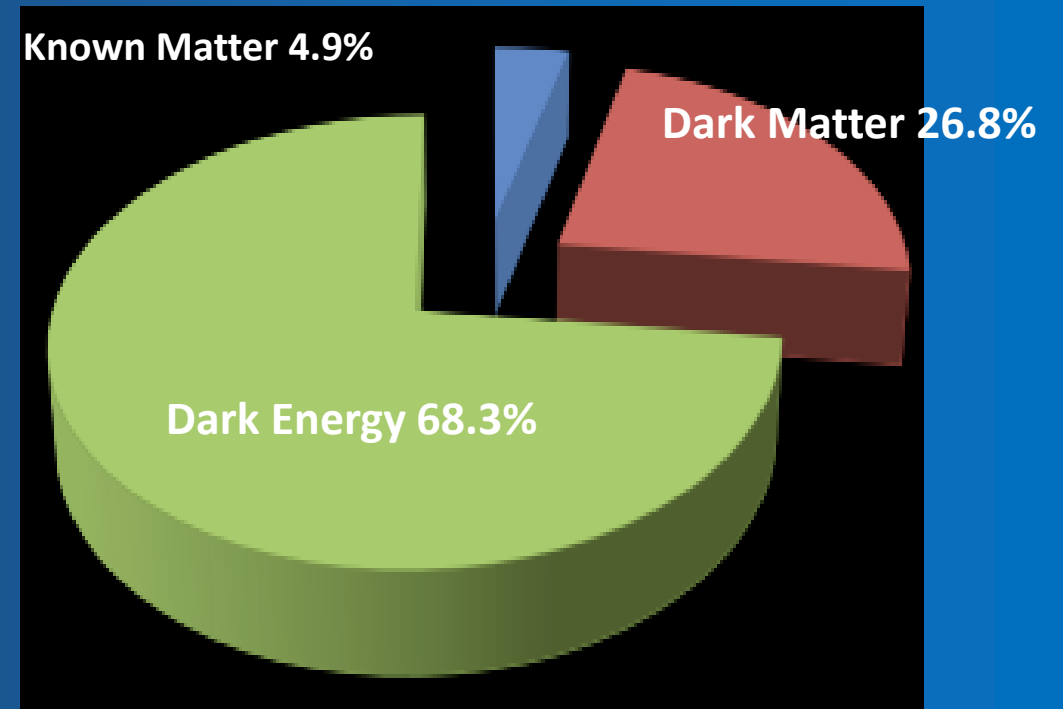


El LHC o como acercarse al "Big Bang"



Aún quedan muchas incógnitas...

- El Modelo Estándar describe la Materia “visible”,
i.e. ¡5% del Universo!
- ¿Qué es la materia oscura?
- ¿Qué es la energía oscura?
- ¿Porqué hay mas materia que anti-materia?
- ¿Por qué el Universo se sigue expandiendo?
- ...

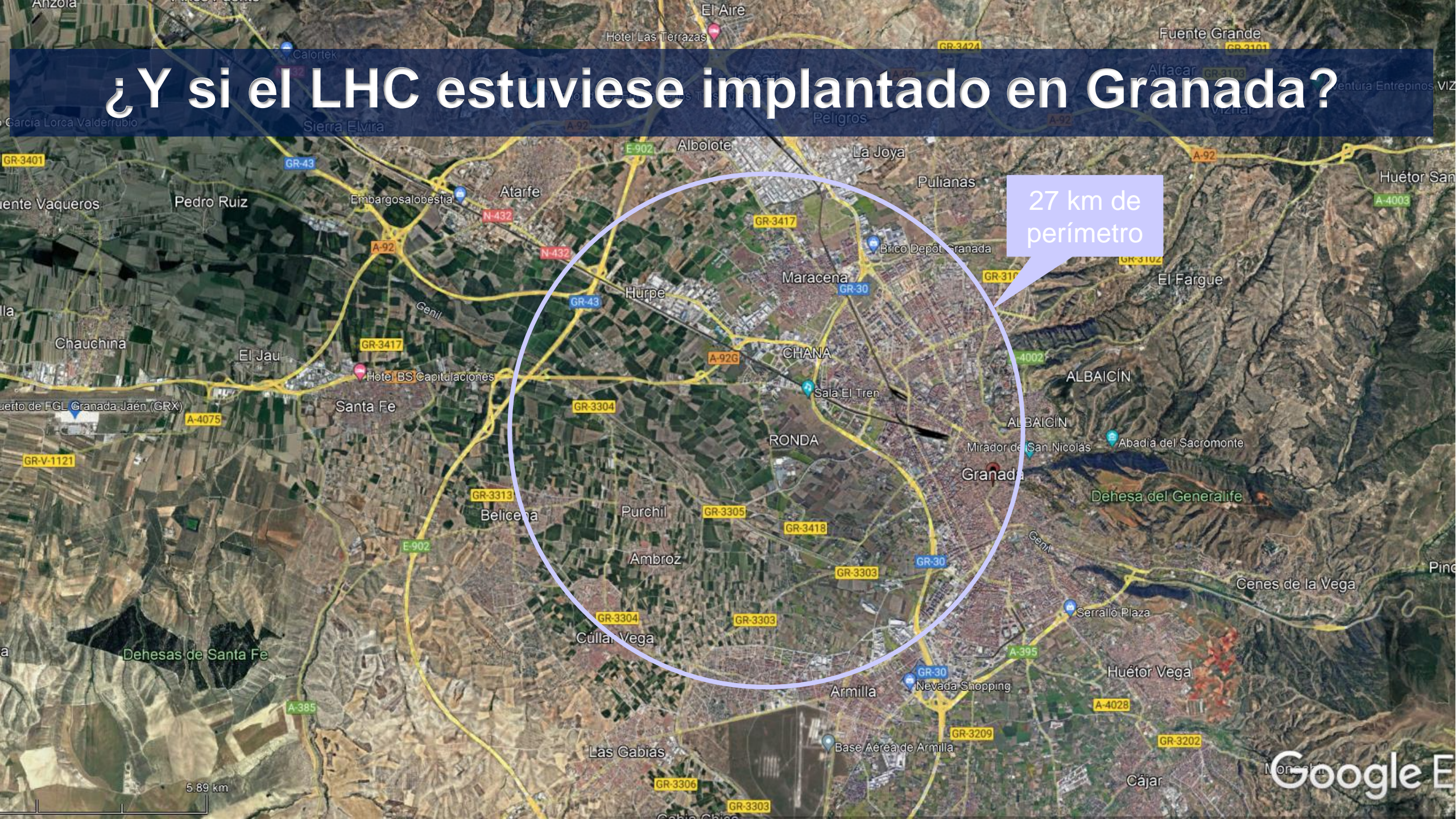


El laboratorio más grande del mundo para la Física de Partículas



- Superficie: 590 hectáreas
 - 2 implantaciones principales y 15 secundarias
 - 670 edificios
 - 490 habitaciones en 3 hoteles
 - 425,000 m² construidos
- Mas de 70 km de túneles y 30 km de carreteras privadas
- Mas de 80 cavernas experimentales y técnicas
- 1000 km de galerías de servicios técnicos

¿Y si el LHC estuviese implantado en Granada?



27 km de
perímetro

5.89 km

Google Earth

¡Con instalaciones técnicas sin equivalente!



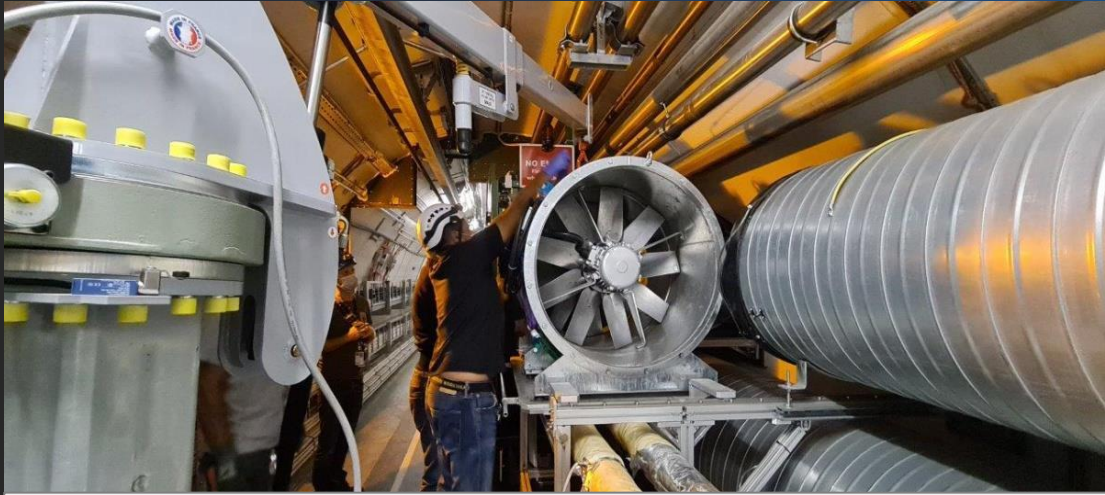
Con instalaciones técnicas sin equivalente!



¡Con instalaciones técnicas sin equivalente!



¡Con instalaciones técnicas sin equivalente!



CV maintenance



CRG maintenance

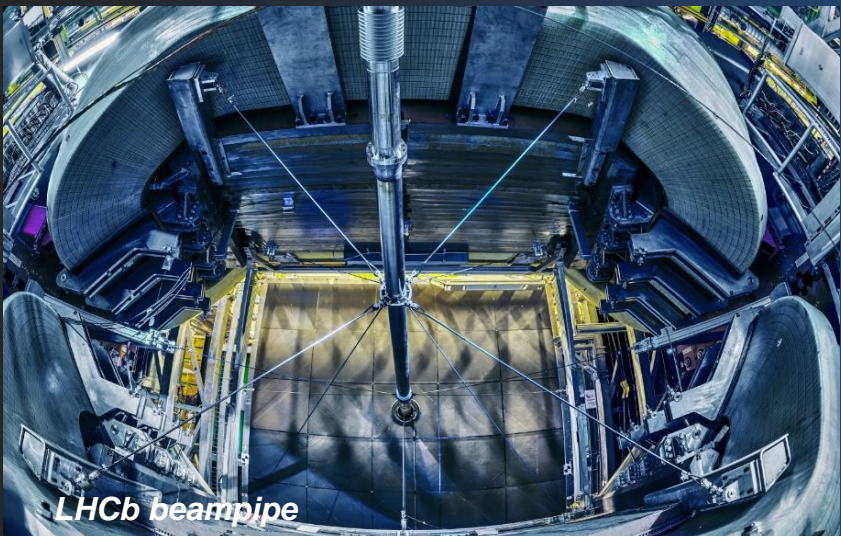


CV maintenance



CRG maintenance

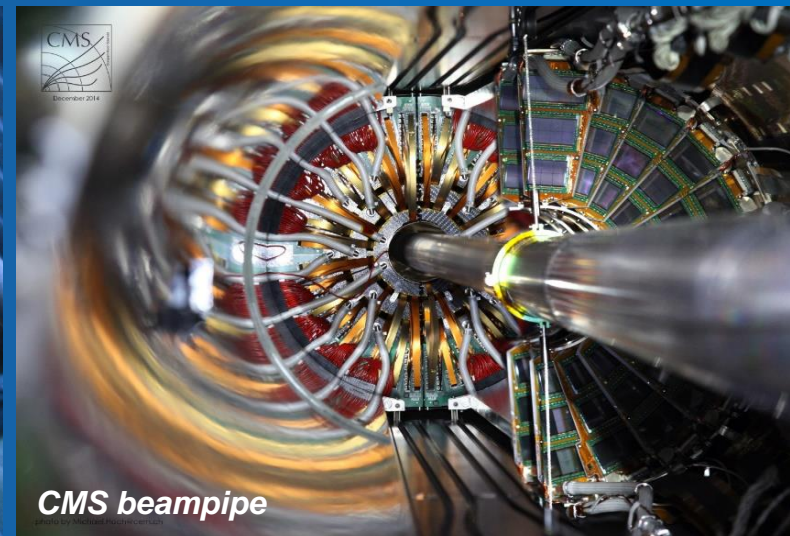
¡E interfaces complejas!



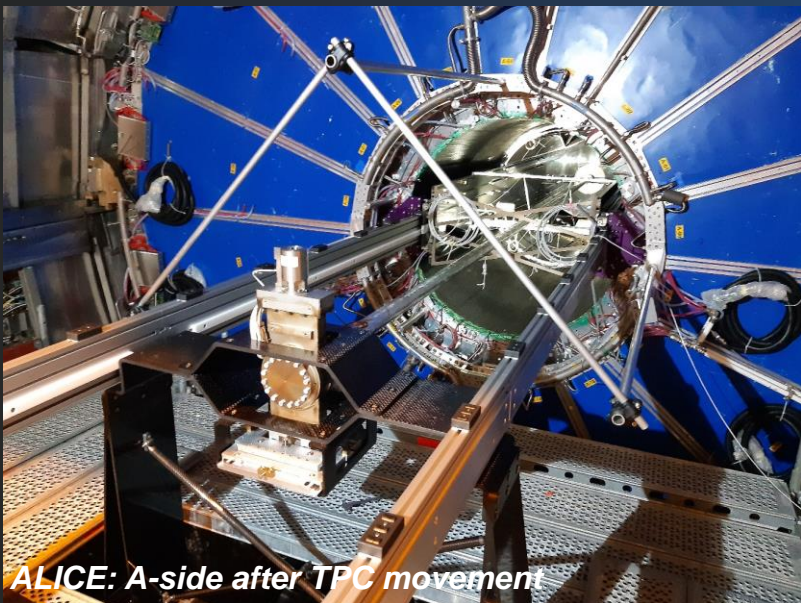
LHCb beampipe



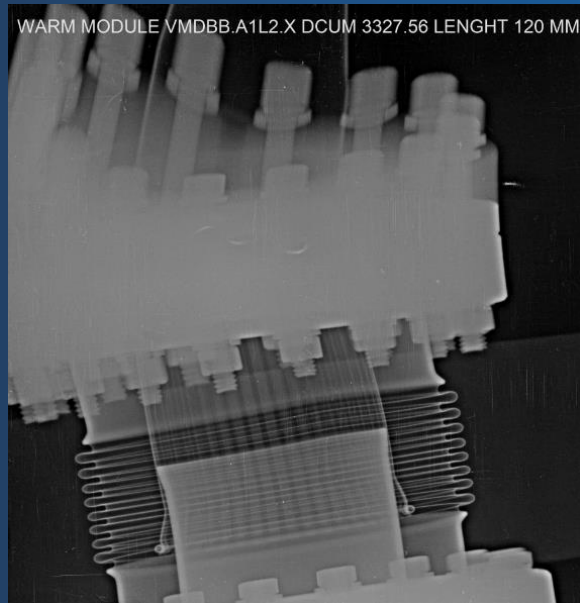
LHCb beampipe



CMS beampipe



ALICE: A-side after TPC movement



WARM MODULE VMDBB.A1L2.X DCUM 3327.56 LENGHT 120 MM



ATLAS beampipe dismounting

¿Fronteras de Energía?

- Utilizando **campos eléctricos (cavidades RF)** para **acelerar** y **campos magnéticos (imanes aceleradores)** para **guiar** y **colisionar** partículas cargadas en los haces (electrones, protones, iones & anti-partículas)
- **Necesidad de altas Energías en aceleradores por 2 razones:**
 - Producción de partículas más pesadas (conforme a Einstein):
 $E = mc^2 \leq 2E$ haz (colisionador)
 - Resolución de más pequeñas distancias (conforme a de Broglie):
Longitud de onda $\lambda = hc/E$ para el LHC $\sim 2 \cdot 10^{-18}$ cm

Más alta Energía → Mayor potencial de descubrimiento

Concepto de un acelerador-detector de partículas



Cavidad aceleradora
▶ comunica la energía



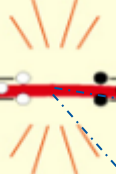
Imanes dipolos curvadores
▶ mantienen las partículas en el anillo



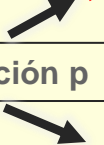
Imán cuádrupolo de focalización
▶ mantienen la densidad del haz



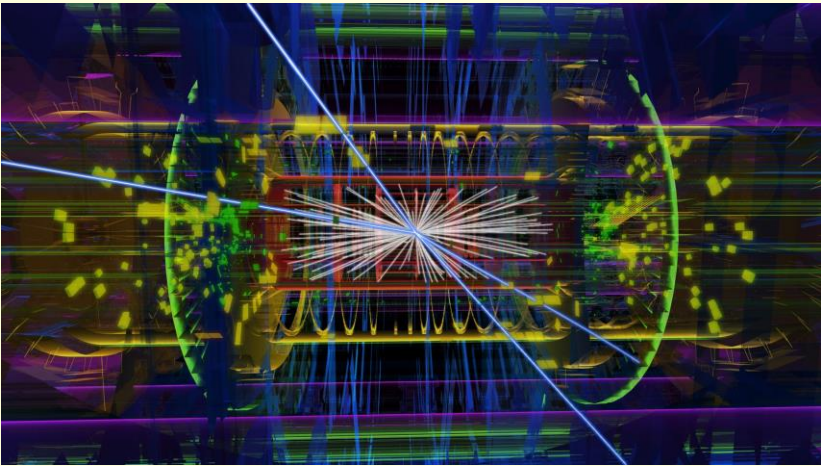
Detector



Inyección p



Cámara de vacío para el haz de partículas

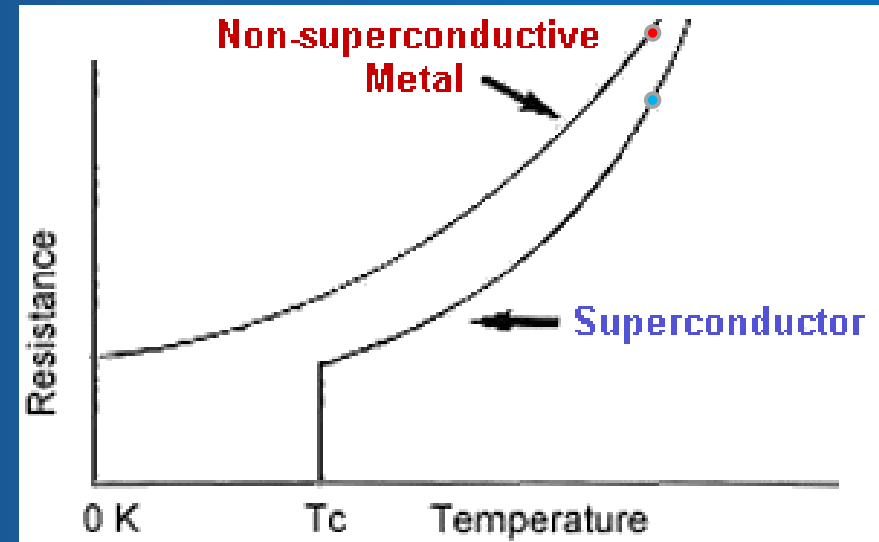


Asombrosas “singularidades” de la Naturaleza...

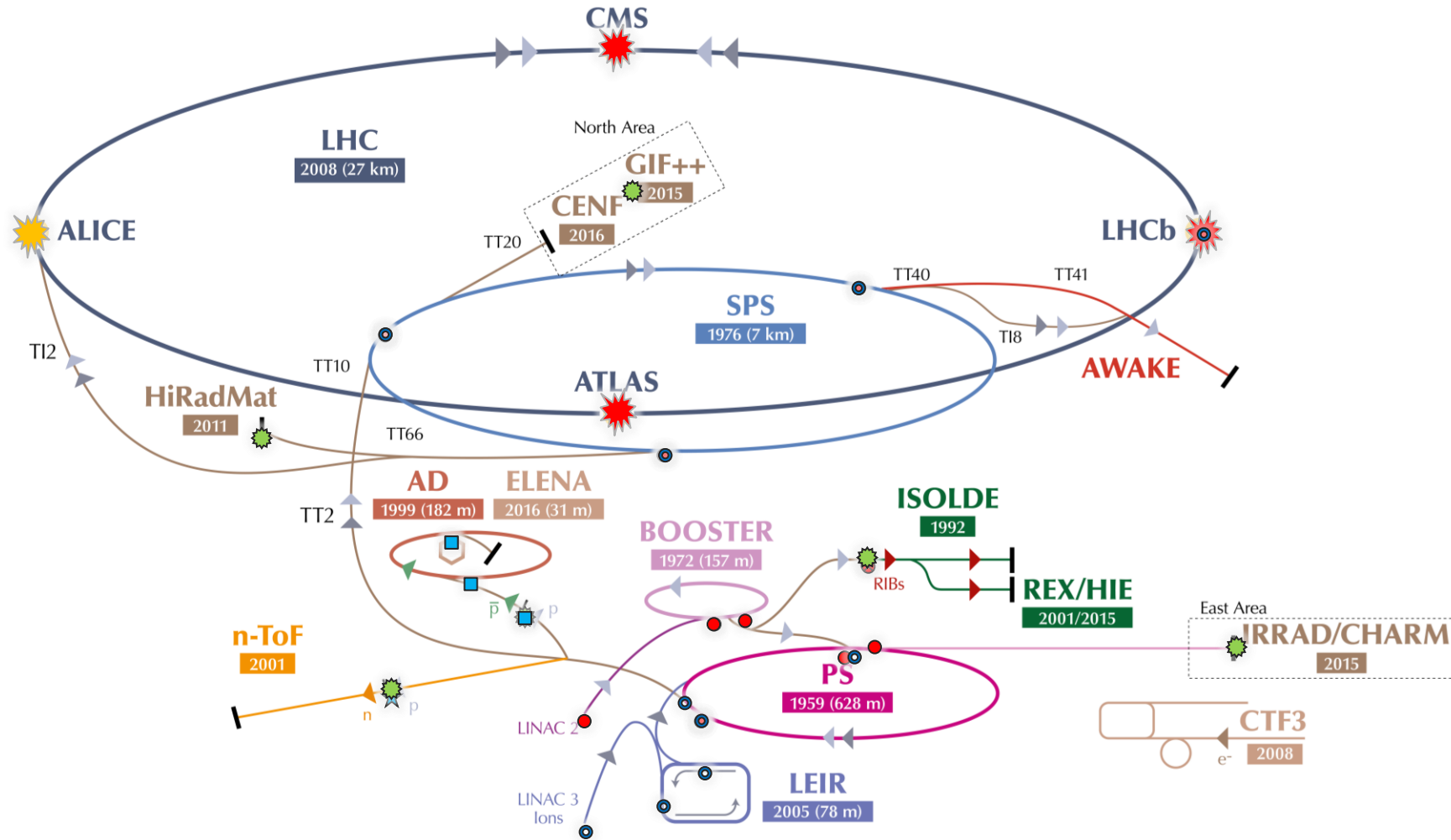


¡que han hecho el LHC posible!

- El LHC se hubiera quedado un sueño sin:
 - **Materiales Superconductores** como las aleaciones de Niobio-Titanio (NbTi)...
 - **Helio superfluido**, a bajas temperaturas pierde su viscosidad manteniendo sus propiedades de aislamiento eléctrico...



¡El complejo de aceleradores mas grandes del mundo!!

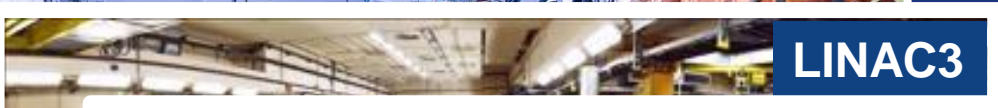


Diversidad y altas performances

LINAC4



LINAC3



PS Booster



LEIR



Proton Synchrotron



Super Proton Synchrotron



Large Hadron Collider



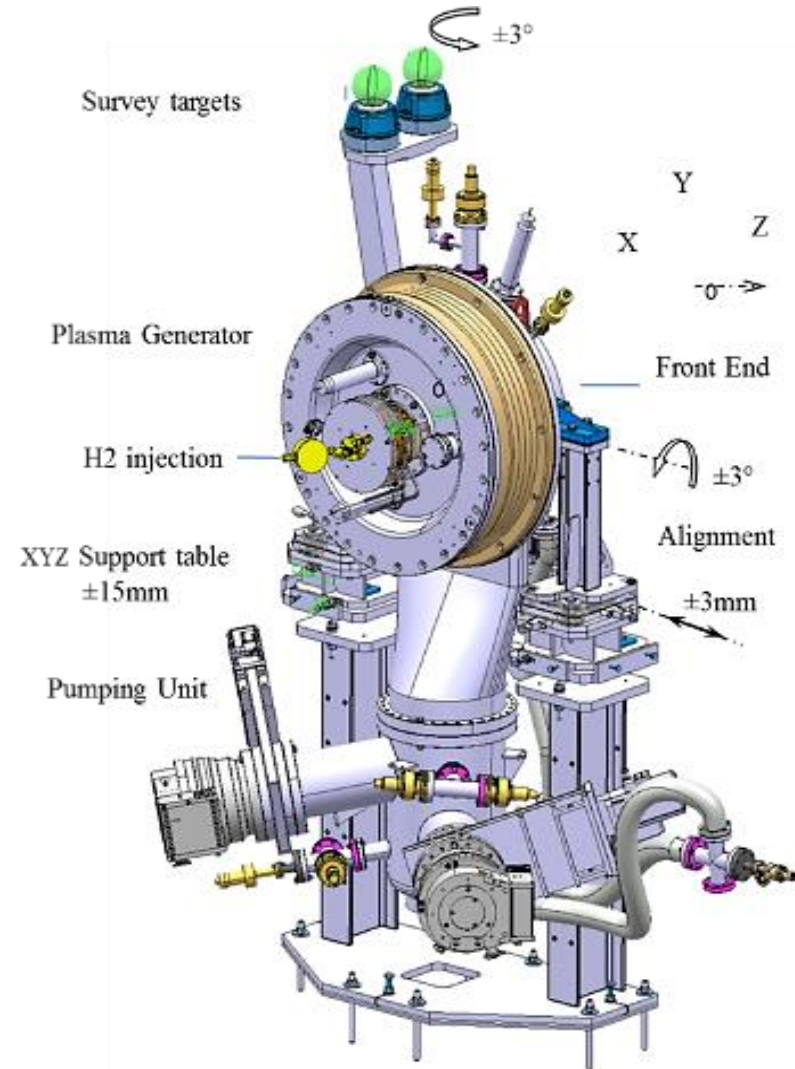
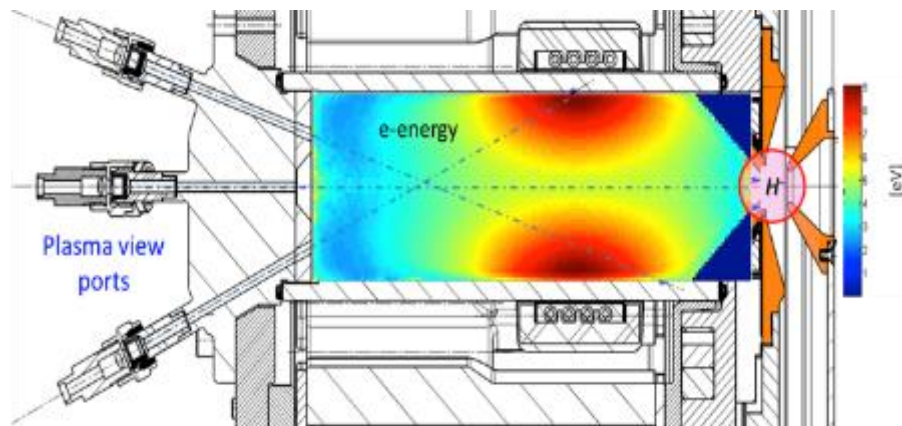
LHC straight section



Donde nacen las partículas... la fuente de hadrones

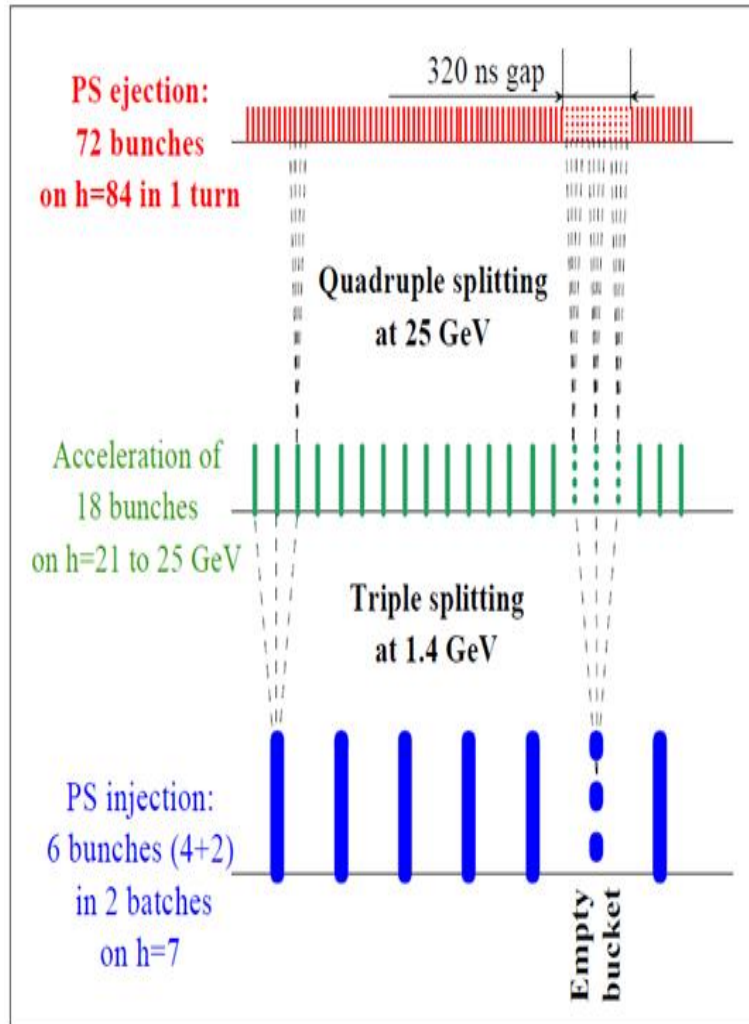


Complejo, miniaturizado y con motivo a perspectivas...



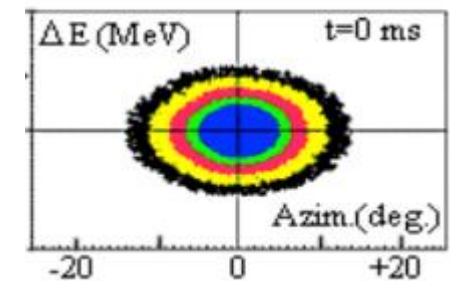
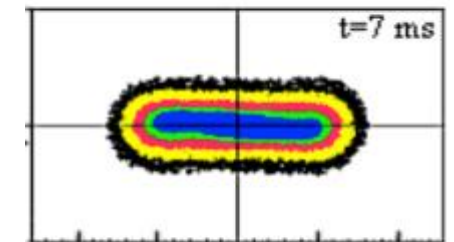
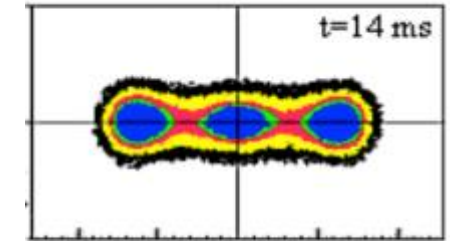
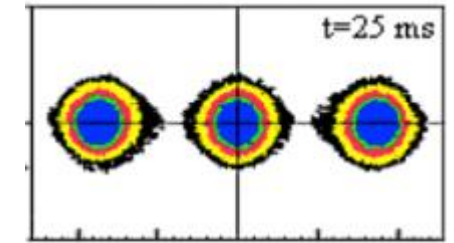
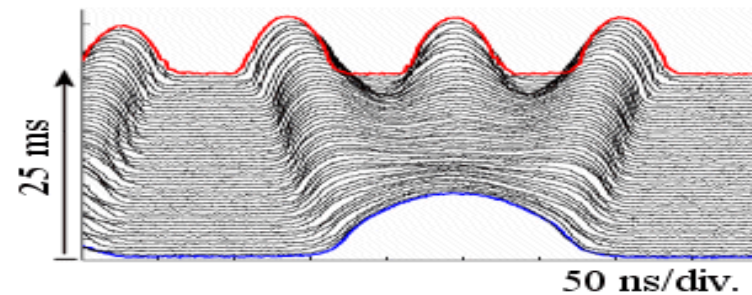
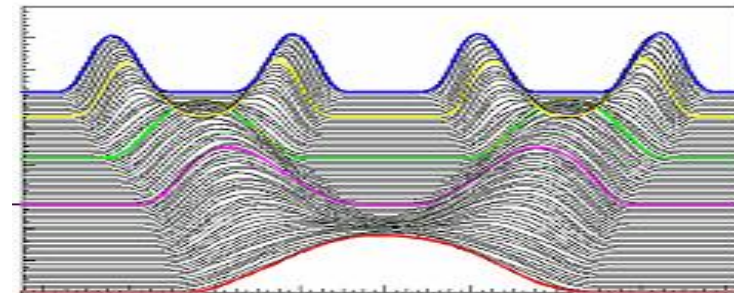
Ingeniería compleja,
compacta y
multidisciplinaria

Gimnasia radiofrecuencia o cómo formar los paquetes

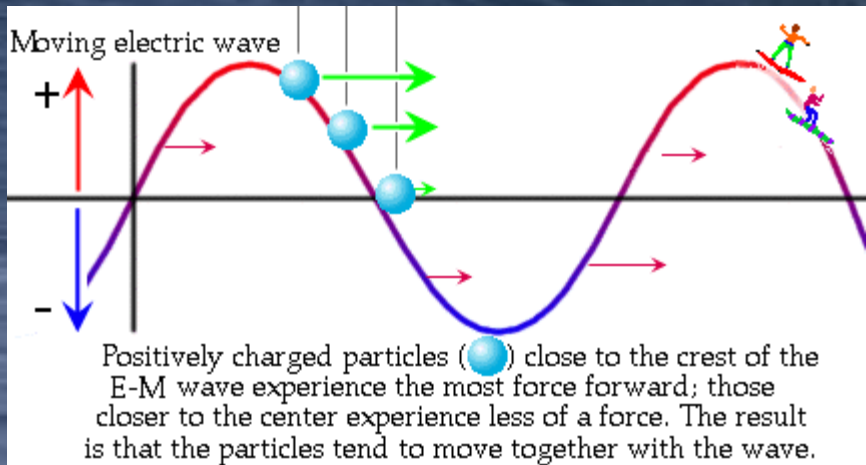


¡72 paquetes formados
partiendo de 6!

Encadenados hasta
tener 4 trenes de
72 paquetes cada uno...



Aceleración y viaje al LHC



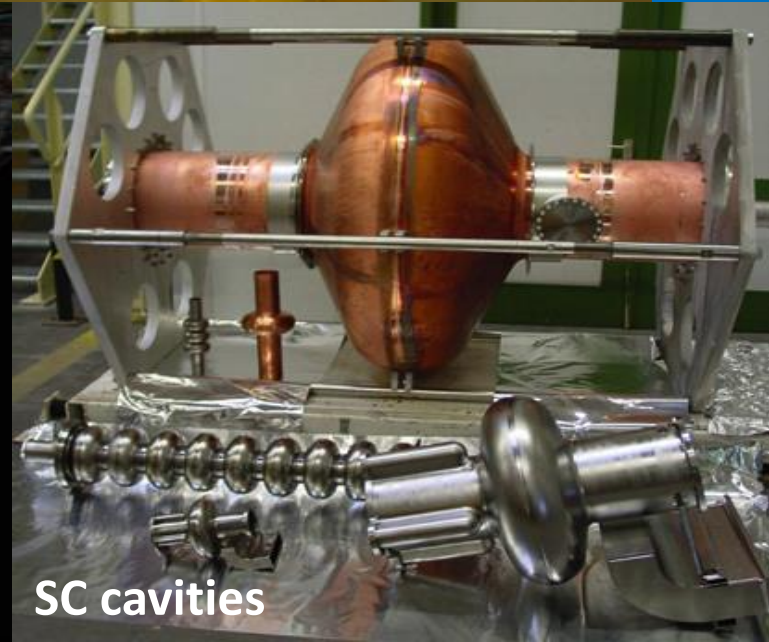
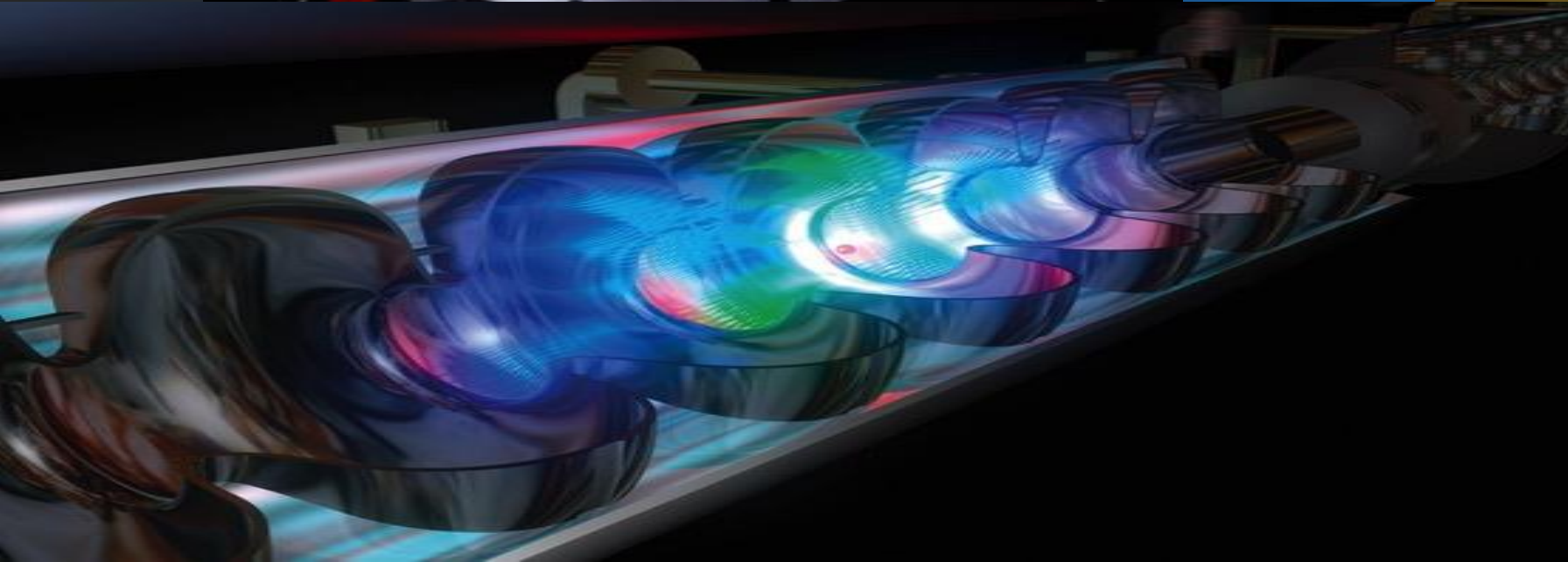
Aceleración: cavidades radiofrecuencia



RFQ



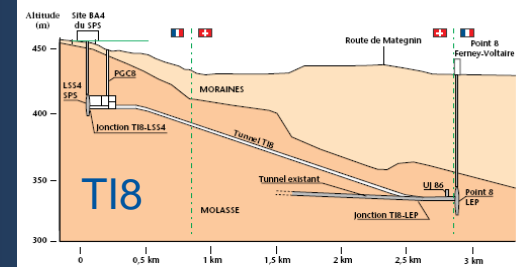
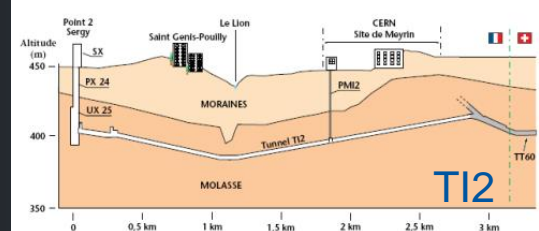
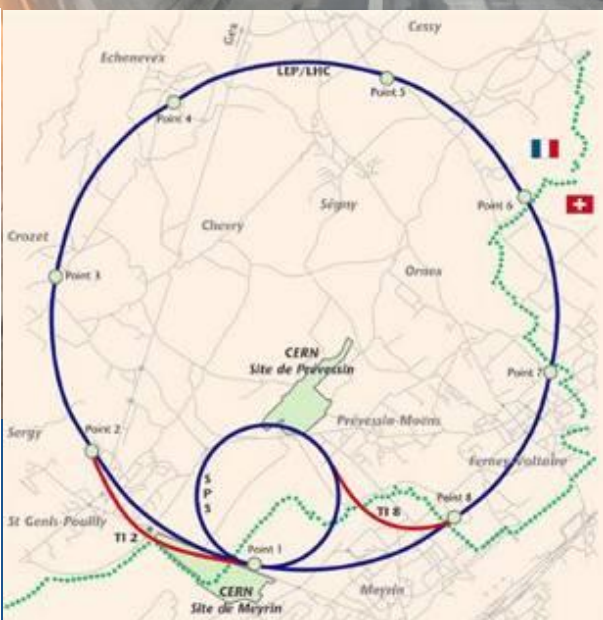
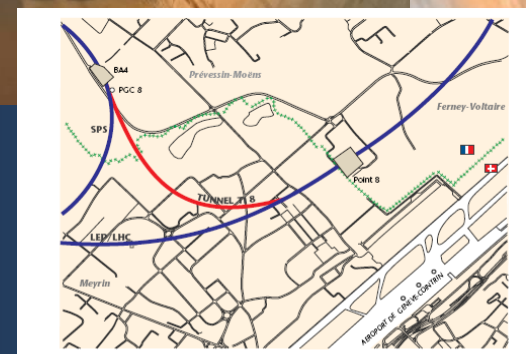
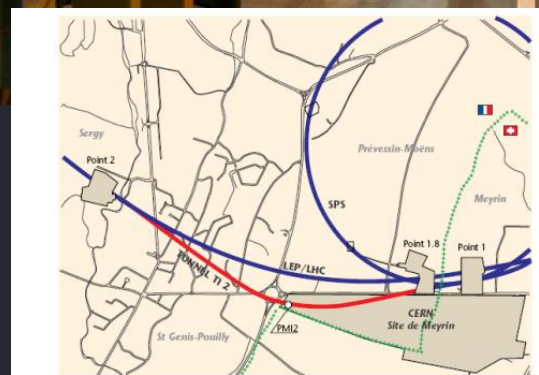
Drift Tube Linac



SC cavities

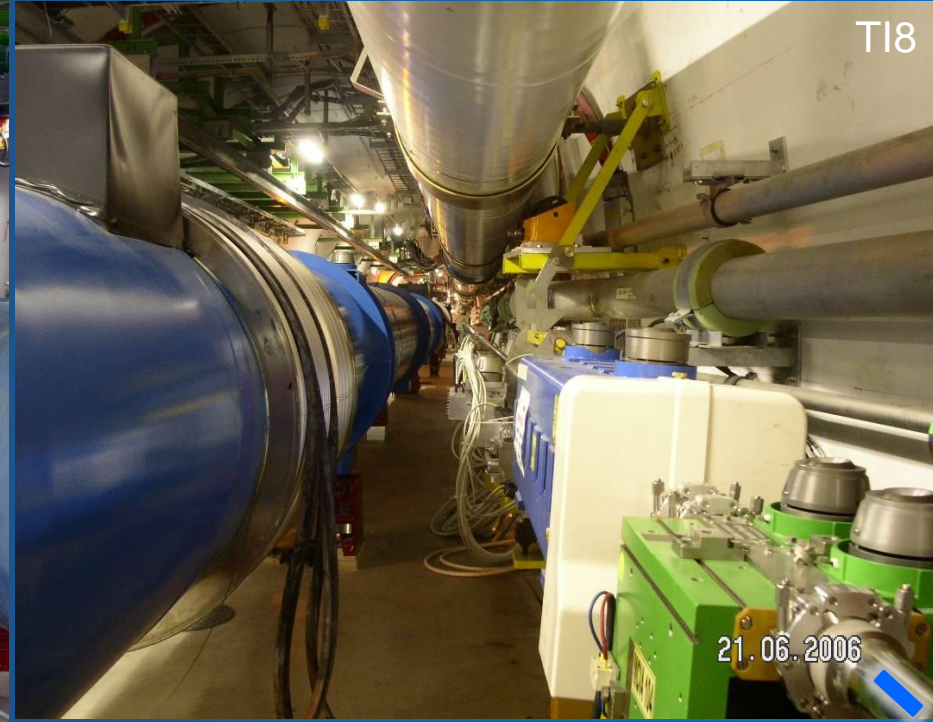
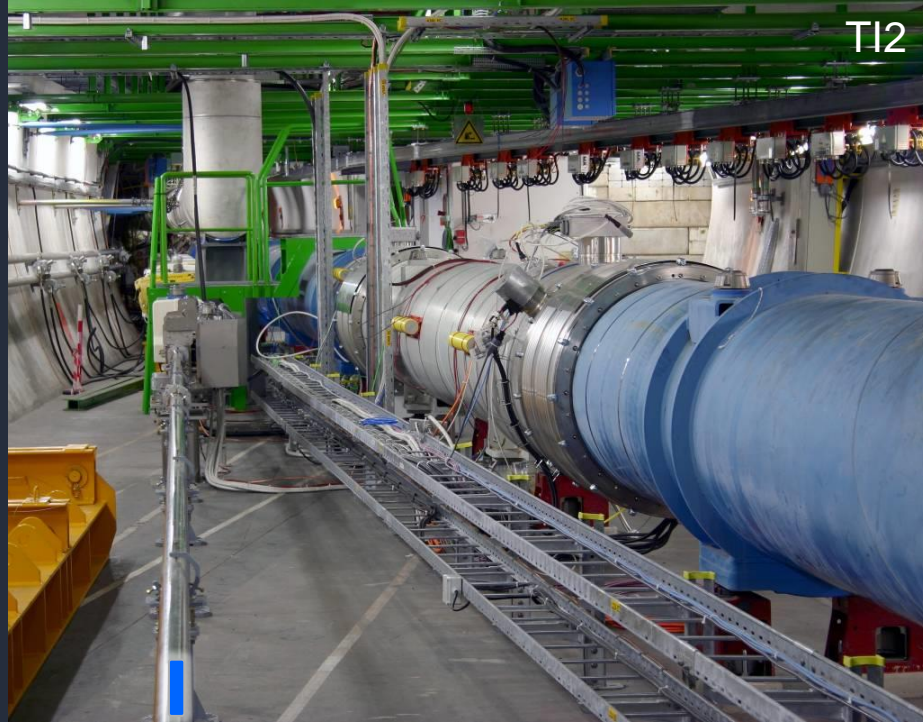
¡Líneas de inyección: un viaje nada recto!

Inyección: cuestión de microsegundos...



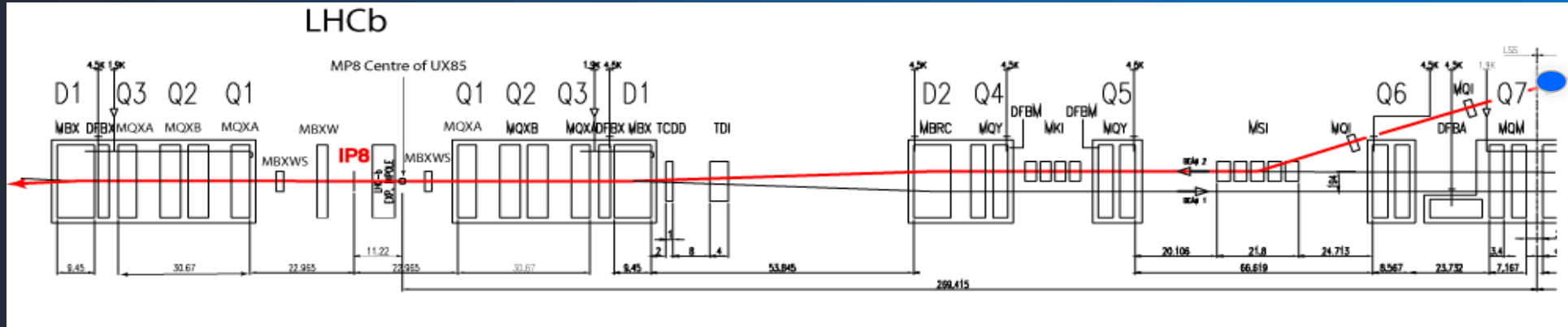
Combinación de arcos y secciones rectas, en vertical y horizontal, pasando por debajo de ríos subterráneos...

¡Líneas de inyección: un interfaz surrealista!



- 2 líneas de **2.7 km** cada una
 - ¡Aperturas magnéticas de **20 mm** de máxima!
- Interferencias con elementos del LHC al llegar al túnel
- Alineamiento crítico de los componentes

¡Combinando alta tecnología con absoluta fiabilidad!



!Sonrían para la foto!

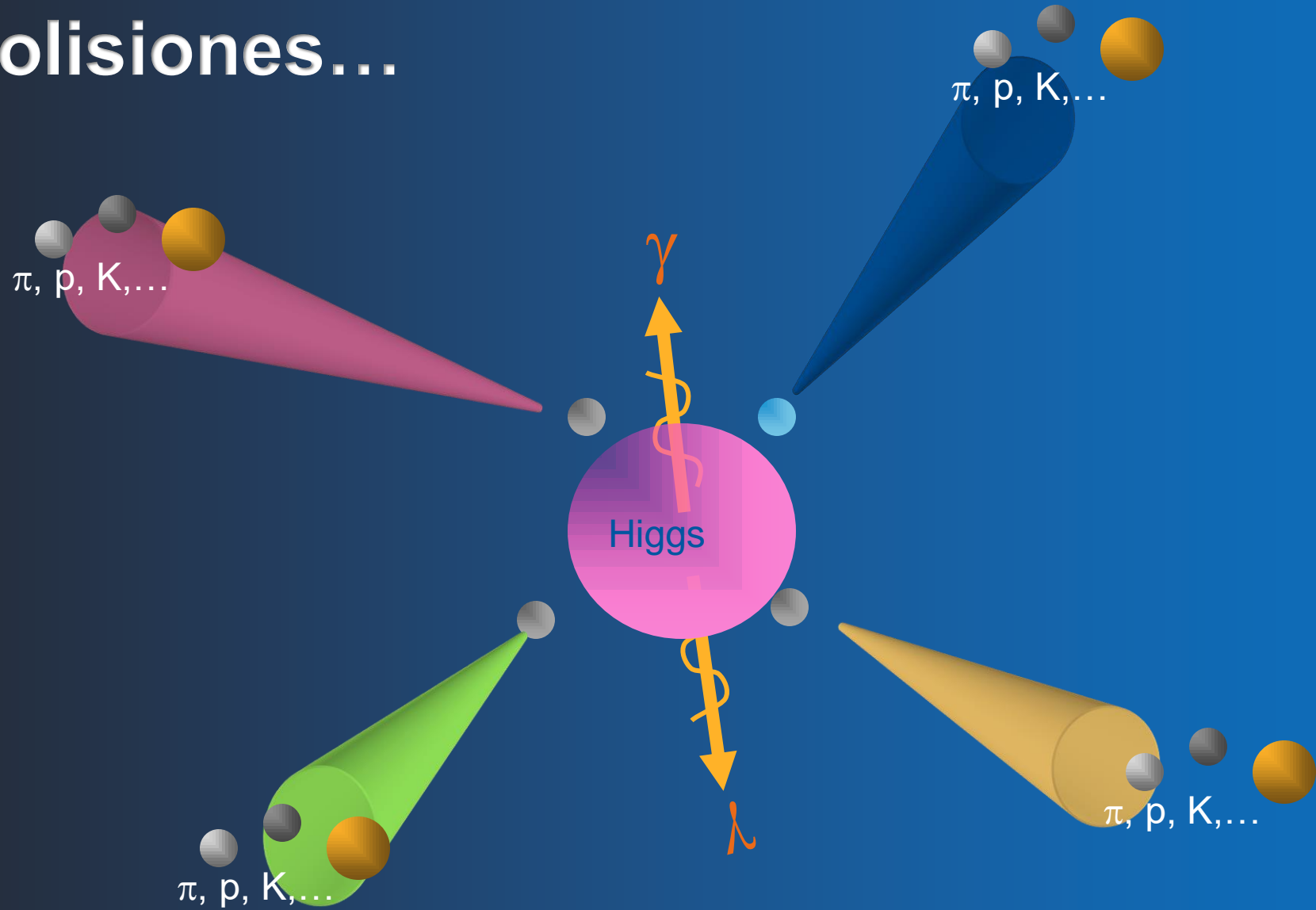
Los detectores de partículas



Las colisiones...



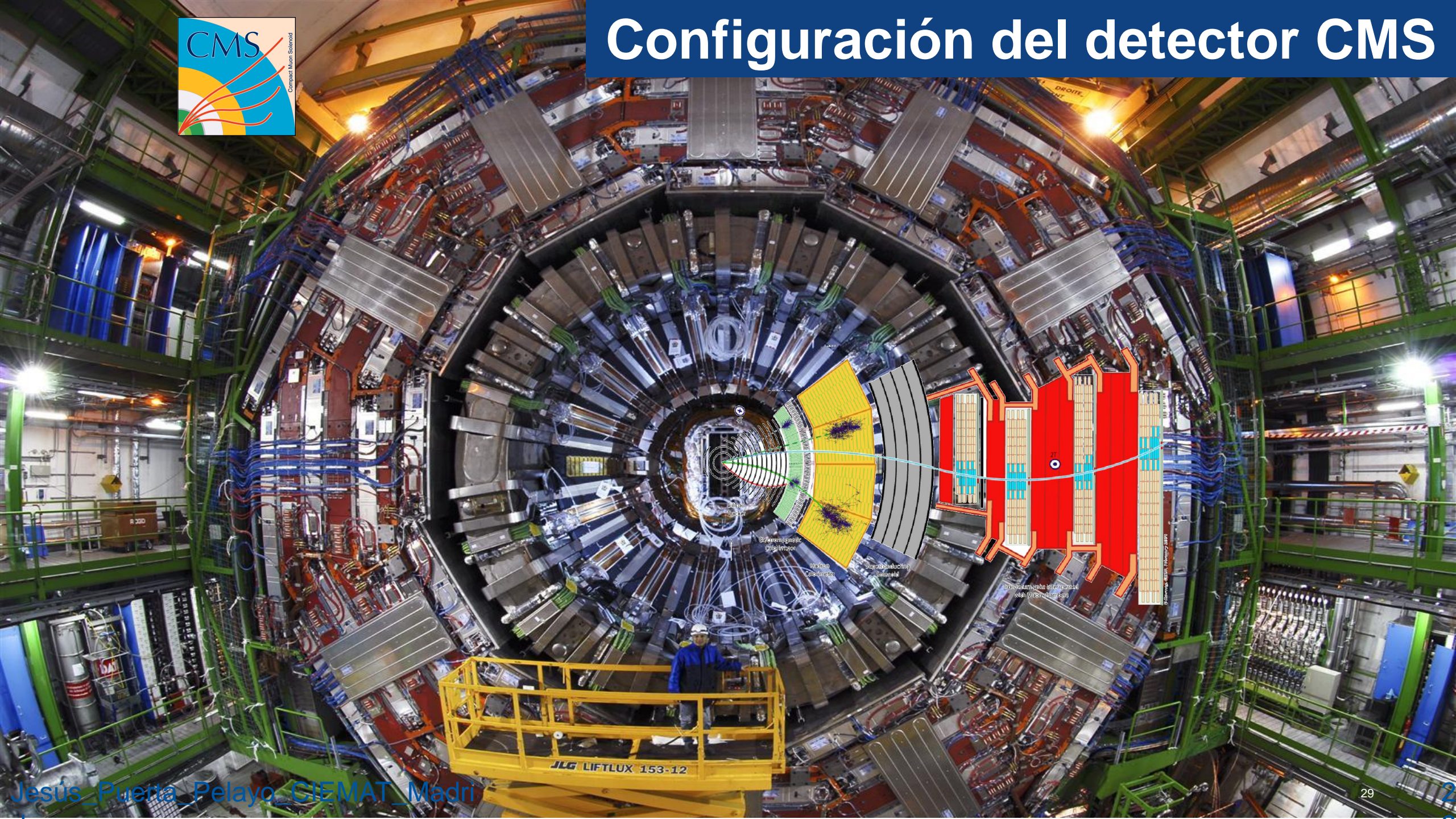
Las colisiones...



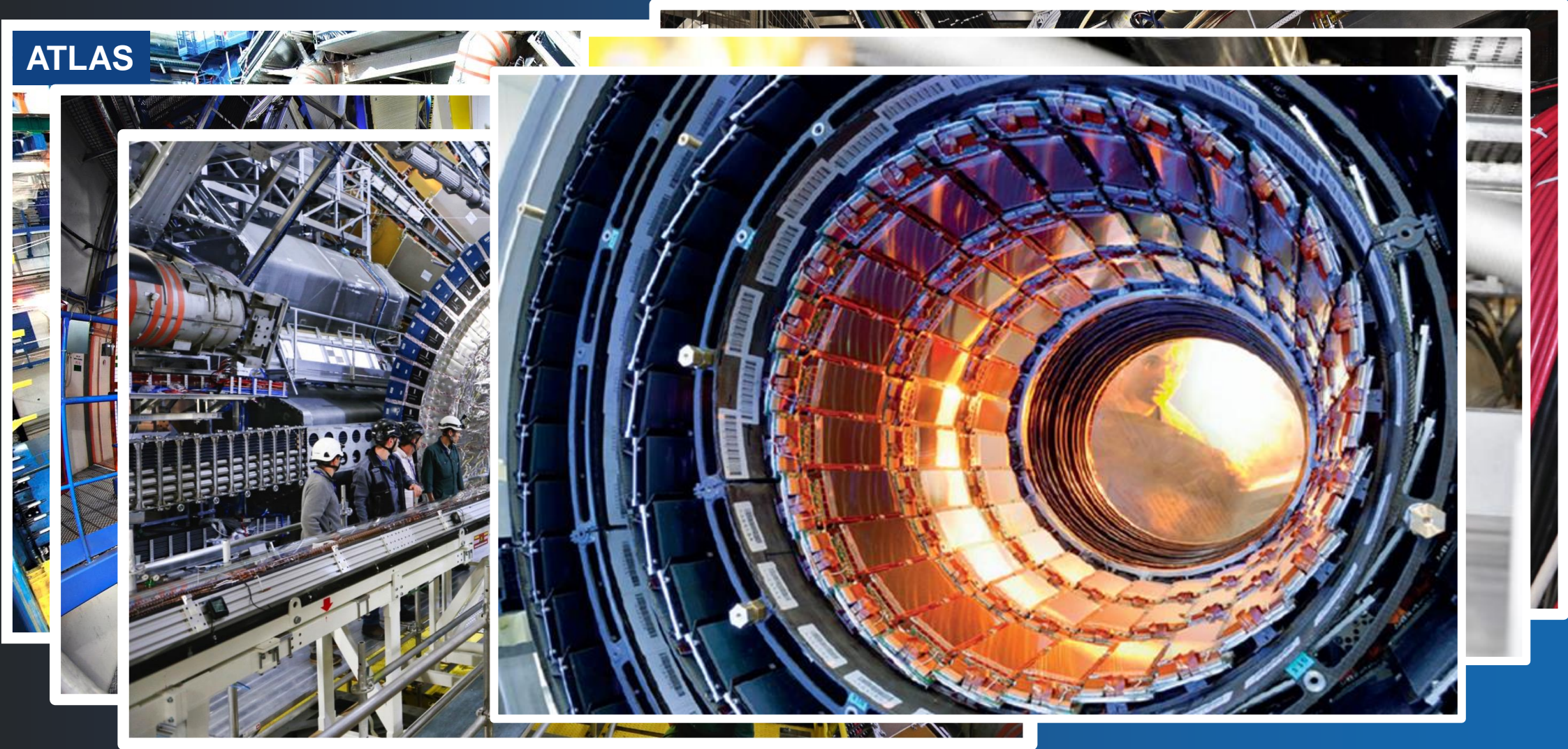
Hasta 10^9 p-p colisiones/segundo
Sucesos H: 100/año



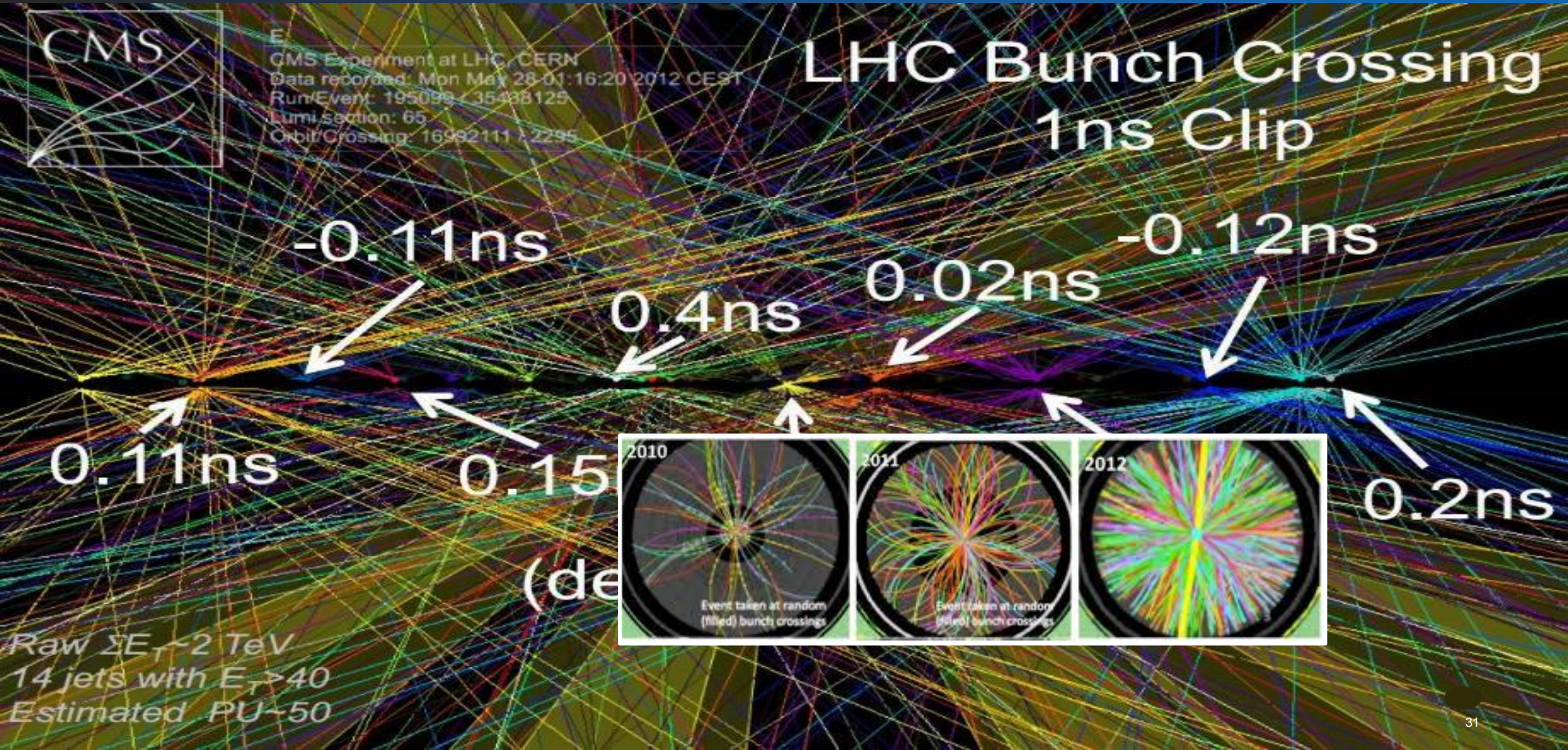
Configuración del detector CMS



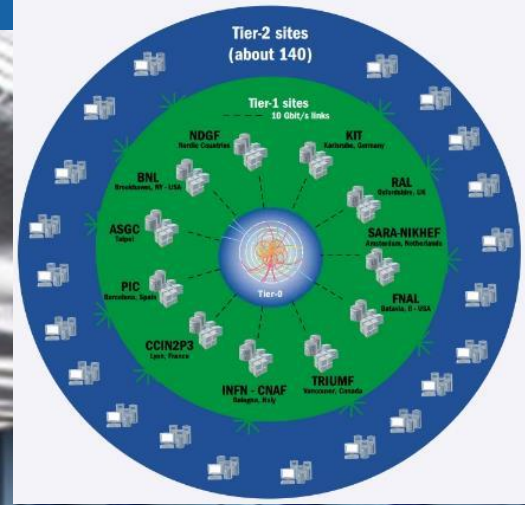
Imágenes de los detectores de partículas



Superposición de trazas por eventos simultáneos

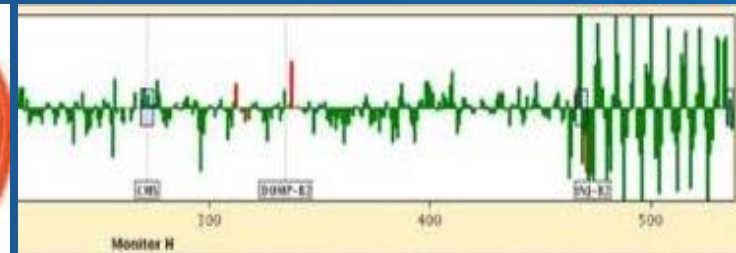
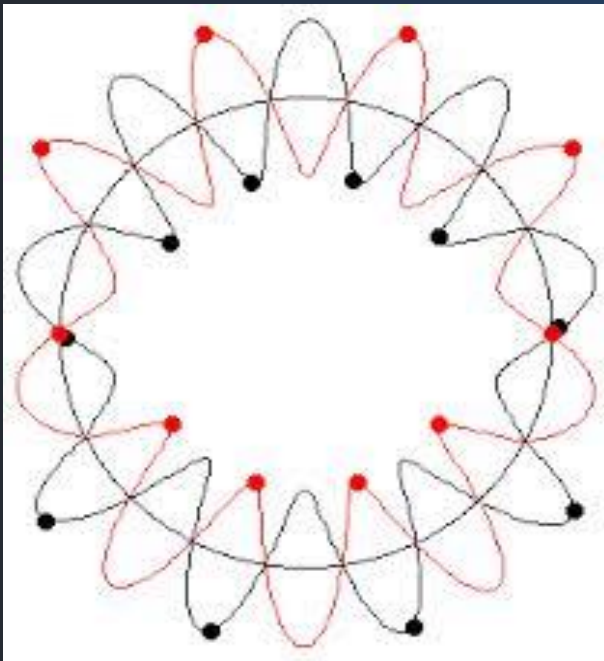


El Centro de Calculo del CERN

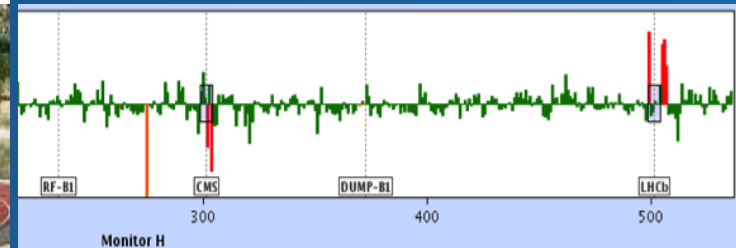


La otra vida de los protones: perdidos en camino...

- Los protones tienen trayectorias complejas dentro de los paquetes
- Tiene la complejidad de una pista de atletismo...
- ...con deformaciones locales...
- Una fracción de esos protones queda fuera de la zona de aceptación magnética y se pierden dentro de los imanes...

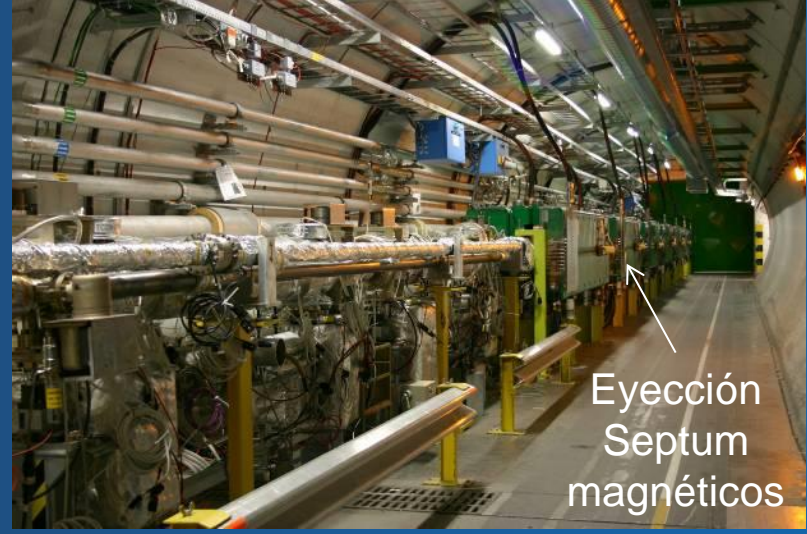
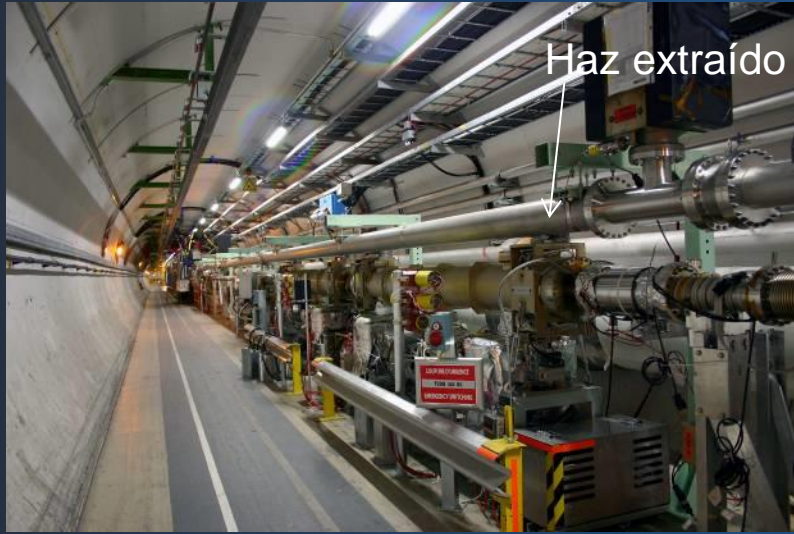


Órbita sin optimizar

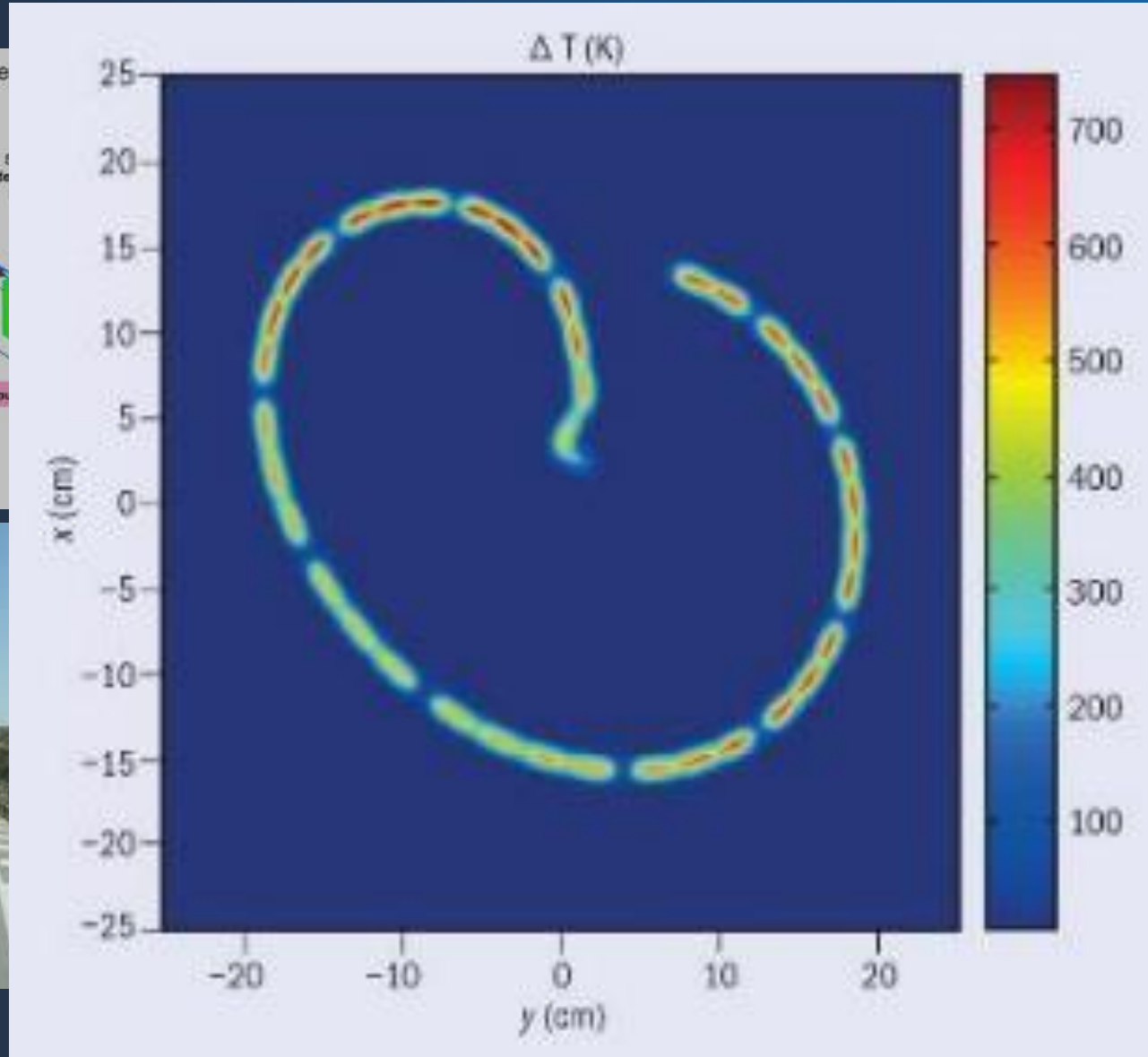
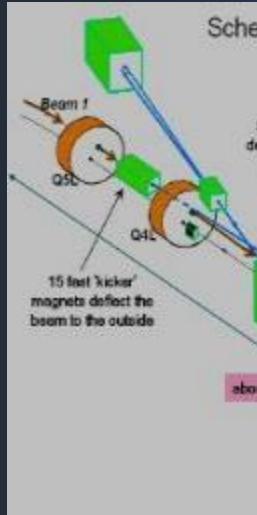


Órbita optimizada

La otra vida de los protones: áreas de frenado...



La otra vidas de los protones: áreas de frenado...



¡Dilución necesaria para evitar fundir el bloque!

Traza del impacto del tren de paquetes en el bloque de grafito equivalente a un AVE de 400 t lanzado a 150 km/h



Vida y muerte de un Protón en el LHC...

Biografía de los protones del LHC

Nacen de la ionización de un átomo de hidrógeno

Son acumulados en la forma de un tren de paquetes utilizando una gimnasia radiofrecuencia

Se aceleran surfeando con ondas radiofrecuencias...

Utilizando una cadena de aceleradores cada vez mas potentes

Se inyectan en el LHC tras un camino nada recto

Se acumulan una vez más el anillo del LHC hasta llenarlo

Son acelerados de nuevo hasta energías nunca alcanzadas

Desaparecen mediante colisiones con otros protones

600 millones de colisiones por segundo

20 colisiones solamente en cada cruce

Pocos generarán un Bosón de Higgs

La mayoría no llegarán a generar colisiones y se perderán mediante otros procesos.

Futuros Aceleradores: ¿4 vectores de I+D+i?

El CERN responde a la Estrategia Europea

High Luminosity HL-LHC

Diagram illustrating the High Luminosity LHC (HL-LHC) upgrade, showing various components and their roles in the accelerator system.

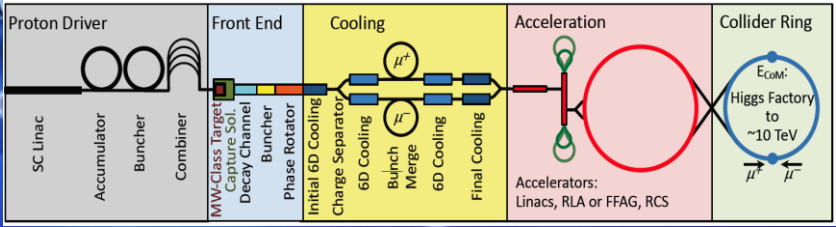
High Energy FCC and HE-LHC, as technology demonstrator

Map showing the proposed locations for the Future Circular Collider (FCC) and the High Energy LHC (HE-LHC) in Europe, highlighting the technology demonstrator role.

High Energy and Precision Physics CLIC

Map showing the proposed locations for the Compact Linear Collider (CLIC) in Europe, highlighting the High Energy and Precision Physics focus.

Muon accelerator



Futuros Aceleradores: ¿4 vectores de I+D+i?

El CERN
responde a la
Estrategia Europea



Connection to LHC (UL)

Service gallery (UR)



SC Links



DFM



DFX

D1

CP



Q3

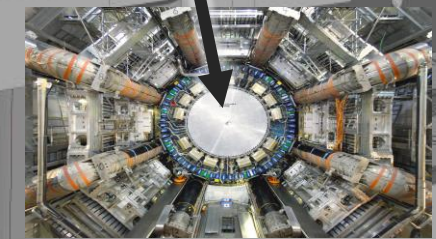
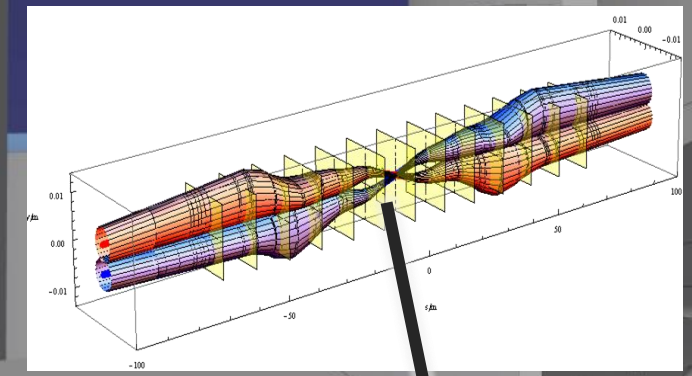


Q2b

Q2a

Q1

TAXS



Futuros Aceleradores: ¿4 vectores de I+D+i?

El CERN
responde a la
Estrategia Europea

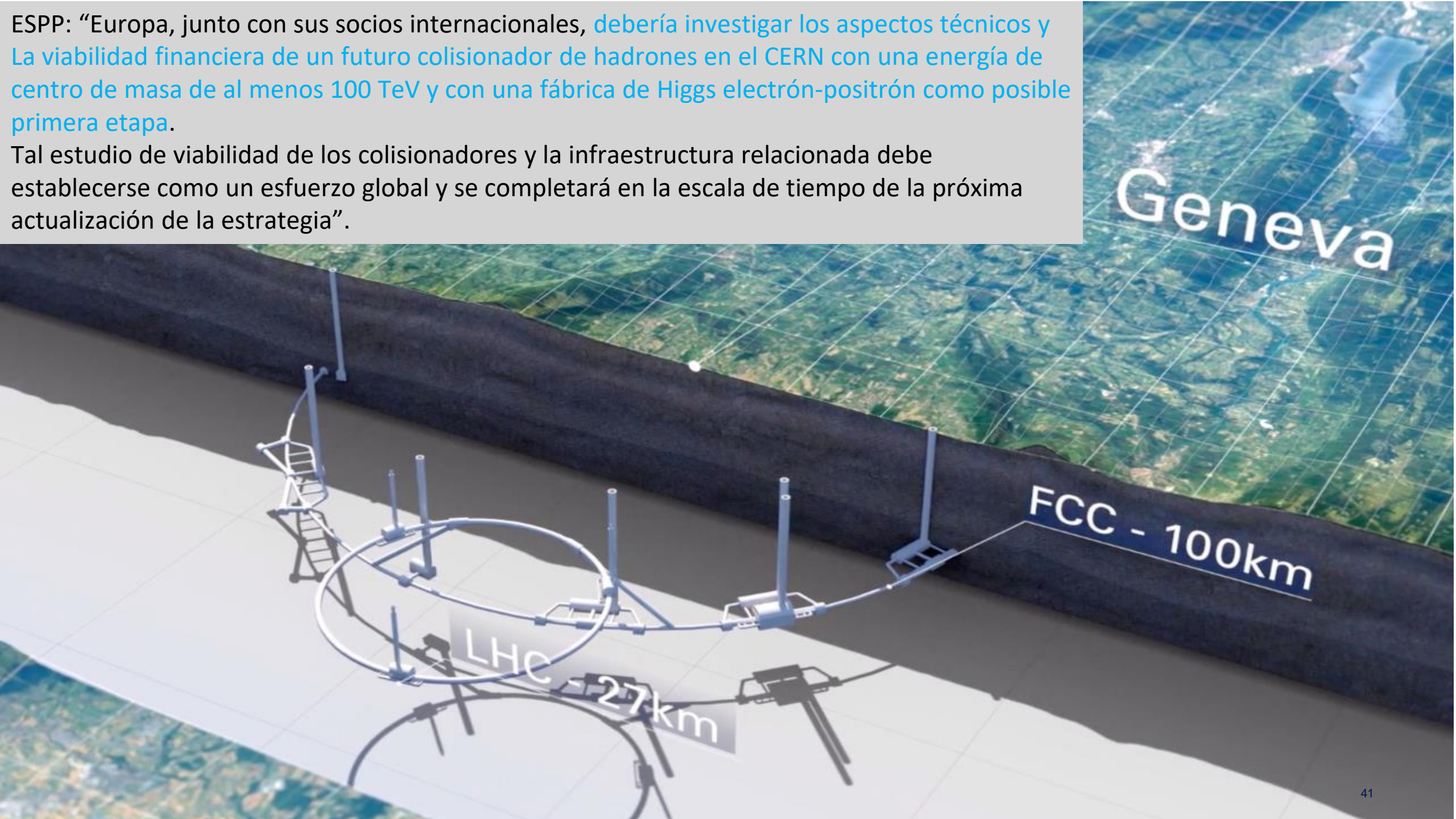


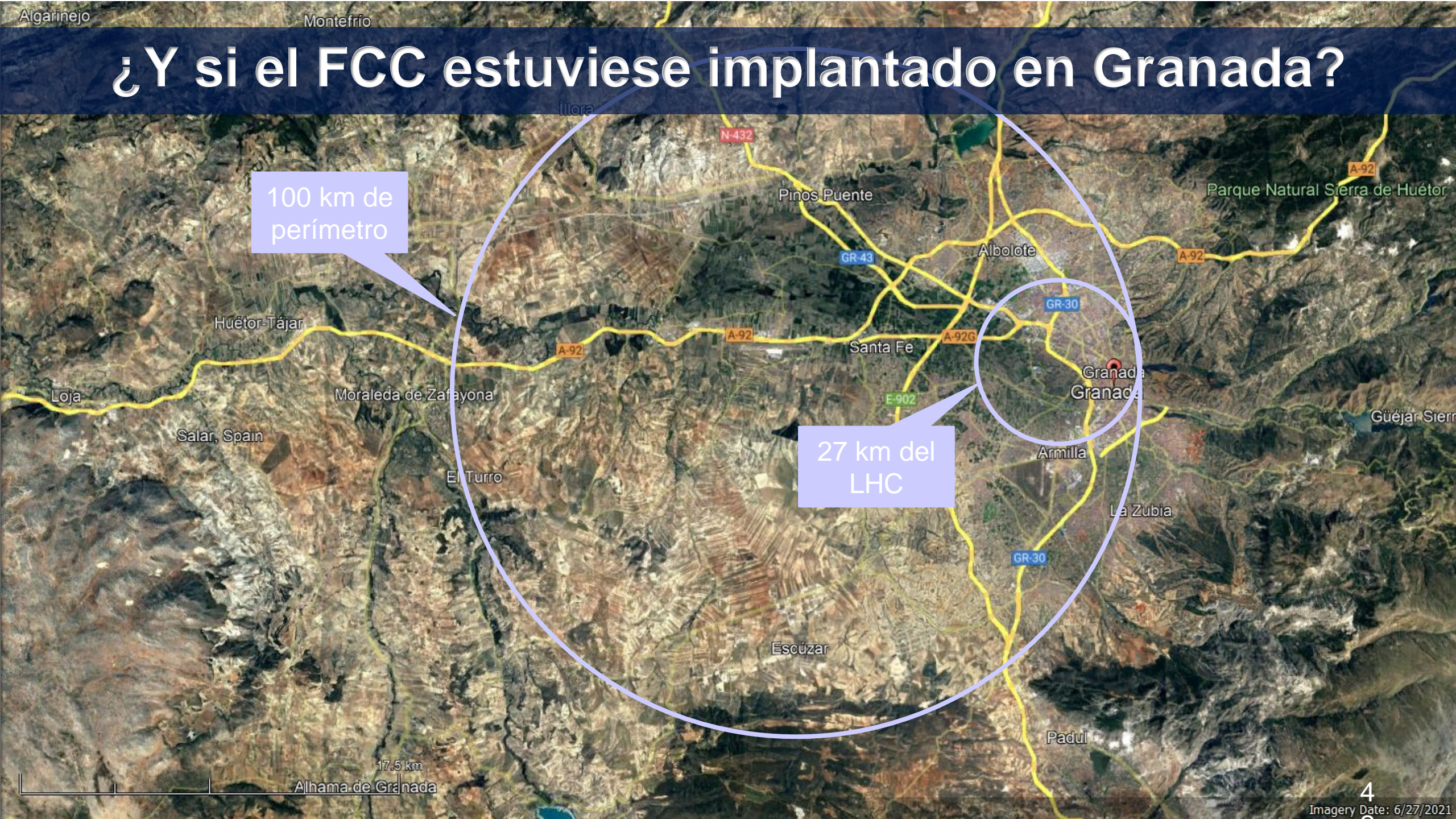
High Energy
FCC and
HE-LHC, as
technology demonstrat

The map shows the location of the LHC (Large Hadron Collider) in Europe, with a schematic of a 60-100 km long tunnel. The map includes labels for 'LHC', 'Schematic of an 60 - 100 km long tunnel', and various European countries like France, Switzerland, and Germany. The tunnel is represented by a dashed orange line.

ESPP: “Europa, junto con sus socios internacionales, debería investigar los aspectos técnicos y la viabilidad financiera de un futuro colisionador de hadrones en el CERN con una energía de centro de masa de al menos 100 TeV y con una fábrica de Higgs electrón-positrón como posible primera etapa.

Tal estudio de viabilidad de los colisionadores y la infraestructura relacionada debe establecerse como un esfuerzo global y se completará en la escala de tiempo de la próxima actualización de la estrategia”.





¿Y si el FCC estuviese implantado en Granada?

100 km de
perímetro

27 km del
LHC

17.5 km
Alhama de Granada

¡Sostenibilidad y medioambiente serán prioridades!



About CERN

>17 900 people

CERN employs around **3600** people and some **12 500** scientists from around the world use the Laboratory's facilities. The remainder is largely made up of associates and students (page 8).

Energy

1251 GWh

CERN consumed **1251 GWh** of electricity and **64.4 GWh** of fossil fuel. The Laboratory commits to limiting rises in electricity consumption to **5%** up to the end of **2024**, while delivering significantly **increased performance** of its facilities (page 12).

Emissions

223 800 tCO_{2e}

CERN's direct greenhouse gas emissions were **192 100 tonnes of CO₂ equivalent, tCO_{2e}**. Indirect emissions arising from electricity consumption were **31 700 tCO_{2e}**. CERN's immediate target is to reduce direct emissions by **28%** by the end of **2024** (page 14).

Ionising Radiation

< 0.02 mSv

People living in the vicinity of CERN received an effective dose of between **0.7** and **0.8** milliSieverts, mSv, from natural sources. CERN's activities added under **0.02 mSv** to this, less than **3%** of the naturally occurring background (page 16).

Waste

56% recycled

CERN eliminated **5808 tonnes** of non-hazardous waste, of which **56%** was recycled, and **1358 tonnes** of hazardous waste. CERN's objective is to increase the current recycling rate (page 18).

AT A GLANCE

CERN AND THE ENVIRONMENT

IN 2018

Noise

70 dB(A)

CERN has invested resources to keep noise at its perimeters below **70 dB(A)** during the day and **60 dB(A)** at night. This corresponds to the level of conversational speech (page 17).

Environmental Compliance

146 monitoring stations

CERN has a state-of-the-art environmental monitoring system consisting of **146 monitoring stations**. The Organization reports **quarterly** on environmental issues to Host State authorities. **No serious environmental incidents** were recorded in **2018** (page 23).

Biodiversity

15 species of orchids

There are **15 species** of orchids growing on CERN's sites. CERN land includes **258 hectares** of cultivated fields and meadows, **136 hectares** of forest and three wetlands (page 22).

Water and Effluents

3477 megalitres

CERN drew **3477 megalitres** of water, mostly from Lake Geneva. The Laboratory commits to keeping its increase in water consumption **below 5%** up to the end of **2024**, despite a growing demand for water cooling of upgraded facilities (page 20).

Knowledge Transfer

18 domains

CERN's **18 technology domains** have several environmental applications including reducing air and water pollution, environmental monitoring, and more efficient energy distribution using superconducting technology (page 24).



- **La estrategia del CERN en materia de medioambiente y sostenibilidad** se basa en tres líneas de actuación:
 - Reducir el impacto del laboratorio en el medio ambiente;
 - Reducir el consumo de energía y aumentar la recuperación de energía;
 - Desarrollar tecnologías que puedan ayudar a la sociedad a preservar el planeta.
- Las **organizaciones científicas/de investigación** suelen ser “especiales”, pero sus desafíos ambientales y de sostenibilidad son similares;
- **No habrá ningún proyecto científico a gran escala en el futuro sin un componente de gestión energética**, un incentivo para la eficiencia energética y la recuperación de energía entre los principales objetivos.
- Las instalaciones científicas sostenibles (como los grandes aceleradores) requieren que la **sostenibilidad se convierta en un factor principal para las decisiones de diseño** y los escenarios operativos.

Ciencias con punto común ¡la Tecnología!
La Física de Partículas



Sala de Control LEP - 1989

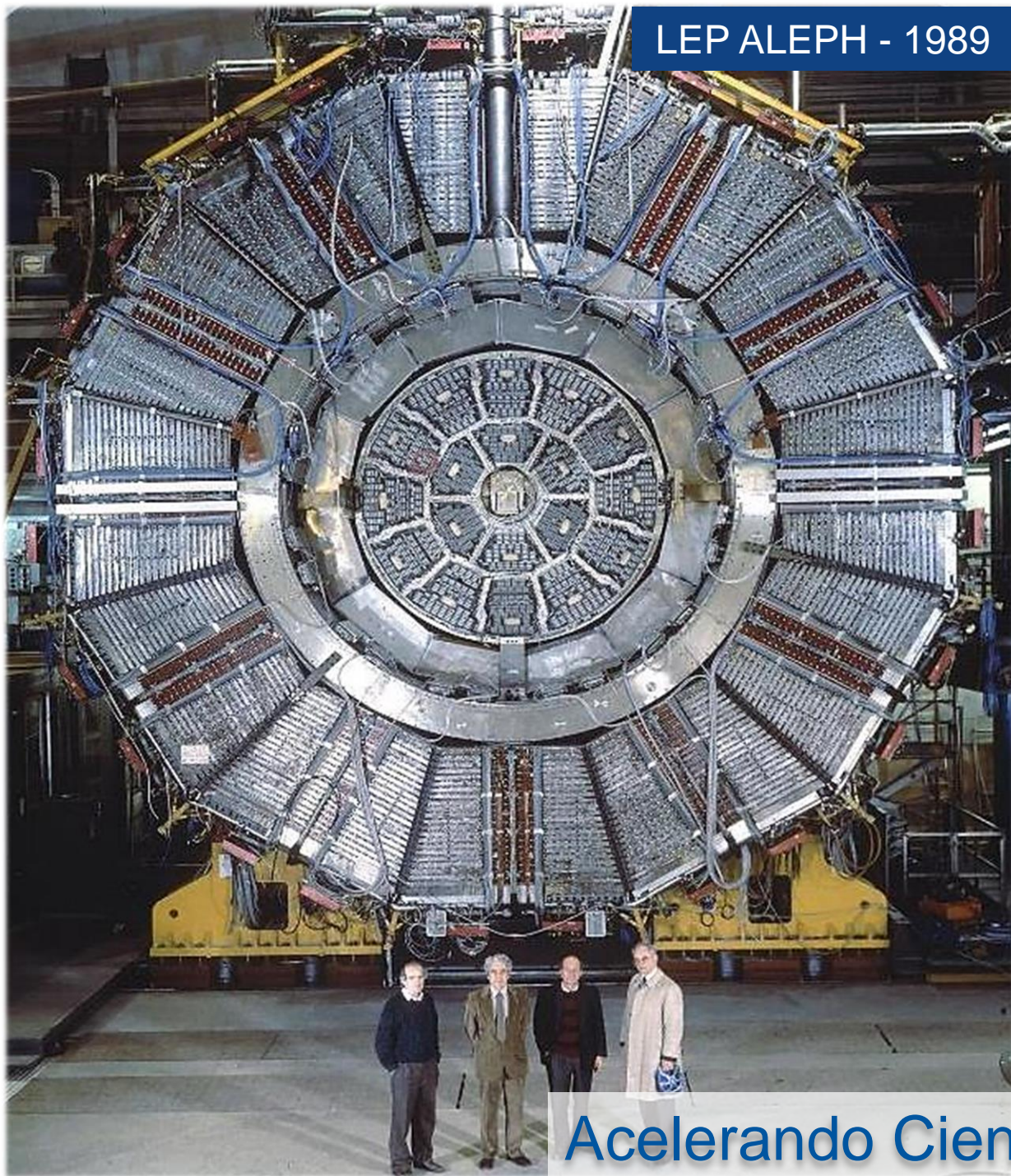


Sala de Control LHC - 2007

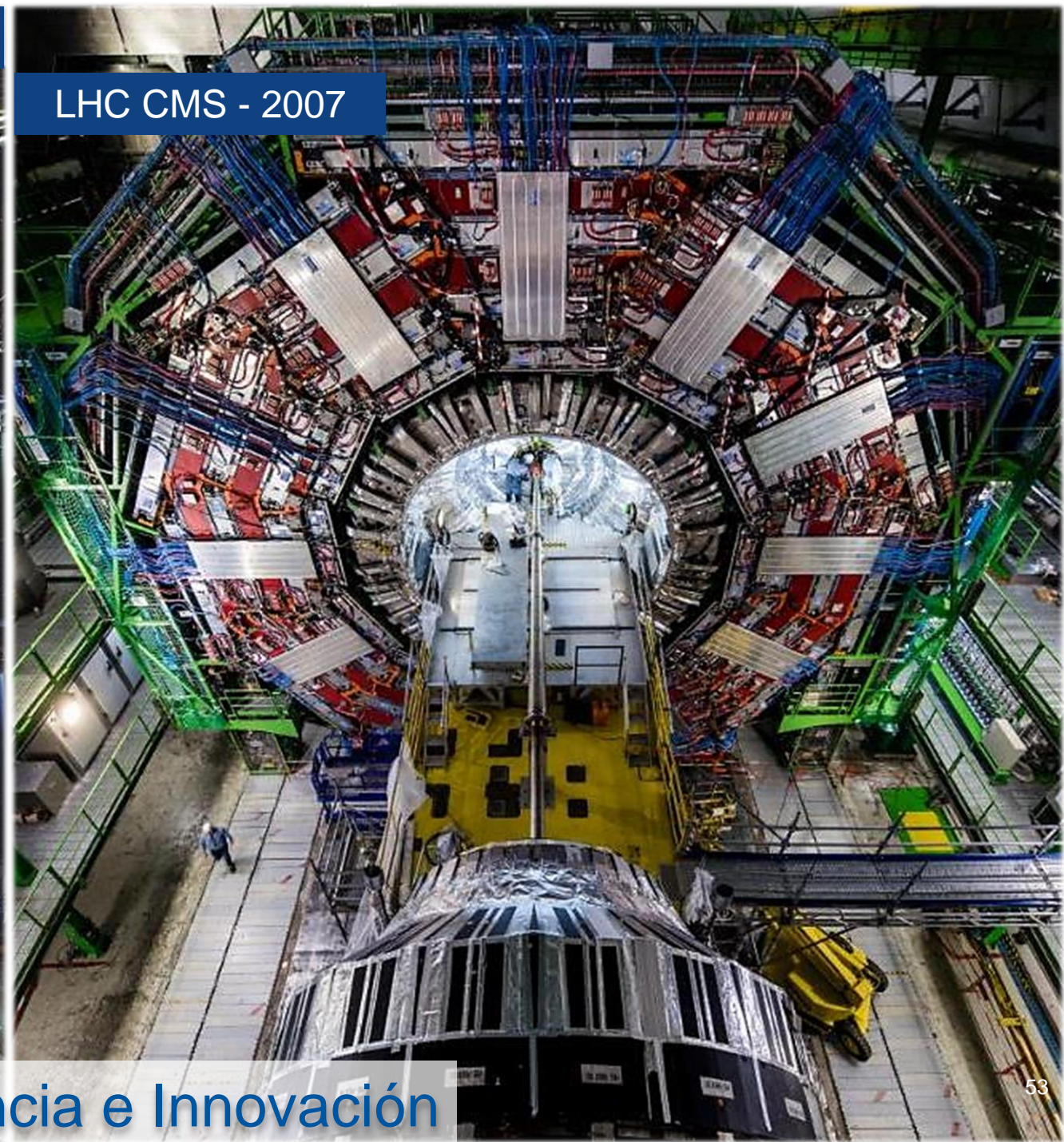


Acelerando Ciencia e Innovación

LEP ALEPH - 1989



LHC CMS - 2007



Acelerando Ciencia e Innovación

Túnel del LEP - 1989

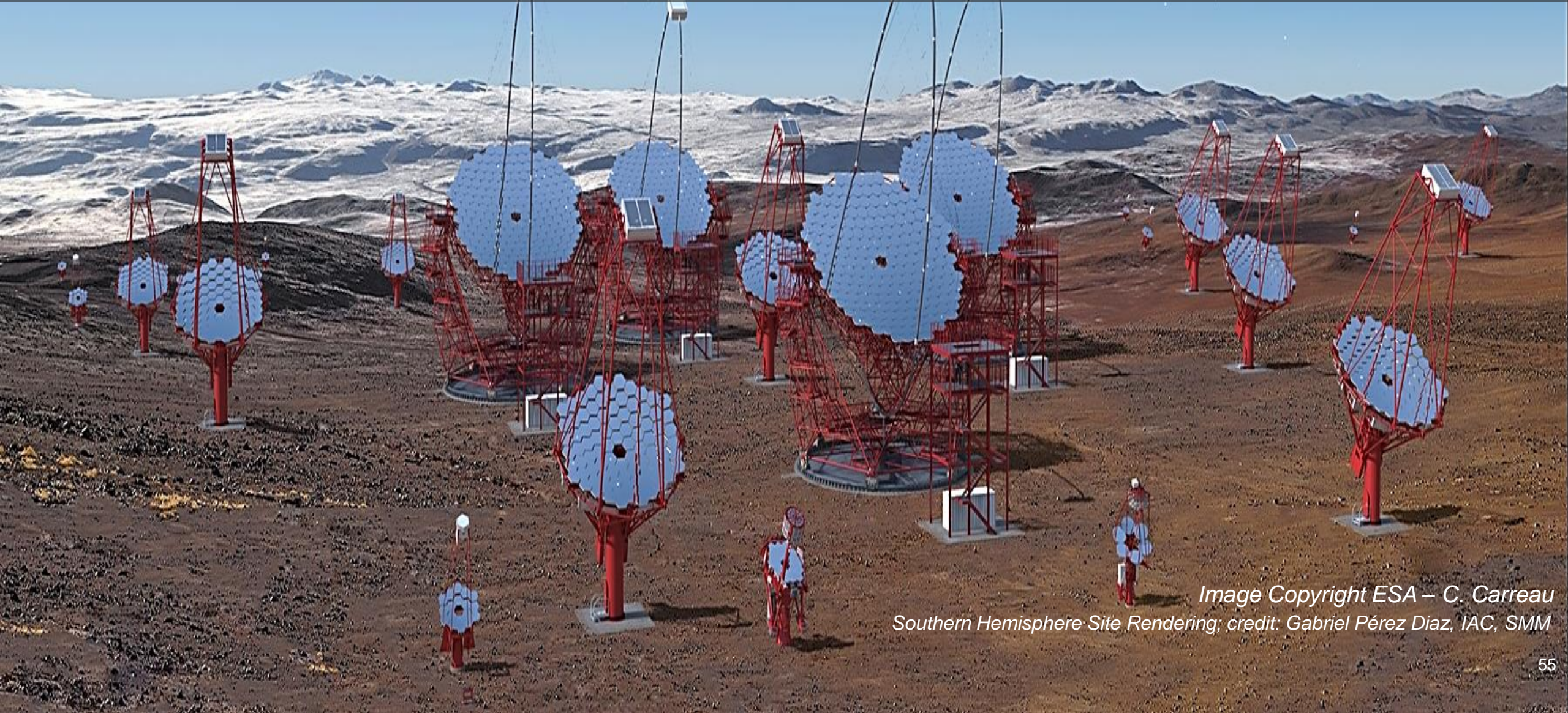


Túnel del LHC - 2007



Acelerando Ciencia e Innovación

Ciencias con punto común ¡la Tecnología! Astrofísica



*Image Copyright ESA – C. Carreau
Southern Hemisphere Site Rendering; credit: Gabriel Pérez Díaz, IAC, SMM*

Ciencias con punto común ¡la Tecnología! Ondas Gravitacionales



*Southern Hemisphere Site Rendering; credit: Gabriel Pérez Díaz, IAC, SMM
Image Copyright ESA – C. Carreau
Credit: The Virgo collaboration/CCO 1.0*

Ciencias con punto común ¡la Tecnología! Antimateria

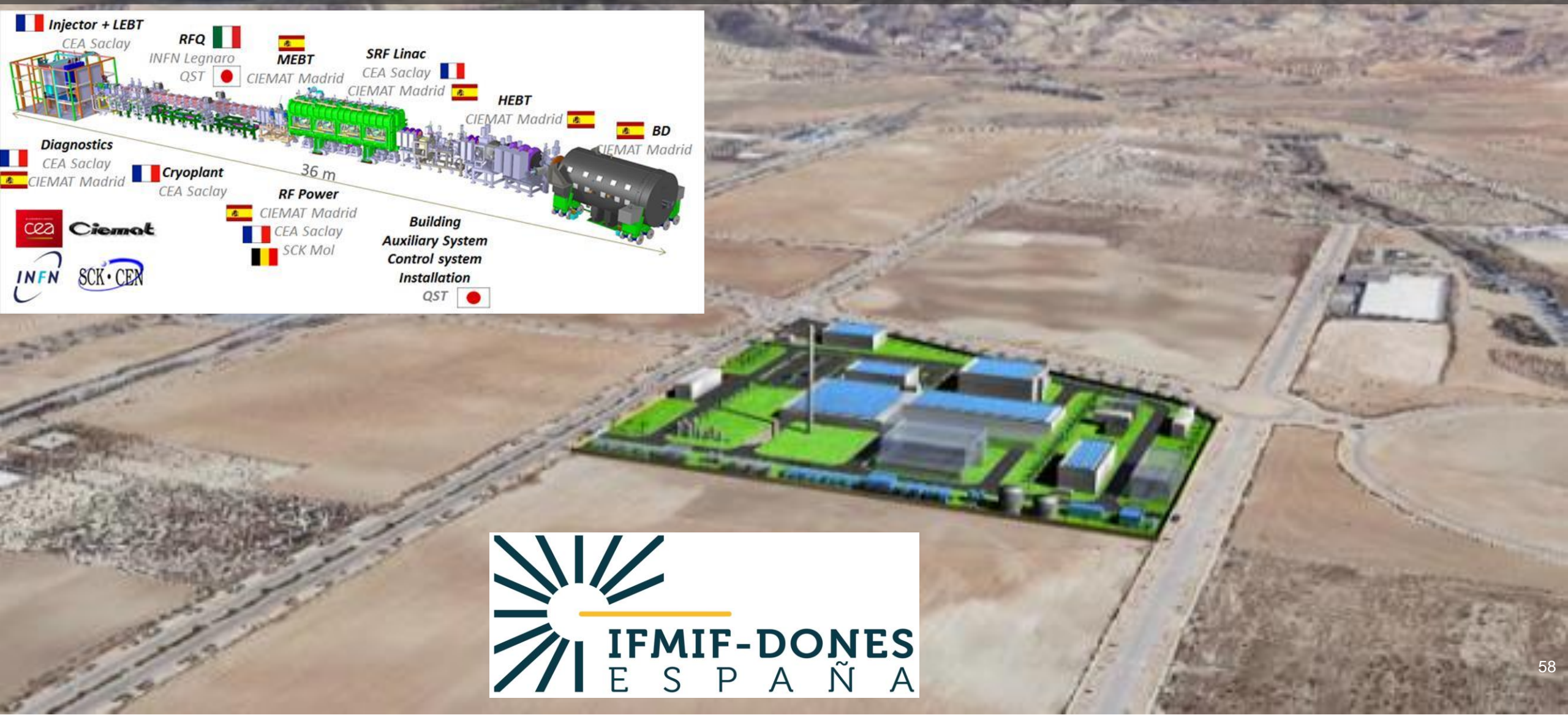
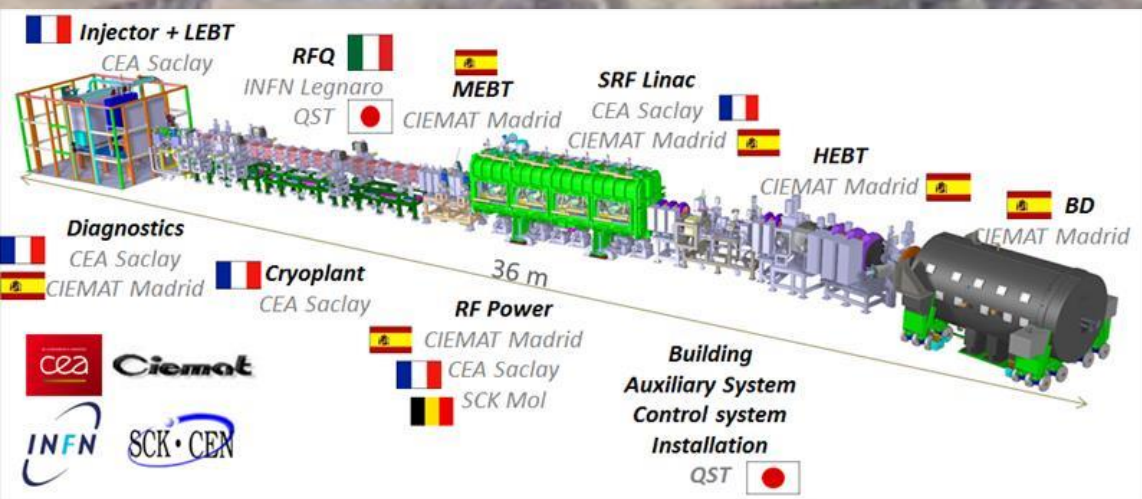
credit: NASA



Image Copyright ESA – C. Carreau

Ciencias con punto común ¡la Tecnología! Fusión

credit: NASA



- Un resumen en imagenes -

El Futuro...

¡es vuestro!

- La observación os decide donde estáis...
- La derivada primera os indica la tendencia...
- La 2^{nda} derivada indica la aceleración.
¡Ese debe ser vuestro indicador referente!

La Educación es un derecho pero la
actualización del saber es más que un activo...

... es un **Valor** que debéis preservar a
lo largo de vuestra vida profesional.

«Ser un Líder es tener visión»



17 Mayo 1954

¡La bobina del imán del sincrociclotrón!

¿Preguntas?

CERN

Accelerating Science and Innovation