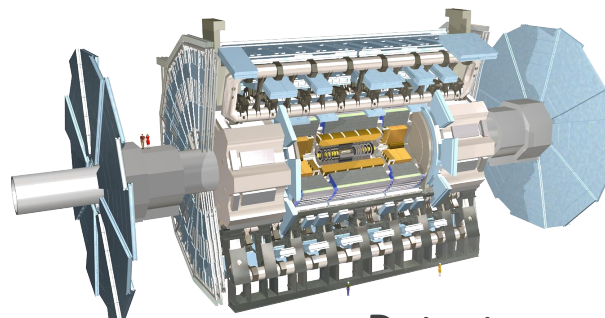
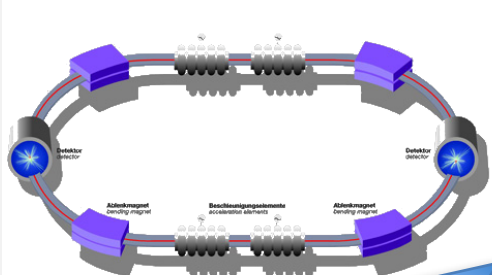


# Futuros Aceleradores y Detectores

Una Introducción indolora

# El Equipo Imprescindible del Físico de Partículas

Fuente de partículas



Detector



Computación  
(Ver Charla de J. Salt)

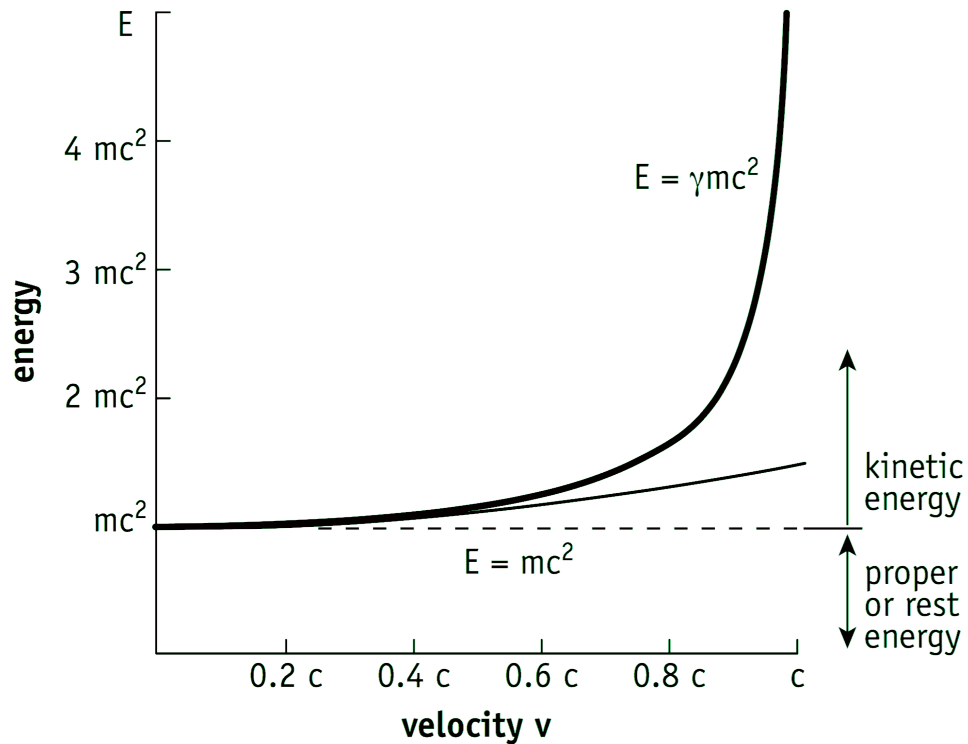




# Fuentes “controladas” de partículas

- ✓ La física nueva, o mejor, que no somos capaces de ver
  - O bien está por encima de la energía que somos capaces de producir
  - O bien es improbable, y tenemos que aumentar la luminosidad
- ✓ Qué le pedimos pues a un acelerador ?
  - Energía de la cual crear las nuevas partículas
  - Luminosidad para ver lo improbable....

# Los aceleradores



Cuando se alcanzan velocidades relativistas, estamos hablando más de un “energizador” que de un acelerador puesto que ya van a casi la velocidad de la luz...

# La Fuerza de Lorentz

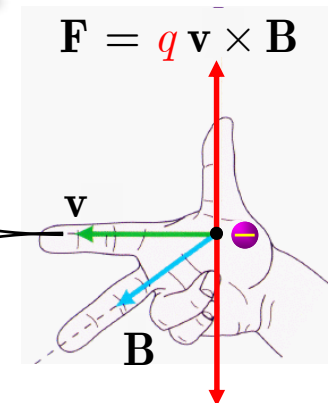
*La fuerza que experimenta una partícula cargada en el seno de un campo electromagnético es la F. de Lorentz*

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = q \left( \vec{E} + \frac{\vec{v}}{c} \times \vec{B} \right)$$

Sólo E puede  
cambiar la  
energía

$$\begin{aligned} dW &= \vec{F} \cdot d\vec{s} \\ &= \vec{F} \cdot \vec{v} dt \\ &= q \left( \vec{E} + \frac{\vec{v}}{c} \times \vec{B} \right) \cdot \vec{v} dt \\ &= q \vec{E} \cdot \vec{v} dt \end{aligned}$$

El campo magnético  
cambia la trayectoria



$$\frac{m v^2}{R} = q v B \rightarrow p = q B R$$

Fuerza centrípeta da el radio de curvatura



# La Fuerza de Lorentz

La fuerza que experimenta una partícula cargada en el seno de un campo electromagnético es la F. de Lorentz

Sólo E puede  
cambiar la  
energía

$$dW = \vec{F} \cdot \vec{v} dt$$

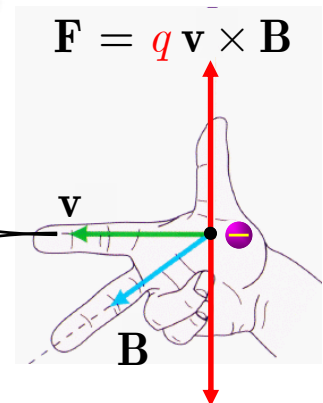
$$= q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{v} dt$$

$$= q \vec{E} \cdot \vec{v} dt$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = q \left( \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} \right)$$

**PARA AUMENTAR LA ENERGÍA DE LAS PARTÍCULAS NECESITAMOS CAMPOS ELÉCTRICOS MUY ALTOS**

El campo magnético  
cambia la trayectoria



$$\frac{m v^2}{R} = q v B \rightarrow p = q B R$$

Fuerza centrípeta da el radio de curvatura

# La Fuerza de Lorentz

La fuerza que experimenta una partícula cargada en el seno de un campo electromagnético es la F. de Lorentz

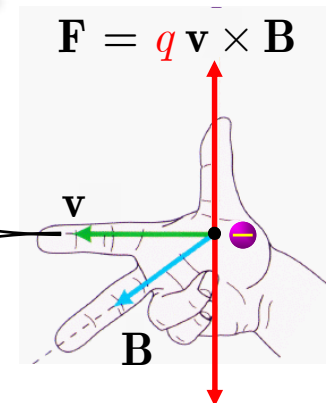
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = q \left( \vec{E} + \frac{\vec{v}}{c} \times \vec{B} \right)$$

Sólo E puede  
cambiar la  
energía

$$\begin{aligned} dW &= \vec{F} \cdot d\vec{s} \\ &= q (\vec{E} + \frac{\vec{v}}{c} \times \vec{B}) \cdot \vec{v} dt \\ &= q \vec{E} \cdot \vec{v} dt \end{aligned}$$

**PARA CAMBIAR LA TRAYECTORIA DE LAS PARTÍCULAS NECESITAMOS CAMPOS MAGNÉTICOS MUY ALTOS**

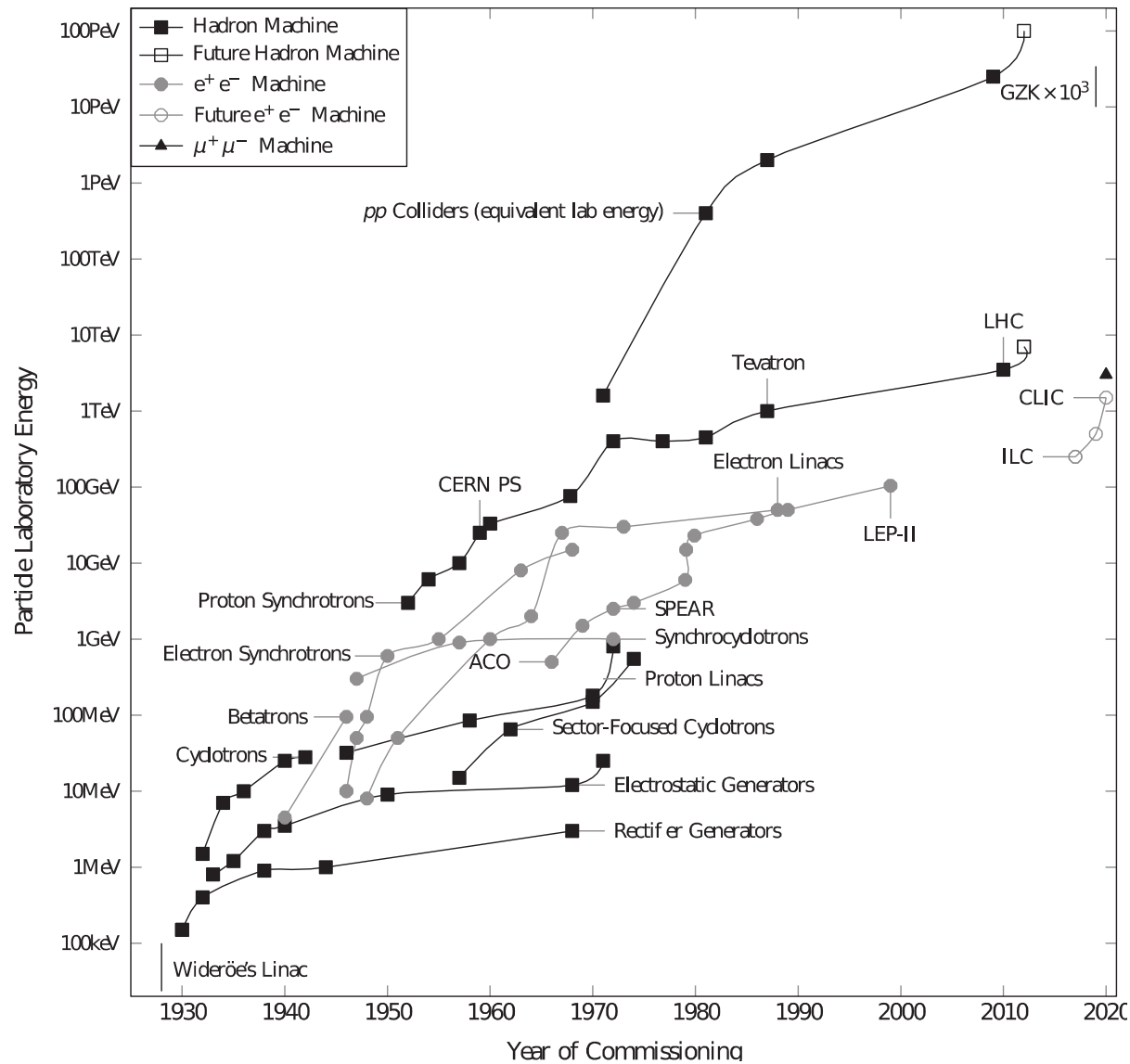
Un campo magnético  
cambia la trayectoria



$$\frac{m v^2}{R} = q v B \rightarrow p = q B R$$

Fuerza centrípeta da el radio de curvatura

# El gráfico de Livingstone

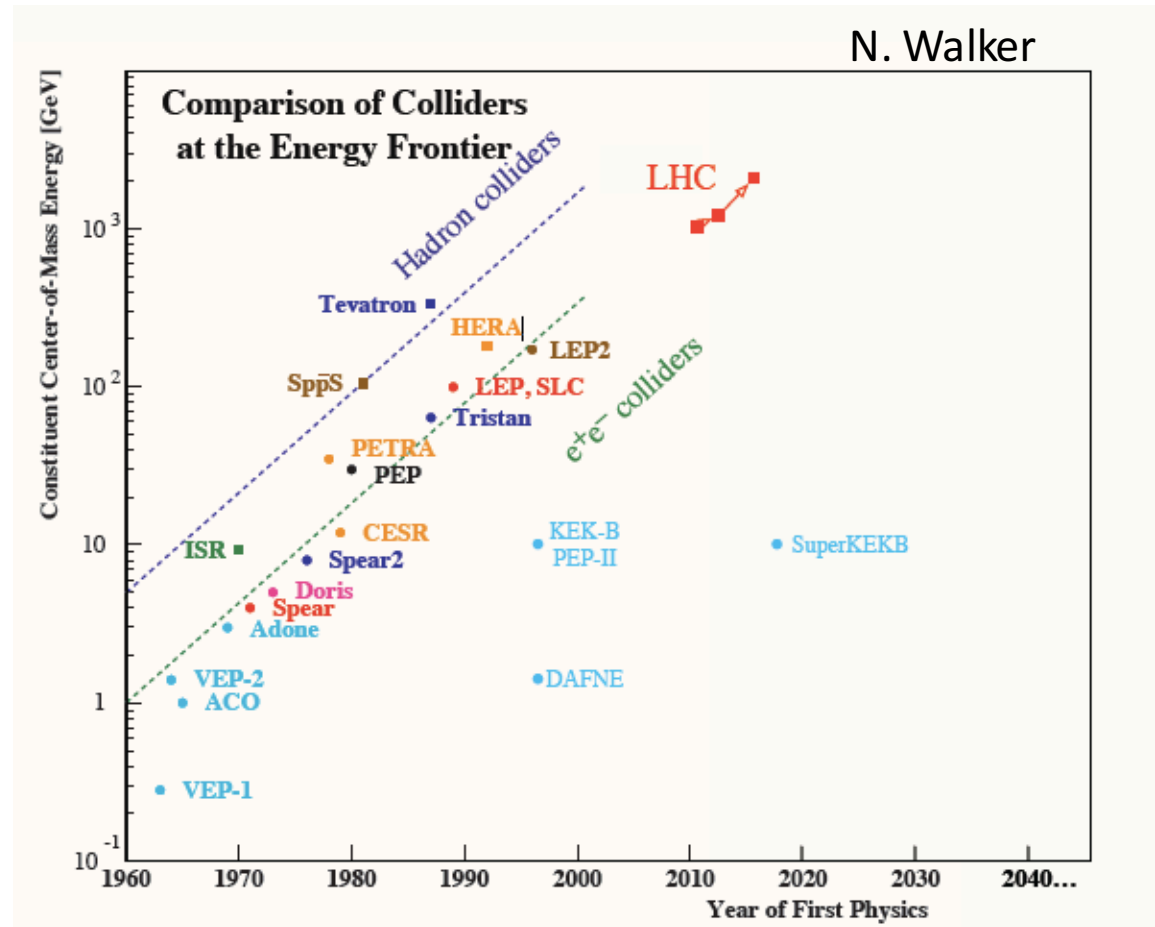




# La Frontera de la Energía

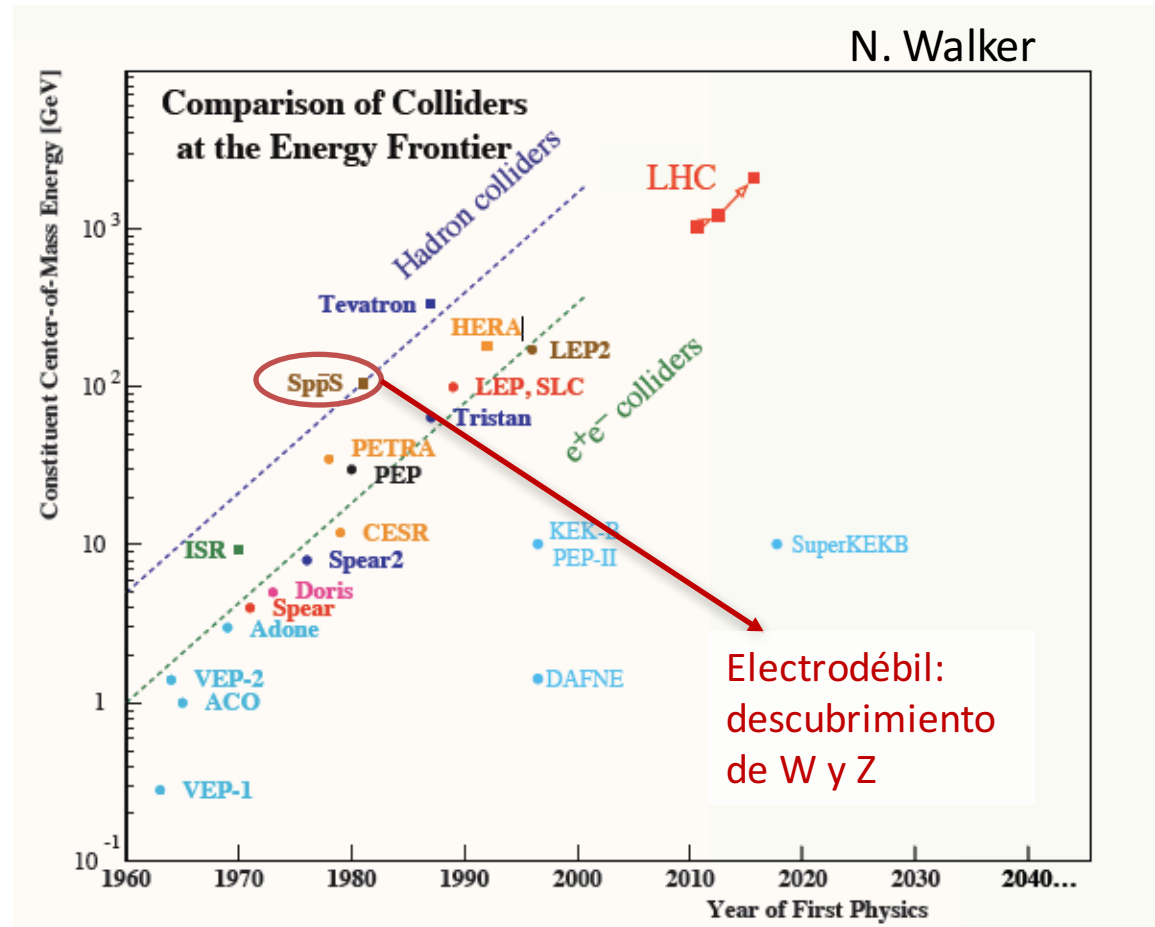
Desde el último cuarto del siglo pasado, la energía proporcionada se incrementa exponencialmente.

También crece el tiempo entre experimentos...



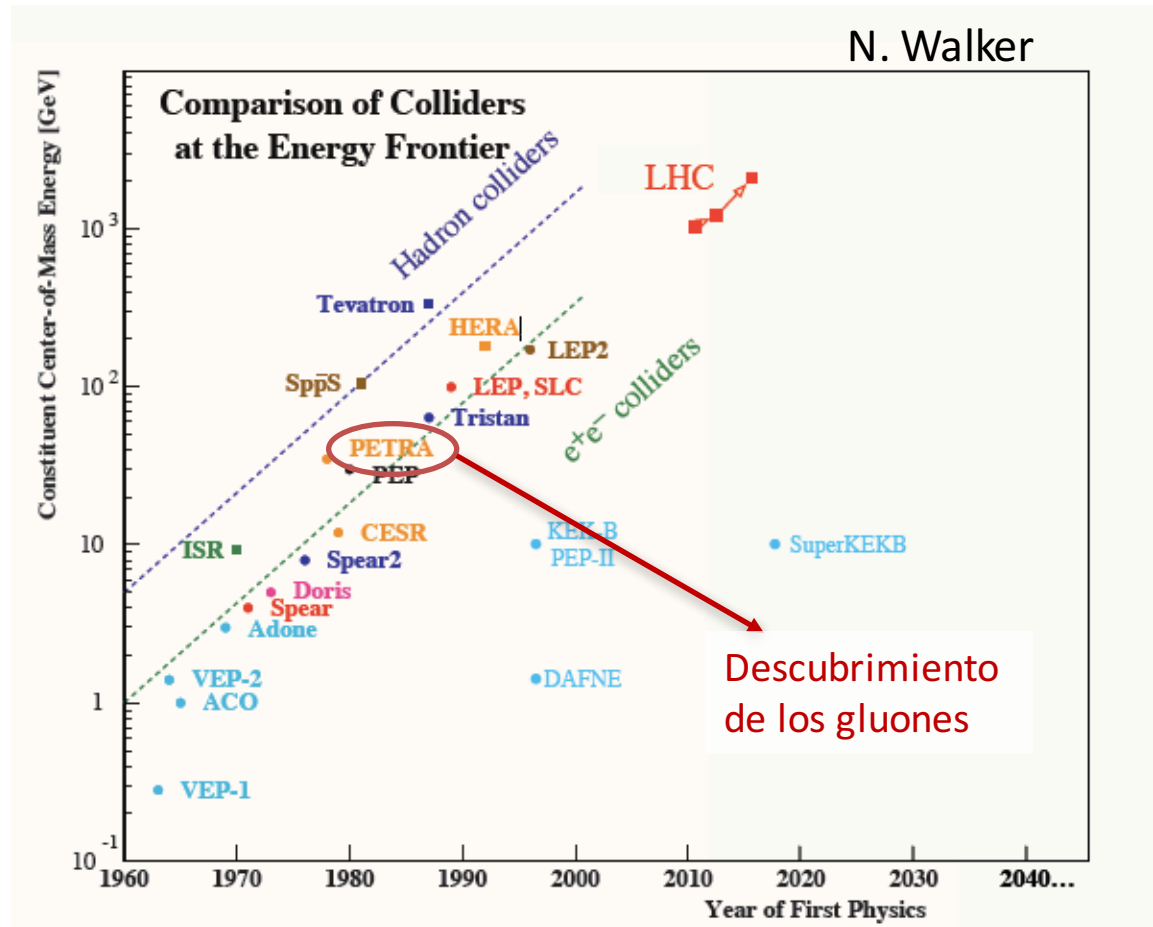
# La Frontera de la Energía

Muchos de los grandes descubrimientos los han proporcionado los aceleradores



# La Frontera de la Energía

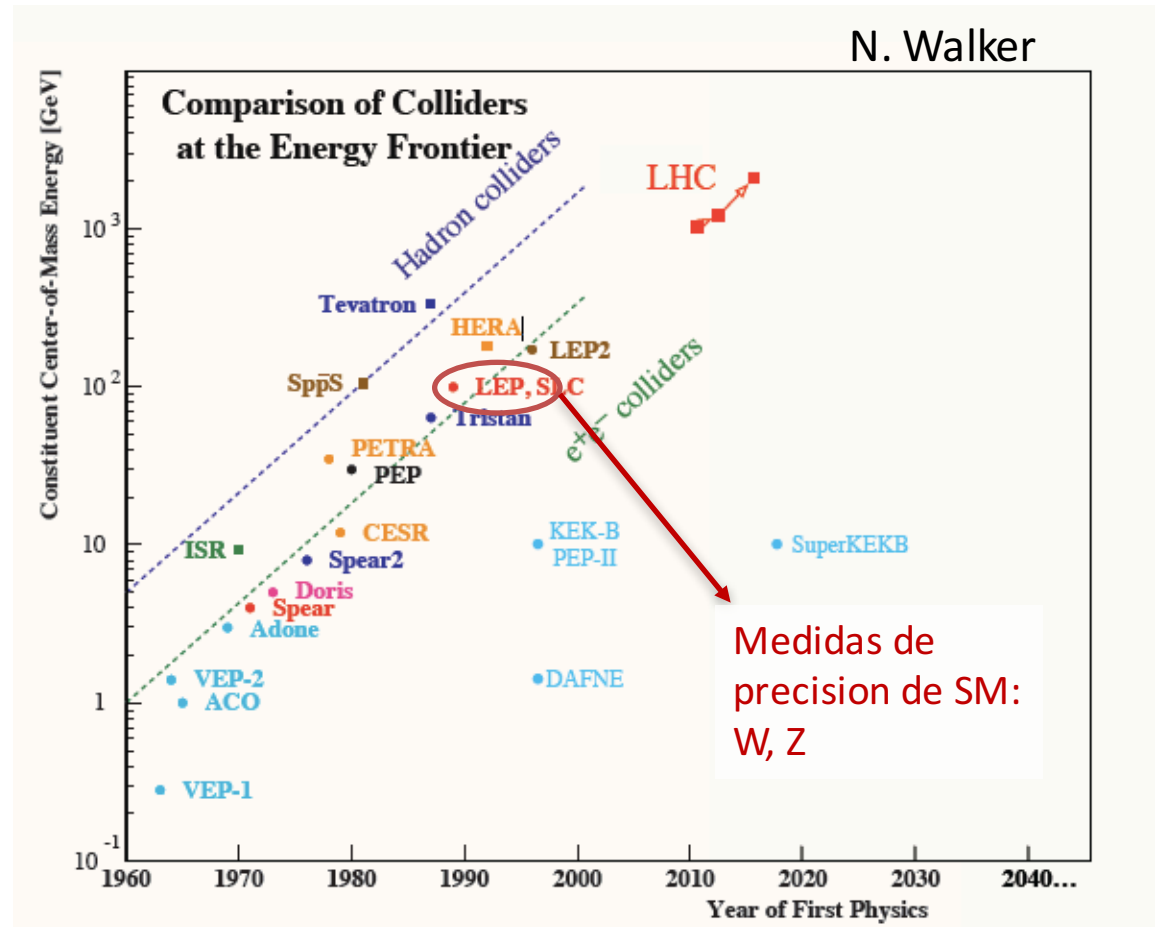
Muchos de los grandes descubrimientos los han proporcionado los aceleradores





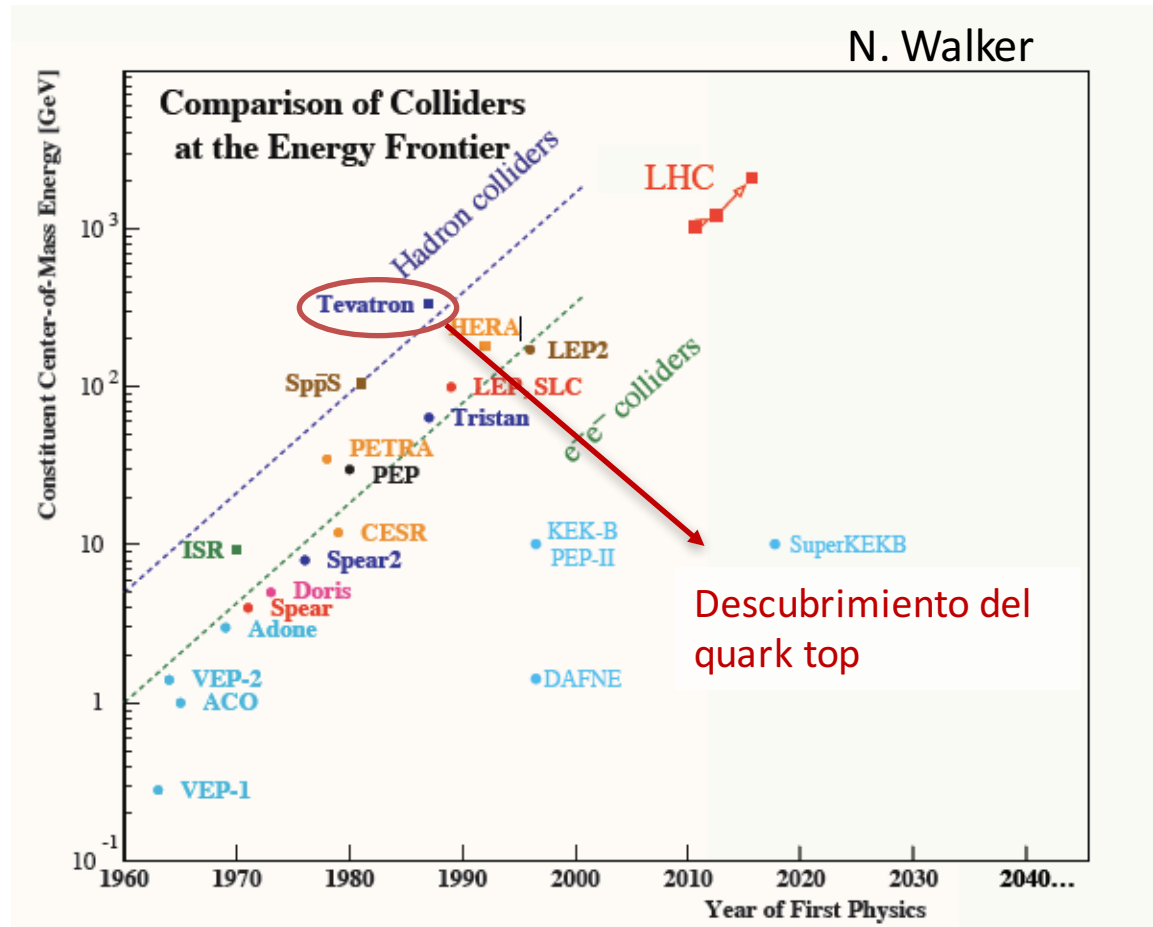
# La Frontera de la Energía

Muchos de los grandes descubrimientos los han proporcionado los aceleradores



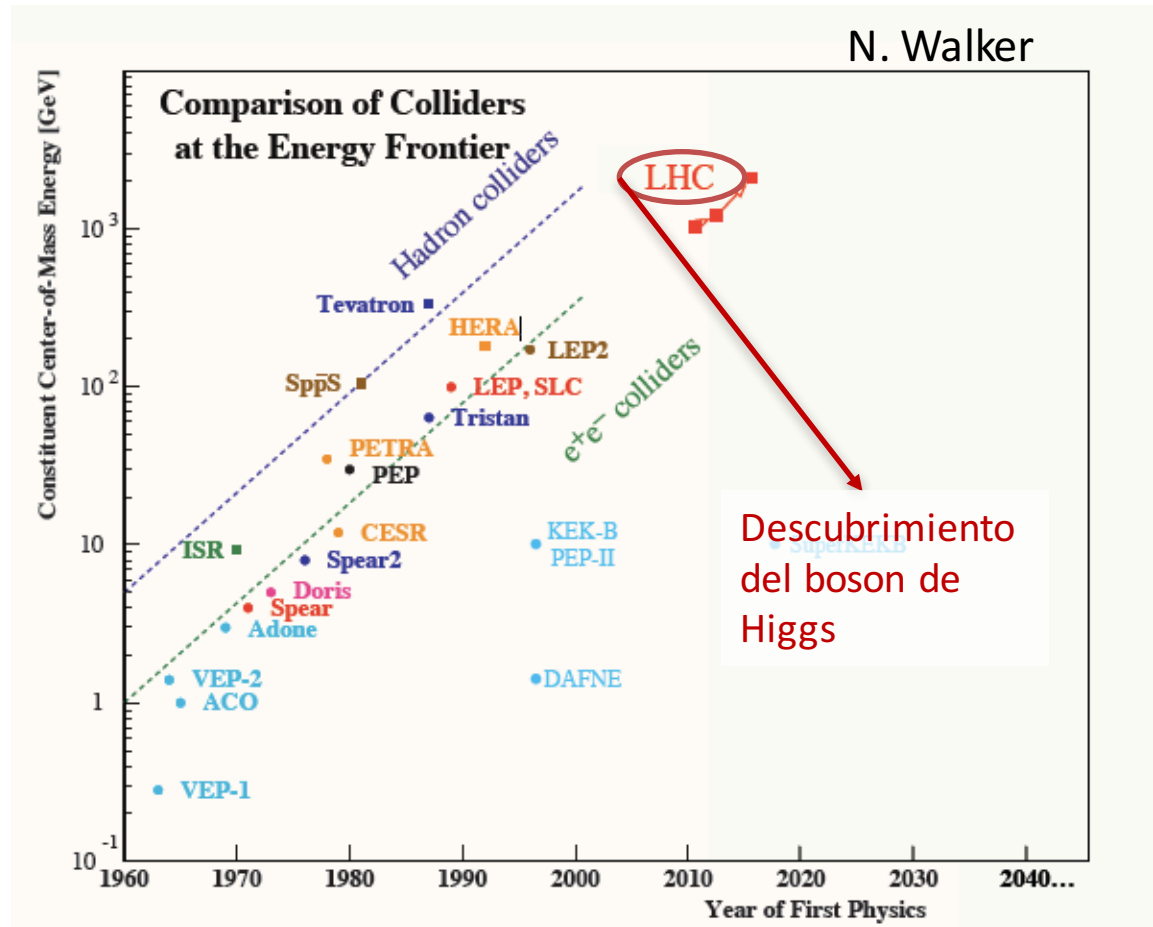
# La Frontera de la Energía

Muchos de los grandes descubrimientos los han proporcionado los aceleradores



# La Frontera de la Energía

Muchos de los grandes descubrimientos los han proporcionado los aceleradores





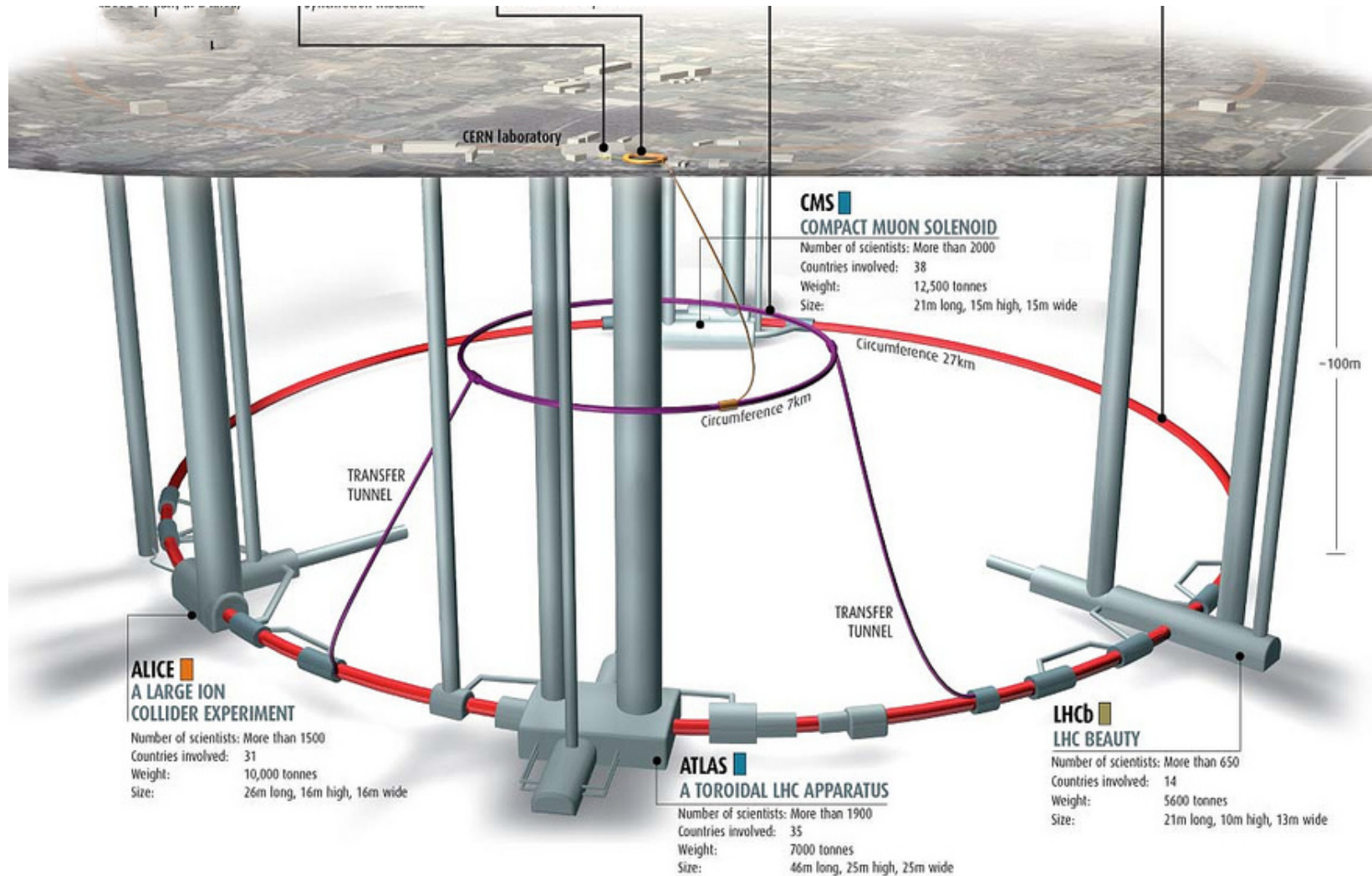
# La frontera de la energía

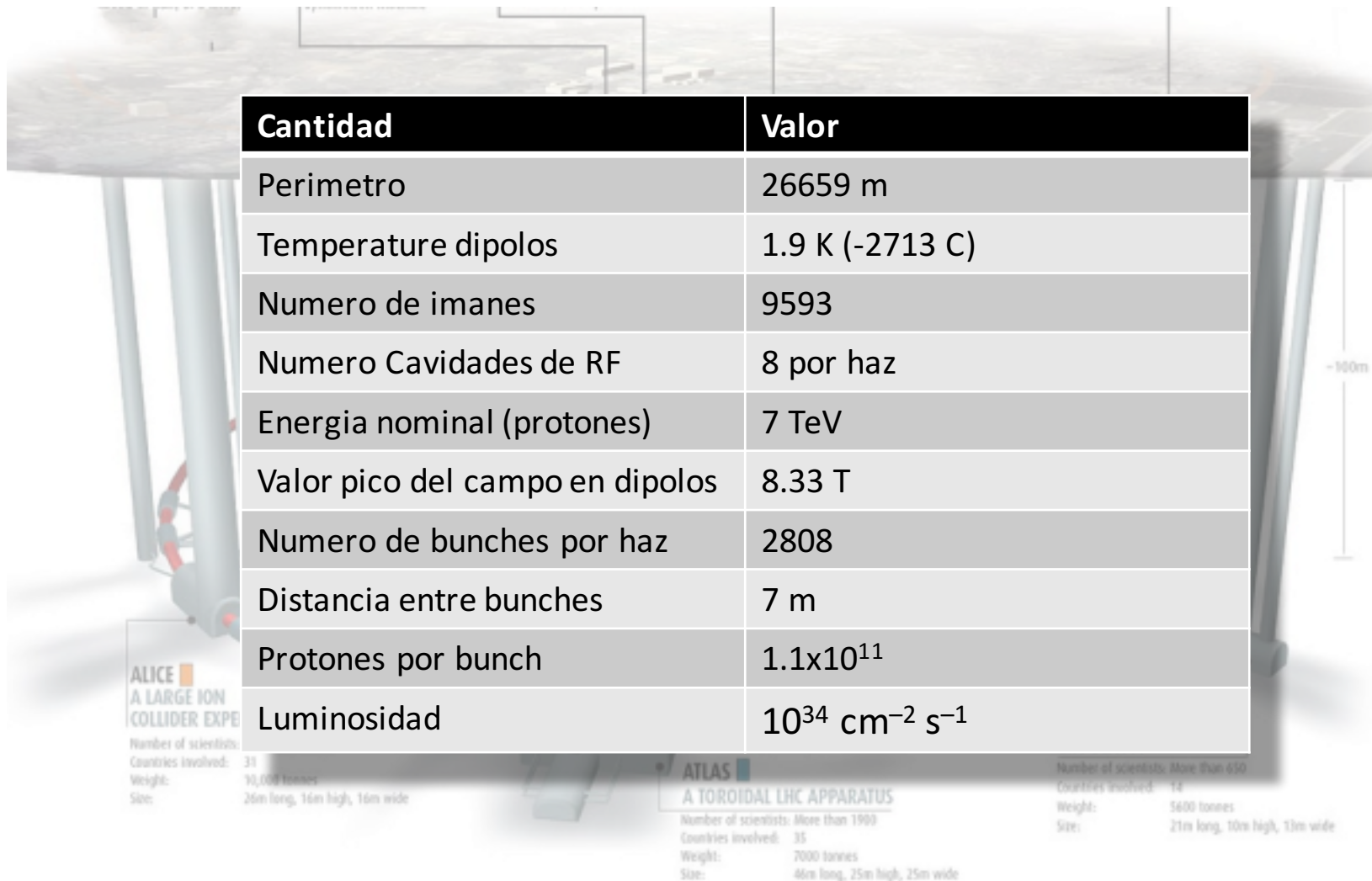
Jörg Wenninger

El LHC es, en la actualidad la máquina más grande para hacer ciencia y nos proporciona colisiones a la energía más alta.



*The LHC Accelerator Complex*





Cantidad	Valor
Perimetro	26659 m
Temperature dipolos	1.9 K (-2713 C)
Numero de imanes	9593
Numero Cavidades de RF	8 por haz
Energia nominal (protones)	7 TeV
Valor pico del campo en dipolos	8.33 T
Numero de bunches por haz	2808
Distancia entre bunches	7 m
Protones por bunch	$1.1 \times 10^{11}$
Luminosidad	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



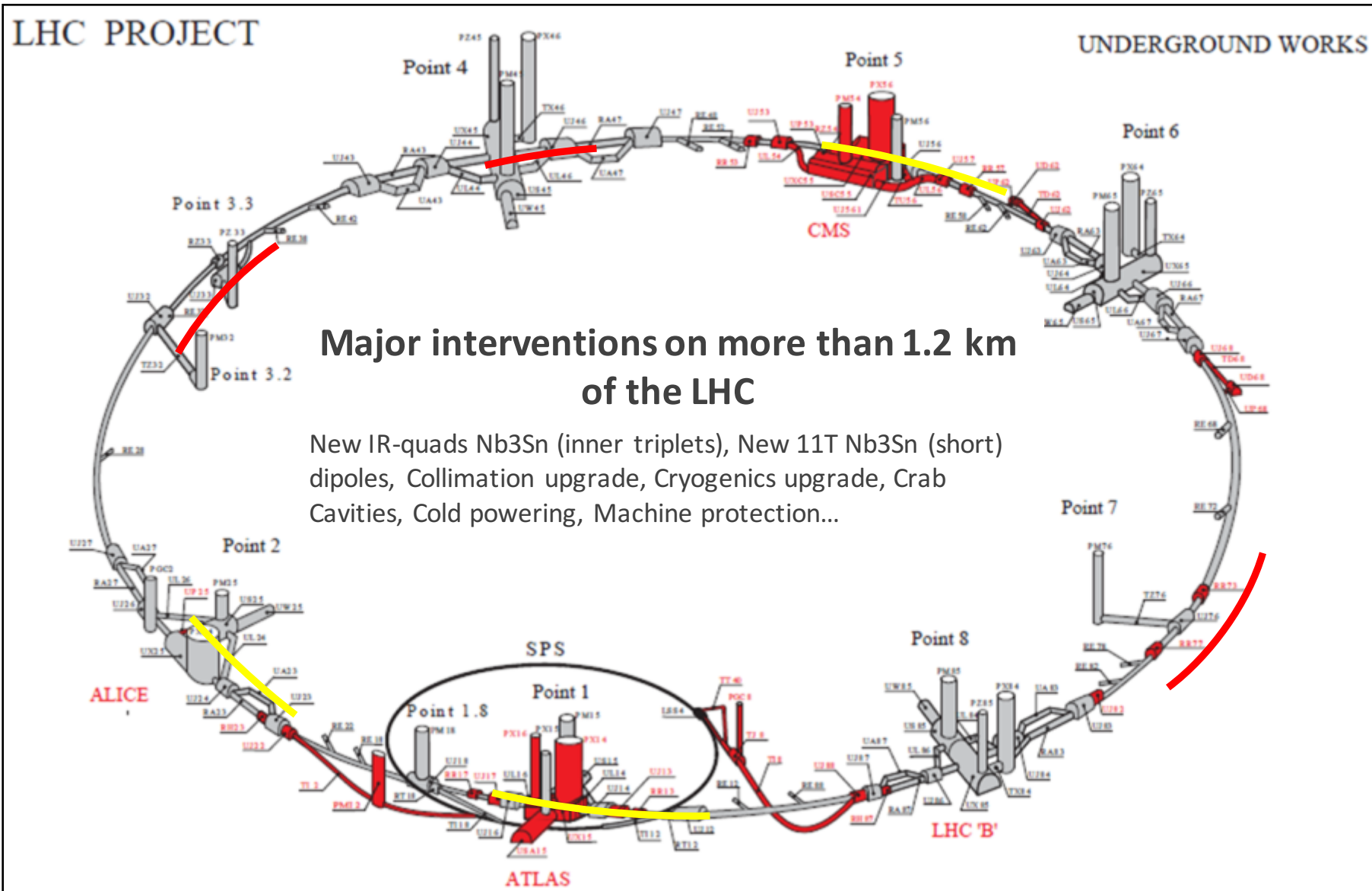
# El futuro del LHC: el HL-LHC

En 2020 muchos de los componentes del LHC estarán dañados debido a los altos niveles de radiación



Cambiando unos pocos componentes del acelerador se puede aumentar la luminosidad un factor 10.

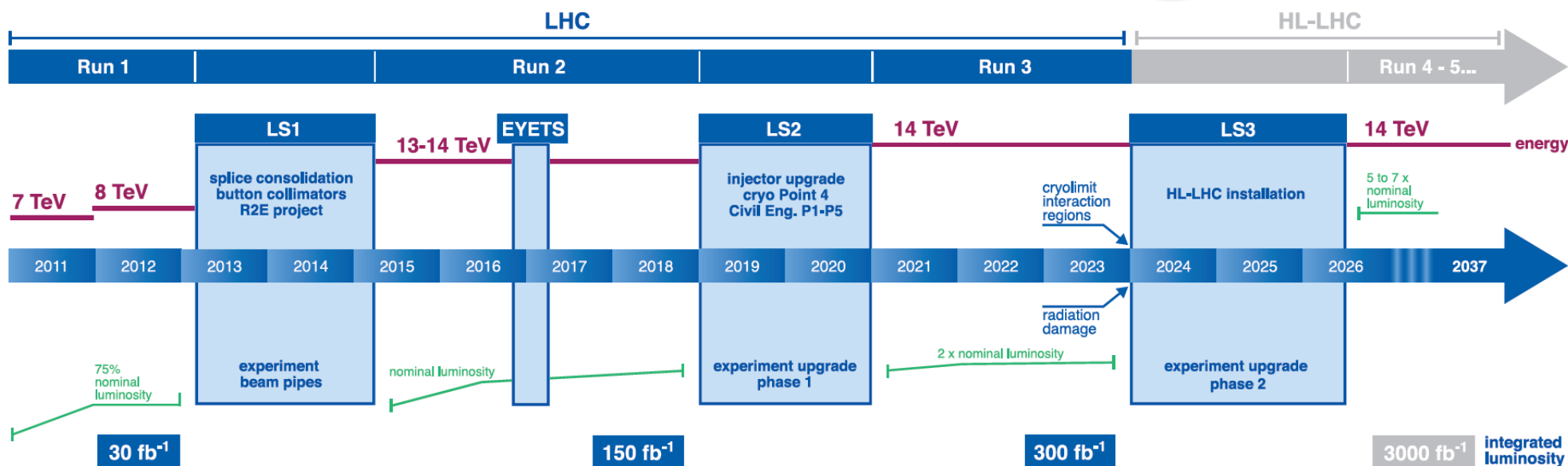
**High Luminosity LHC**



## LHC / HL-LHC Plan



High  
Luminosity  
LHC



## Futuros Aceleradores y Detectores



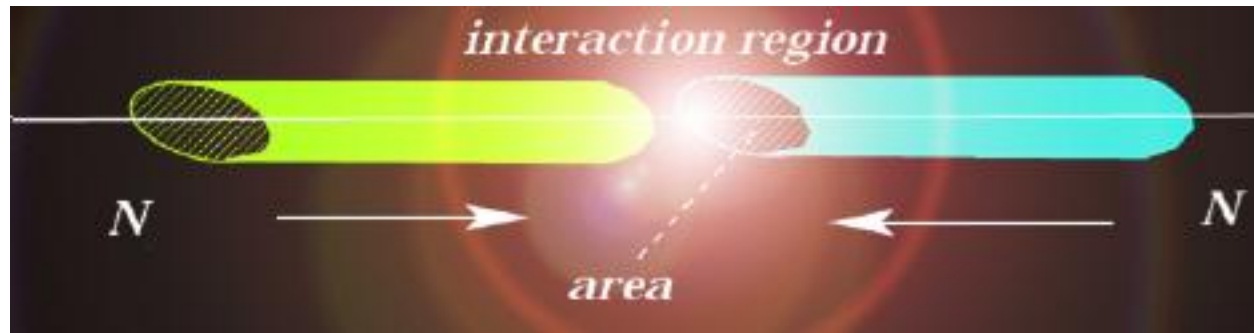
49

# La Luminosidad

Número de eventos físicos:  $N = \sigma L$  ( $\sigma$ =sección eficaz,  $L$ = luminosidad)

Número de colisiones por unidad de area y tiempo.

$$L = \frac{N_1 \cdot N_2}{S_{eff} \cdot t}$$



En el caso de LHC:

$$S_{eff} = 4\pi(16\mu\text{m})^2, t=25\text{ns} \text{ y } N=1.1 \times 10^{11} \rightarrow 1.5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$



# La Luminosidad

Número de eventos físicos:  $N = \sigma L$  ( $\sigma$ =sección eficaz,  $L$ = luminosidad)

Número de colisiones por unidad de area y tiempo.

$$L = \frac{N_1 \cdot N_2}{S_{eff} \cdot t}$$



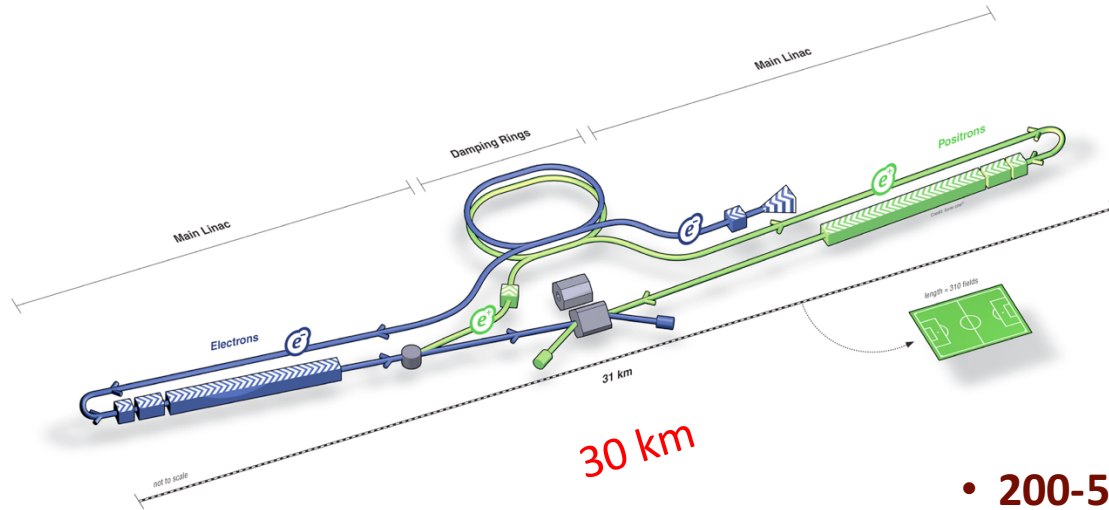
## Maneras de aumentar la luminosidad:

1. aumentar en número de partículas por bunch (hay límites en las máquinas) o
2. hacer el tamaño del haz mucho más pequeño (todo un reto: HL-LHC)
3. Reducir el tiempo entre bunches (difícil)

# Y luego qué ?



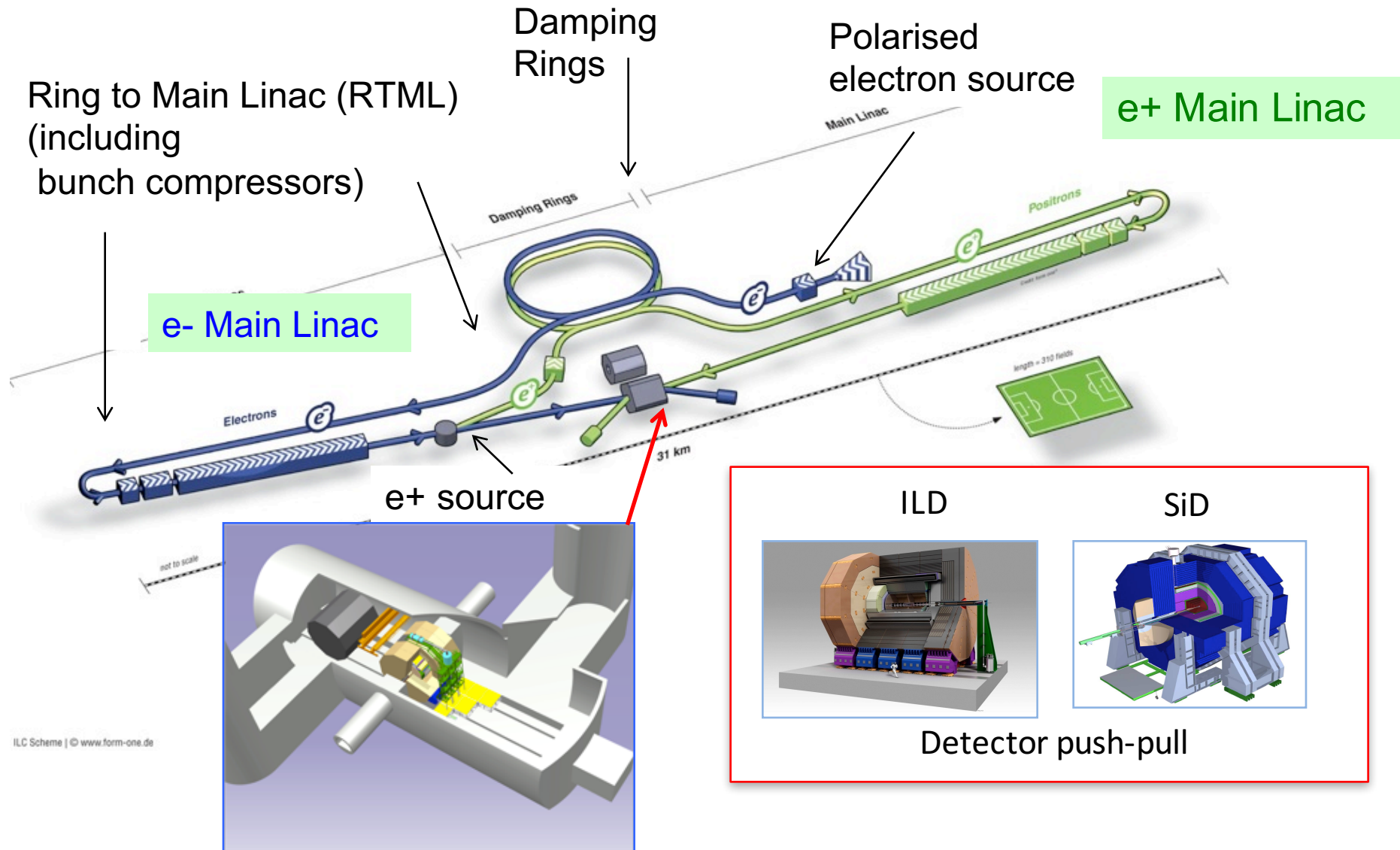
# The International Linear Collider - ILC



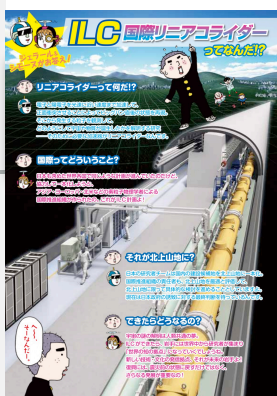
Niobium  
cavities

- **200-500 GeV cm (extendable to 1 TeV)**
  - $L \sim 1.8 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (@ 500GeV)
- **SCRF Technology**
  - 1.3GHz SCRF with **31.5 MV/m**
  - 17,000 cavities
  - 1,700 cryomodules
  - 2×11 km linacs
- **Nano haces (~100nm)** para aumentar la luminosidad

# The International Linear Collider - ILC







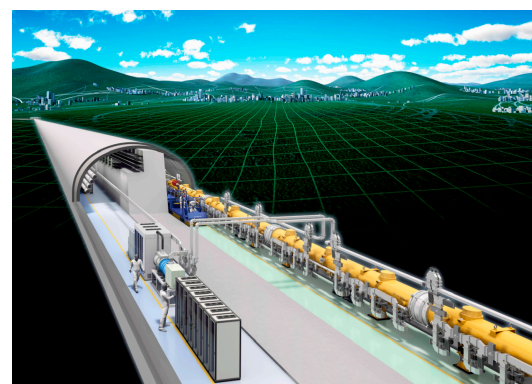
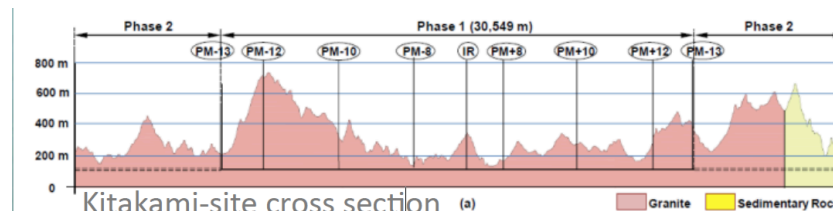
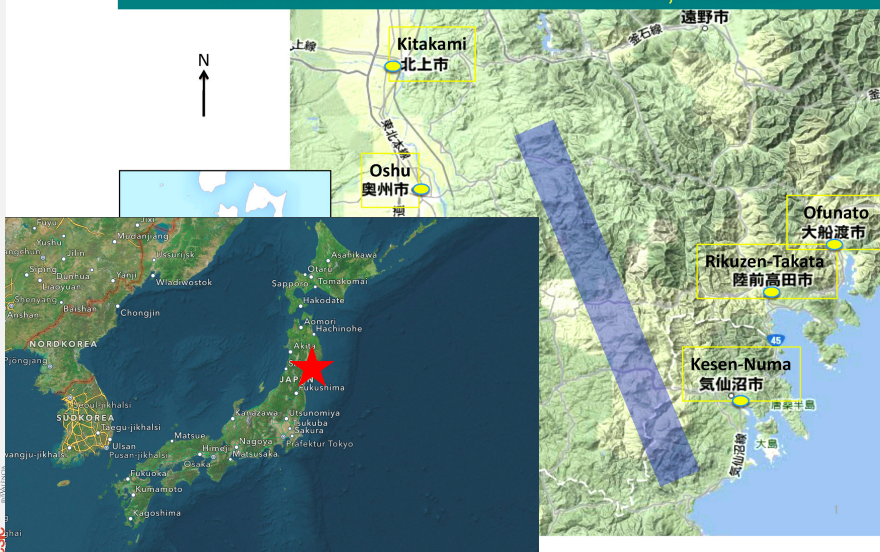
# ILC en JAPON



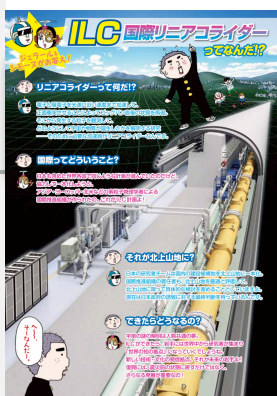
- El gobierno japonés dispuesto a albergar el ILC como un **proyecto internacional**
- US y Europa acogen muy bien esta iniciativa
- Japón incluso tiene un sitio donde instalarlo en **Kitakami**

Safe from earthquake

## ILC Candidate site in Kitakami, Tohoku



The ILC travel guide



# ILC en JAPON



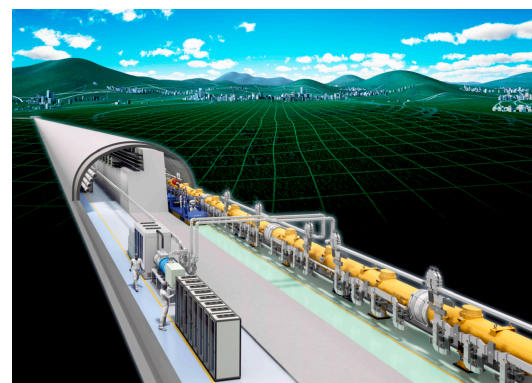
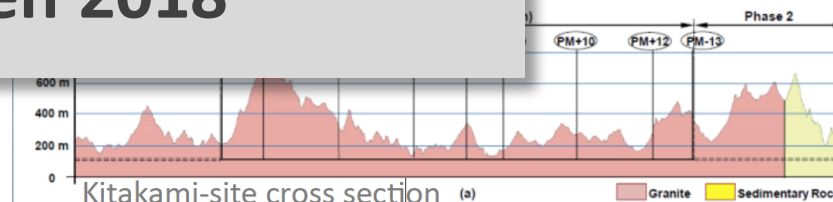
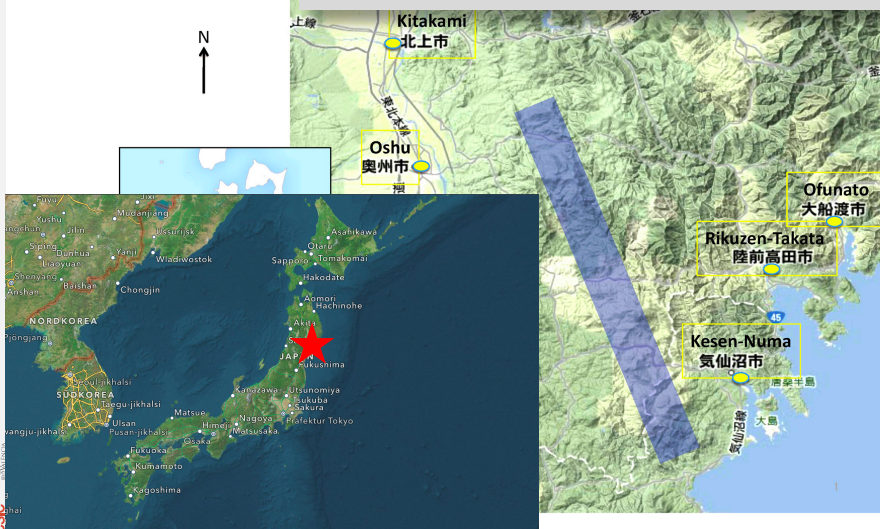
- El gobierno japonés
- US y Europa
- Japón in

La decisión se quiere tomar antes de la próxima revisión de la estrategia Europea en 2018

cto internacional

quake

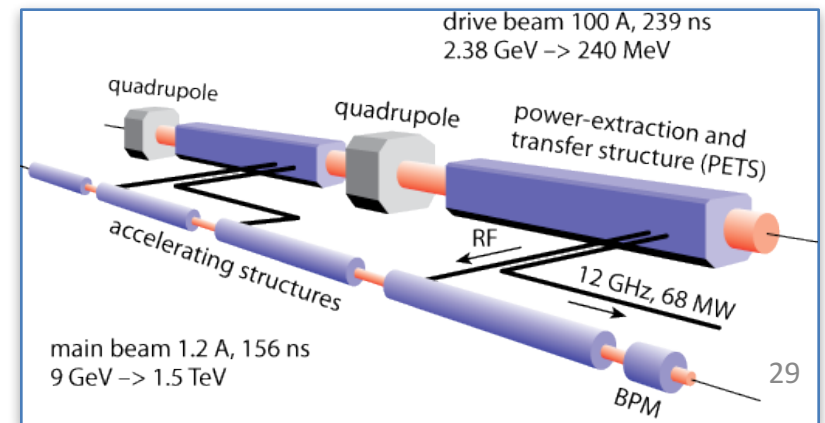
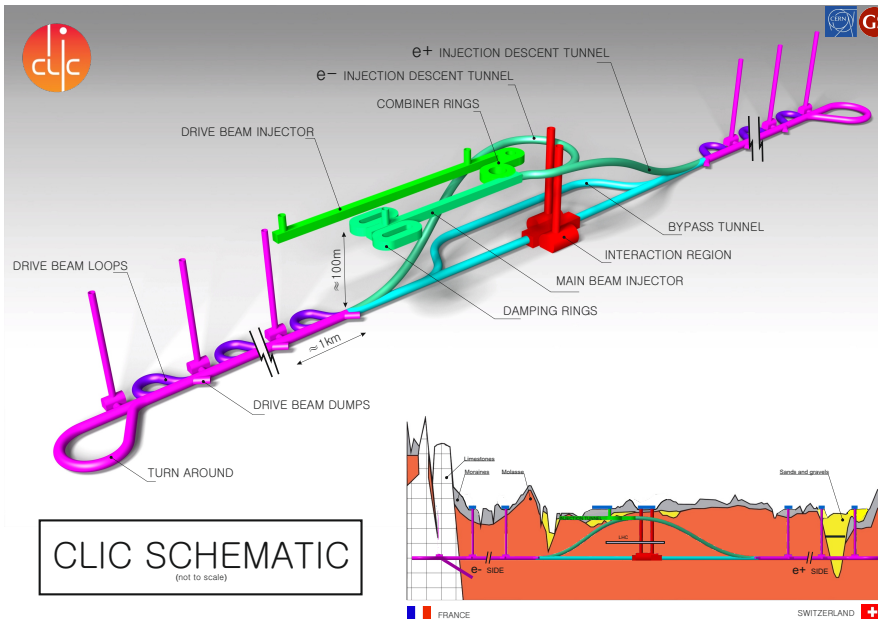
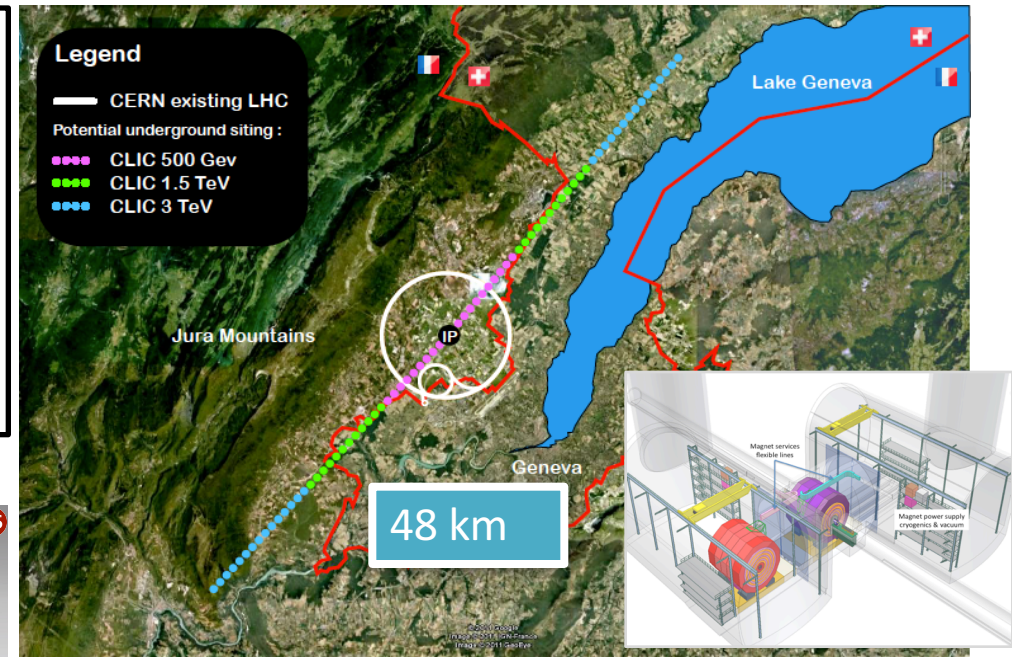
ILC C





# El proyecto CLIC en el CERN

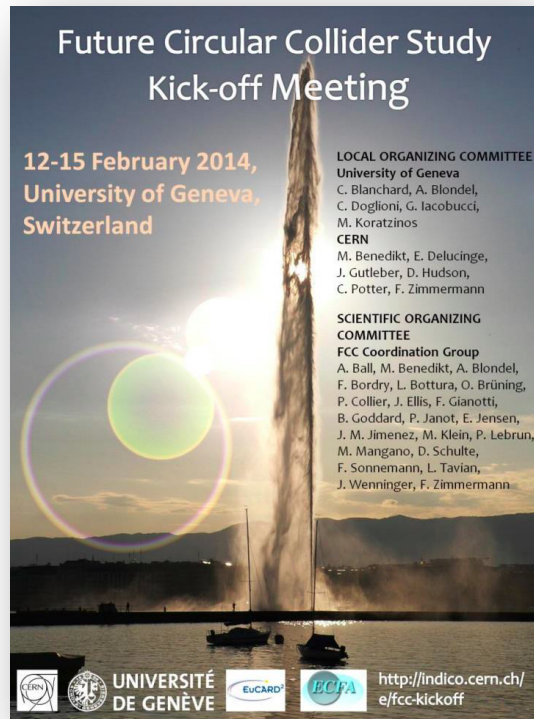
- Aceleración con un haz doble hasta una energía de hasta  $\sim 3$  TeV
- $L = \sim 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Diferentes fases empezando a energías más bajas
- Con gradientes muy altos:  
80 MV/m - 100 MV/m



# Future Circular Collider - FCC

Study effort initiated by CERN, based on 80-100 km tunnel, with a primary goal for 100 TeV pp collider (FCC-hh). The tunnel could accommodate 350 GeV  $e^+e^-$  (FCC-ee), and ep colliders (FCC-ep).

intermediate step



Studies of viability for the next European Strategy in 2018



# FCC-hh: colisionador protón-protón

## FCC-hh

In a 80 km tunnel

- **42 TeV** with 8.3T LHC magnets
- **80 TeV** with 16T Nb<sub>3</sub>Sn magnets
- **100 TeV** with 20T HTS magnets

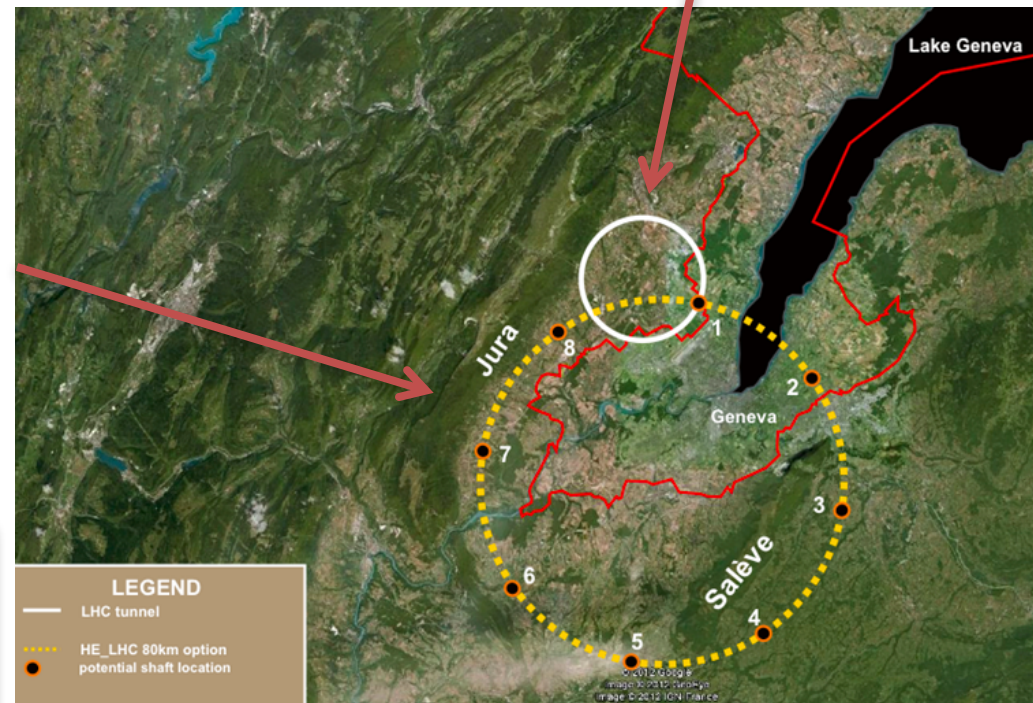
In a 100 km tunnel

- **100 TeV** with 16T Nb<sub>3</sub>Sn magnets

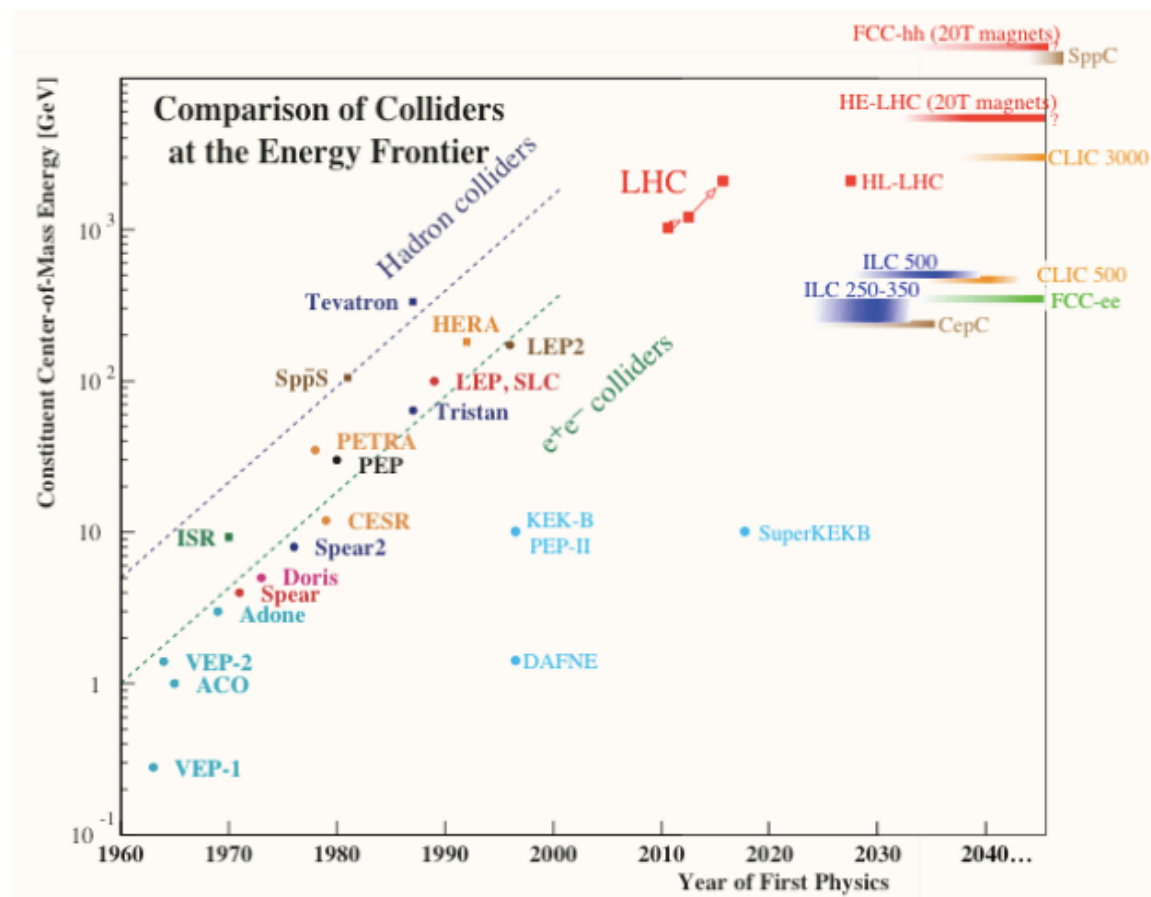
Programme of the design study

- Demonstrate 16T performance
- Develop 20T concepts

## HE-LHC: 33TeV with 20T magnets

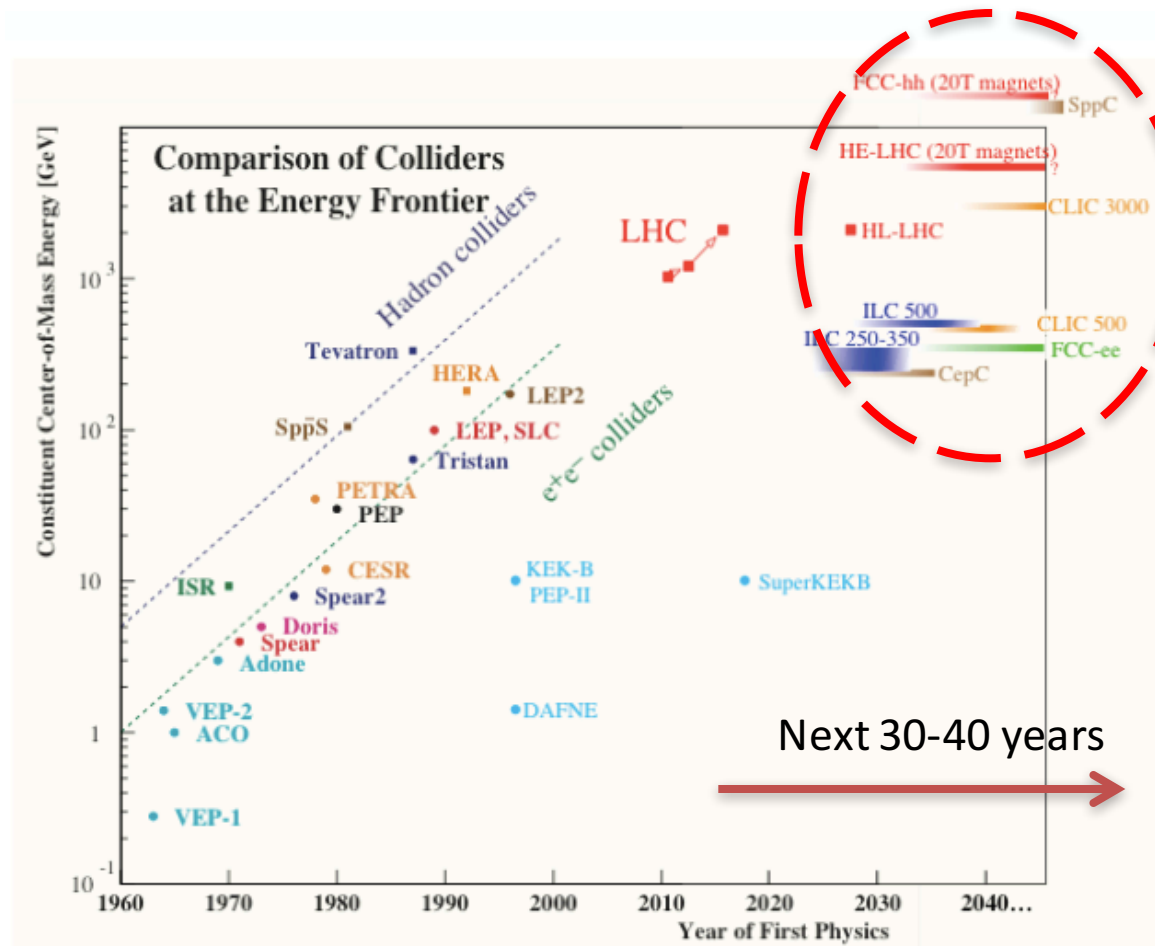


# Los futuros aceleradores



N. Walker

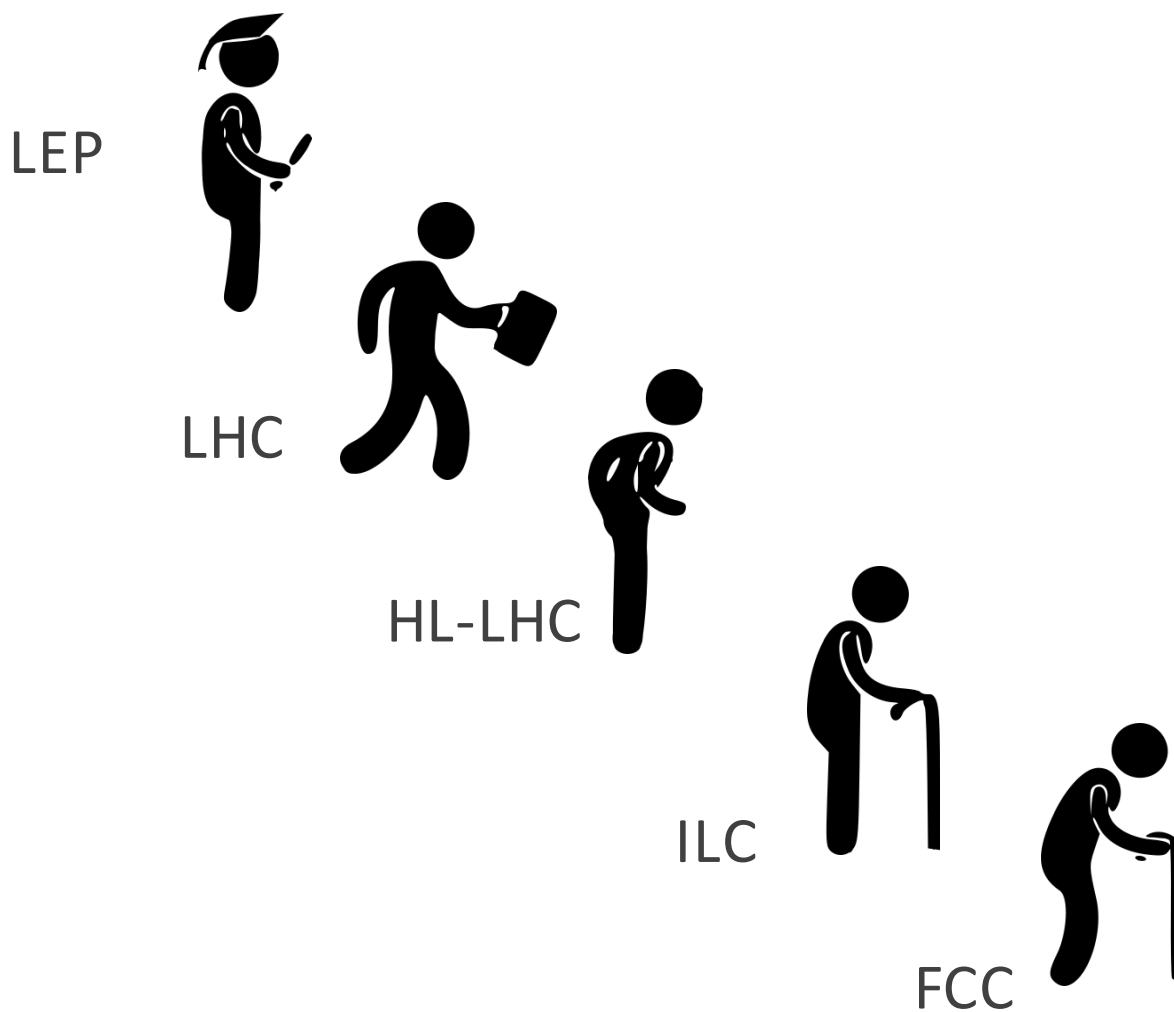
# Los futuros aceleradores



**Tendency**

N. Walker

# Los futuros aceleradores



En Física de Partículas los procesos ocurren a una **escala que o bien es muy efímera, o bien demasiado pequeña** para poder ser observada directamente.

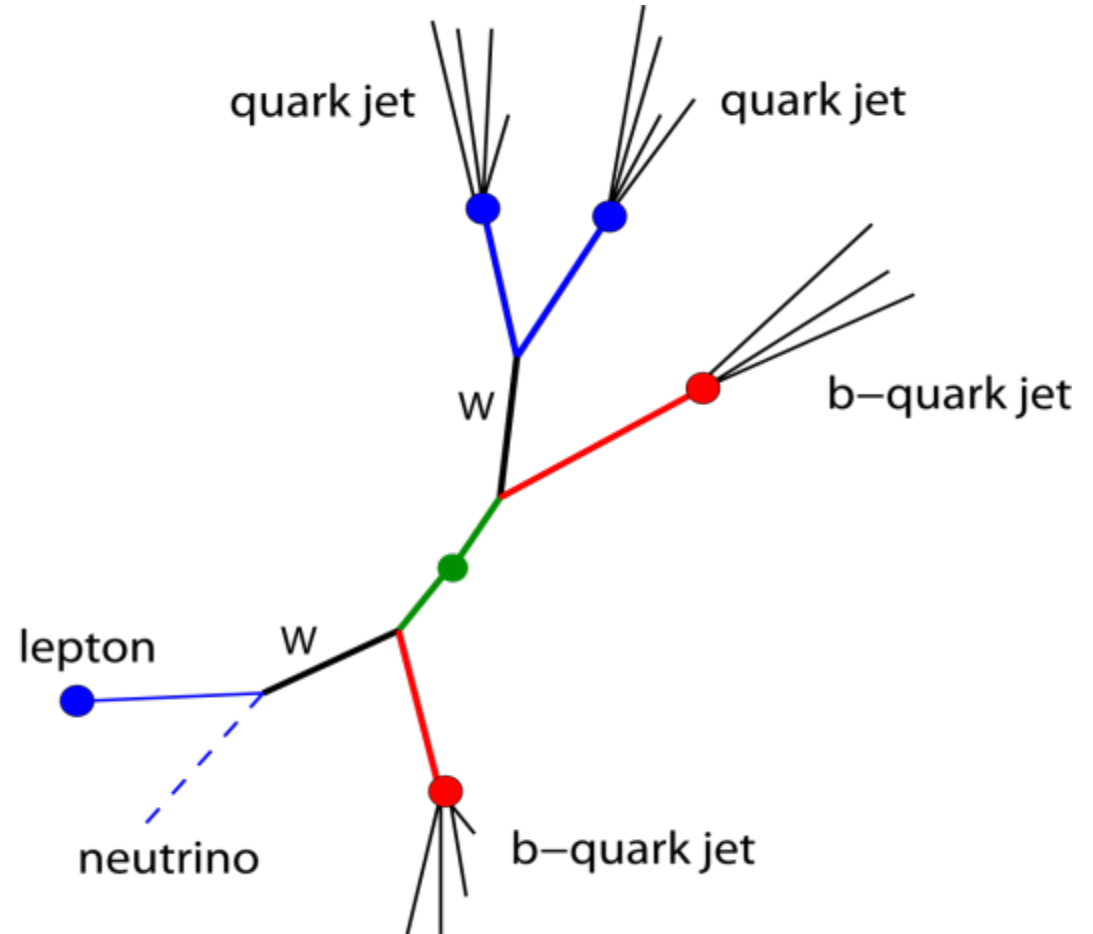
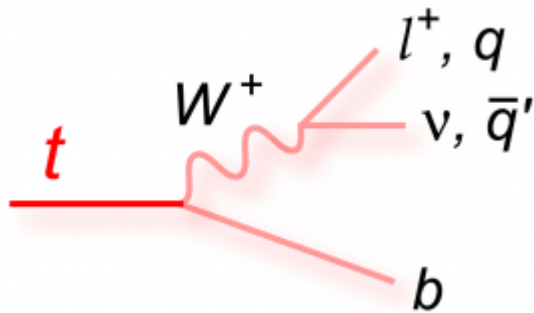
**No podemos ver ni tocar las partículas**, así que necesitamos instrumentos que nos permitan, de manera indirecta, estudiar esos procesos.

En Física de partículas un detector es un aparato que nos permite **detectar, trazar e identificar las partículas**.

- ✓ Todo lo realmente interesante ocurre antes de los primeros  $10^{-12}$  s desde el cruce de los haces
  - Sólo podemos ver las partículas del estado final.
  - Lo que aprendemos lo averiguamos “trabajando hacia atrás en el tiempo” para averiguar “cómo hemos llegado a esto” desde la primera colisión
  - Cuanta mayor precisión al medir las propiedades de las partículas hijas, mejor determinaremos las propiedades de las partículas originales.

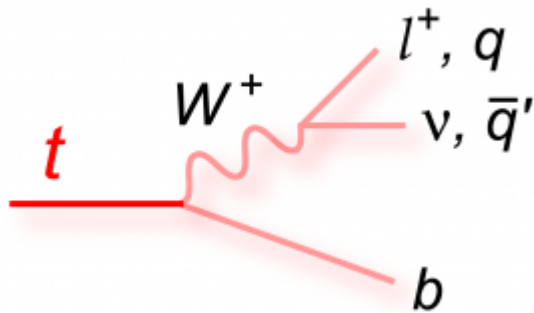
# Qué queremos medir ?

Imaginemos un evento en el que se produce un par top anti-top



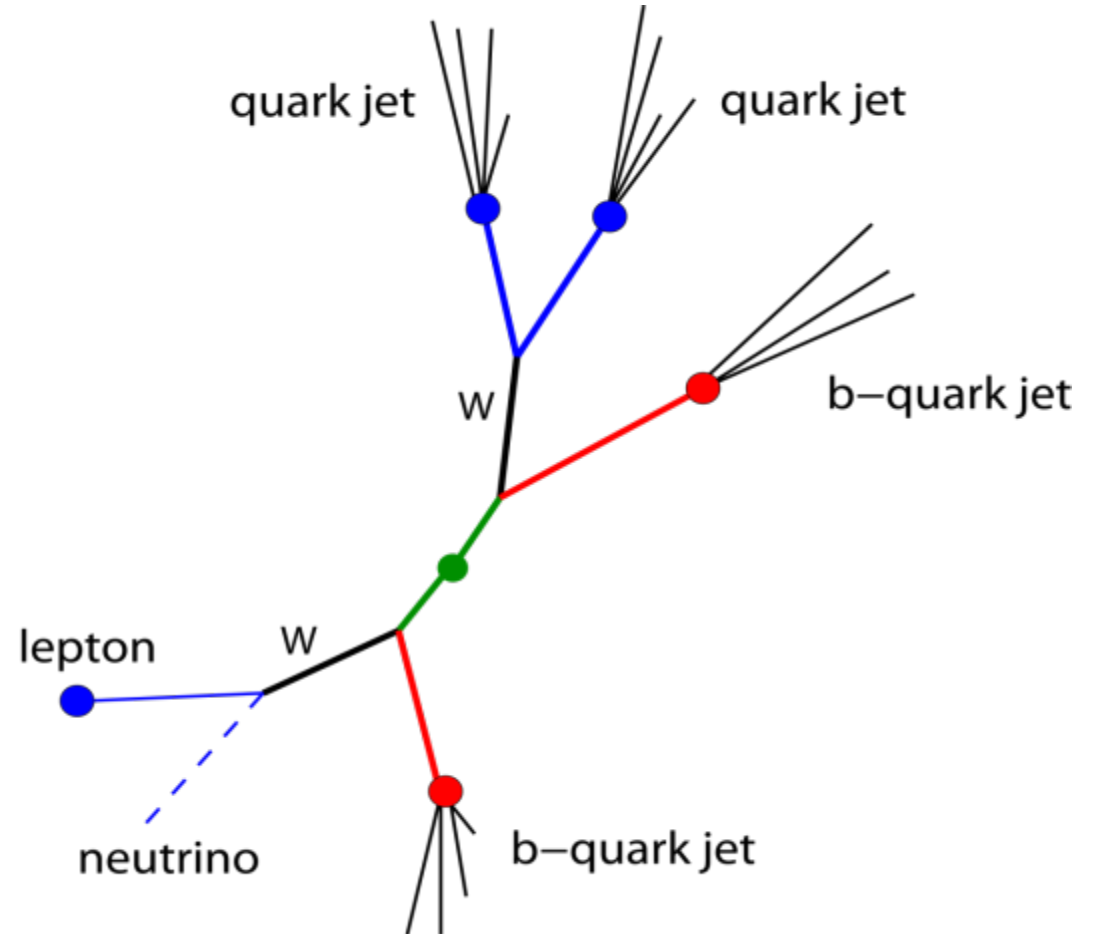
# Qué queremos medir ?

Imaginemos un evento en el que se produce un par top anti-top



Querremos medir:

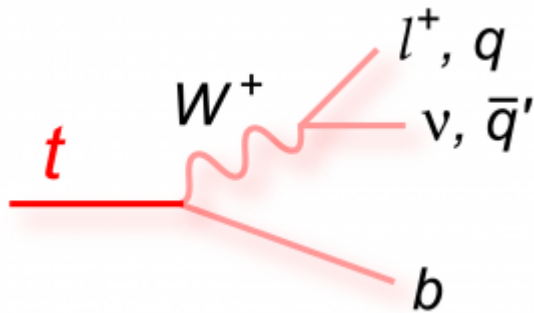
1. Masa invariante de top y anti-top





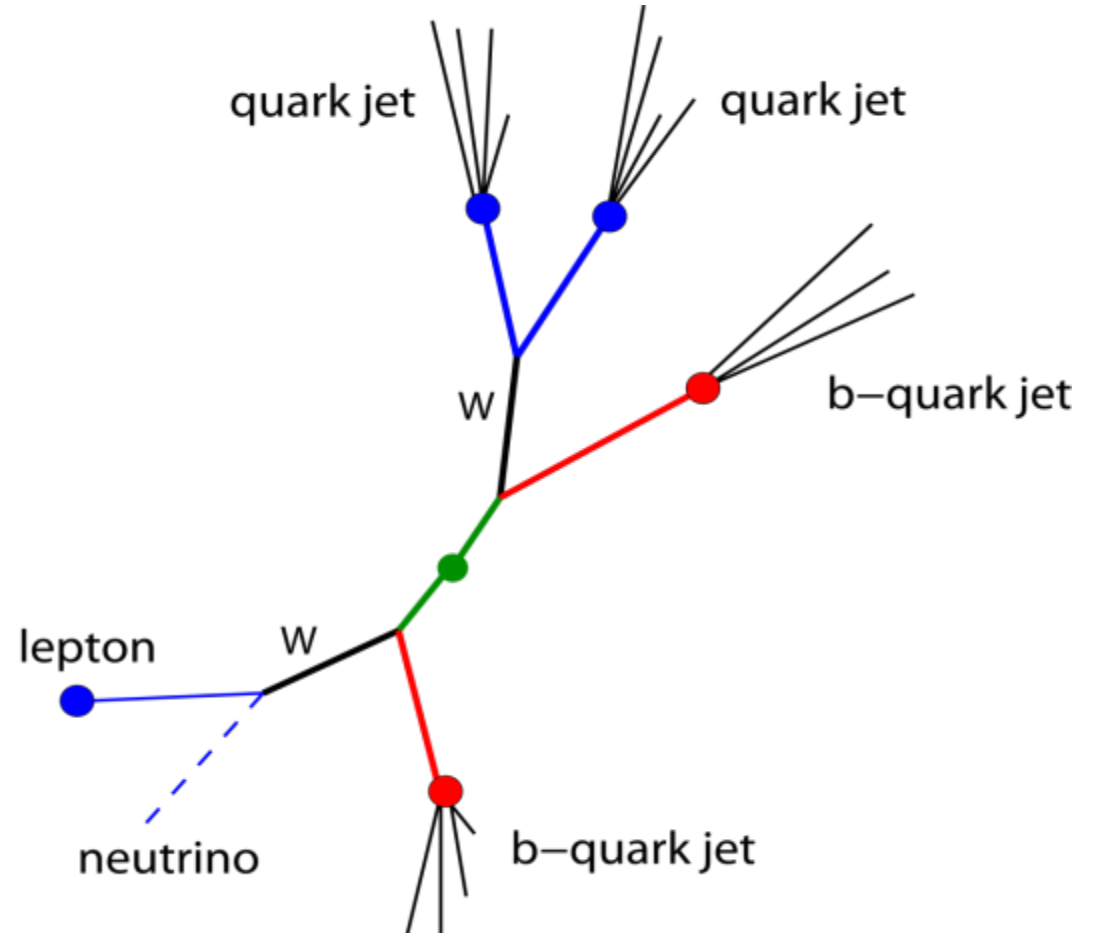
# Qué queremos medir ?

Imaginemos un evento en el que se produce un par top anti-top



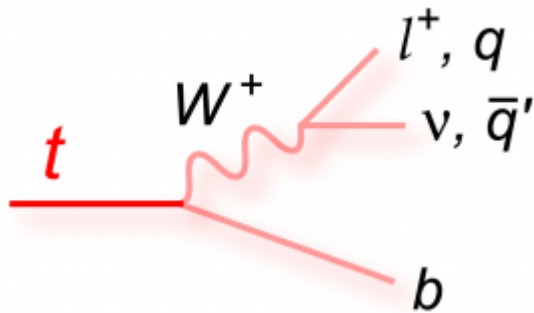
Querremos medir:

1. Masa invariante de top y anti-top
  1. Reconstruir hijos y nietos:
    - ✓ Carga, momento, energía y trayectoria



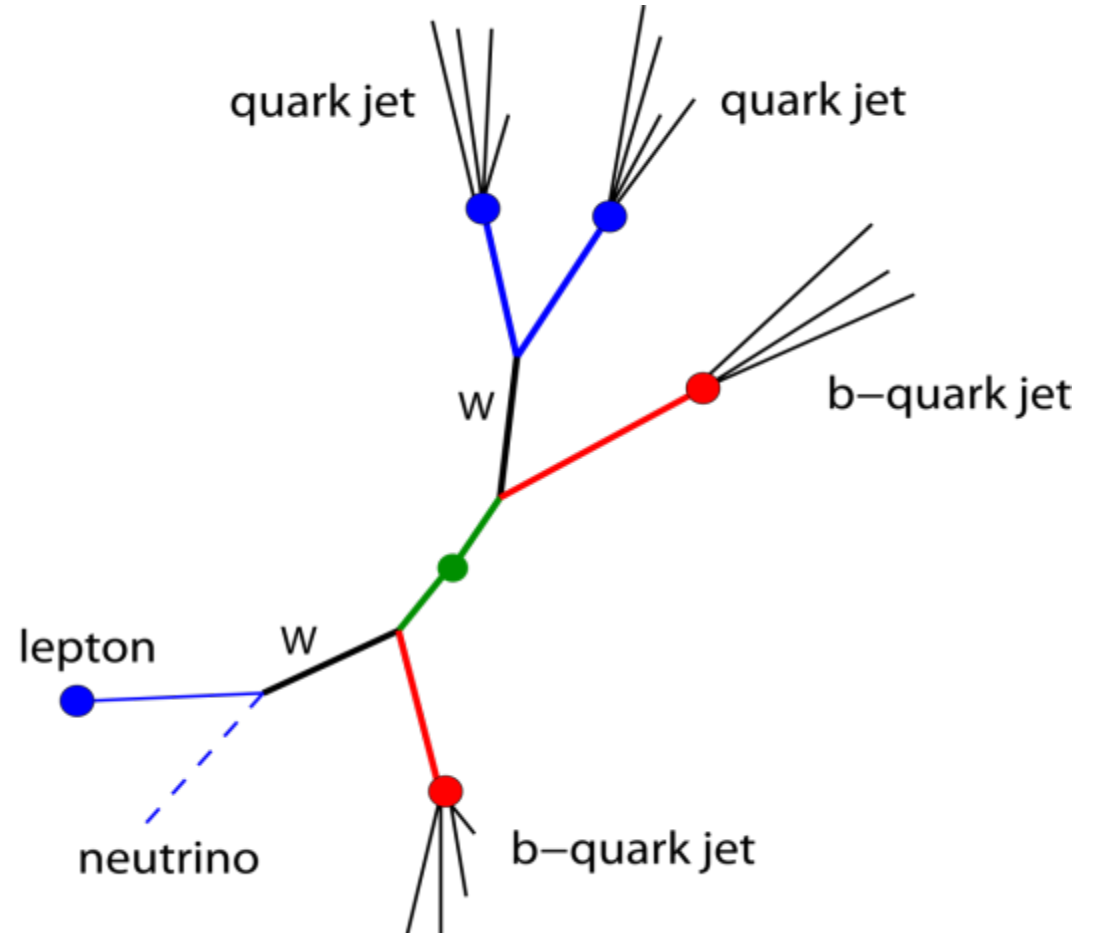
# Qué queremos medir ?

Imaginemos un evento en el que se produce un par top anti-top



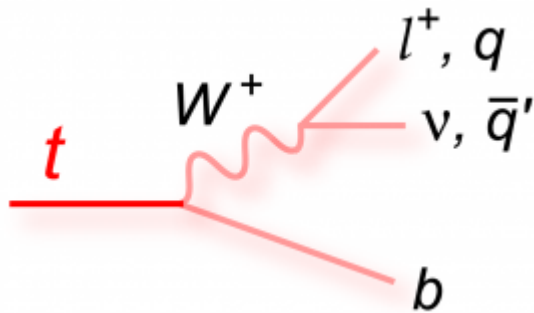
Querremos medir:

1. Masa invariante de top y anti-top
  1. Reconstruir hijos y nietos:
    - ✓ Carga, momento, energía y trayectoria
  2. Vértices de desintegración para calcular masas invariantes y vidas medias de los hijos y nietos



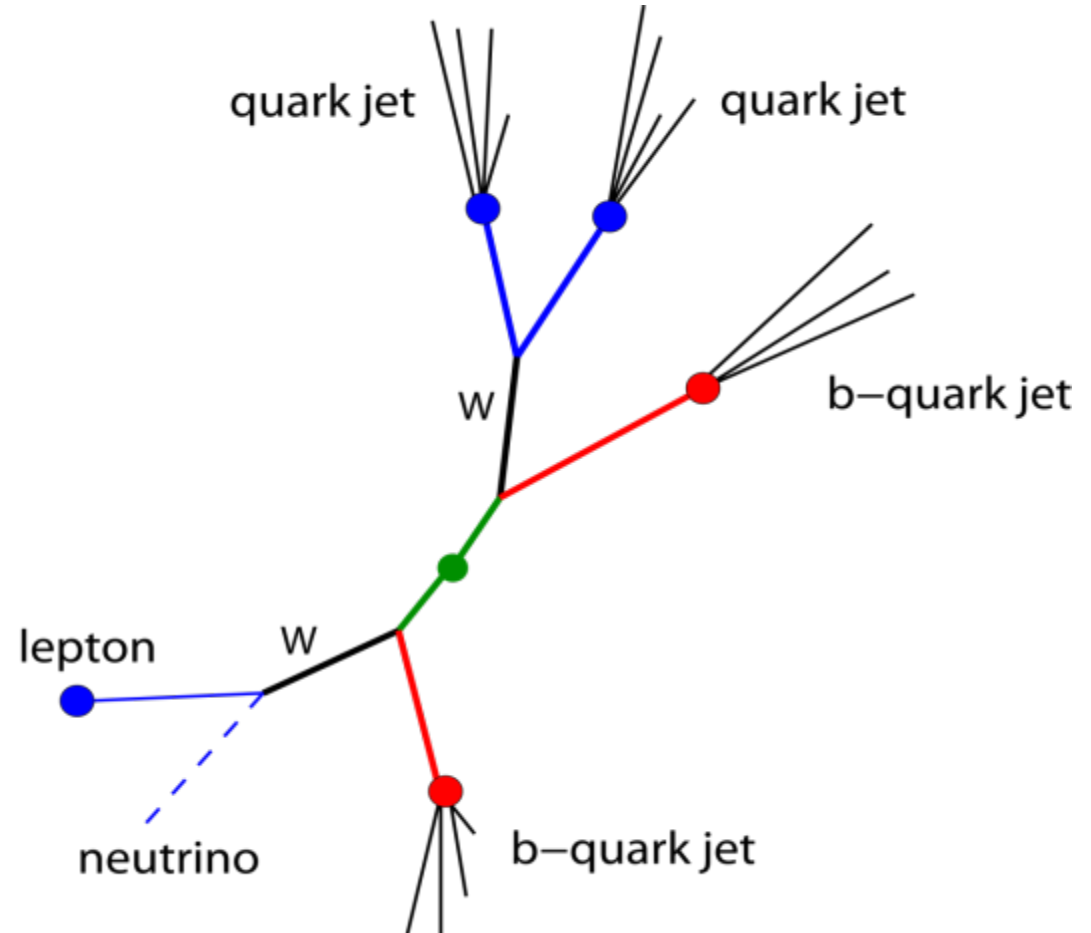
# Qué queremos medir ?

Imaginemos un evento en el que se produce un par top anti-top



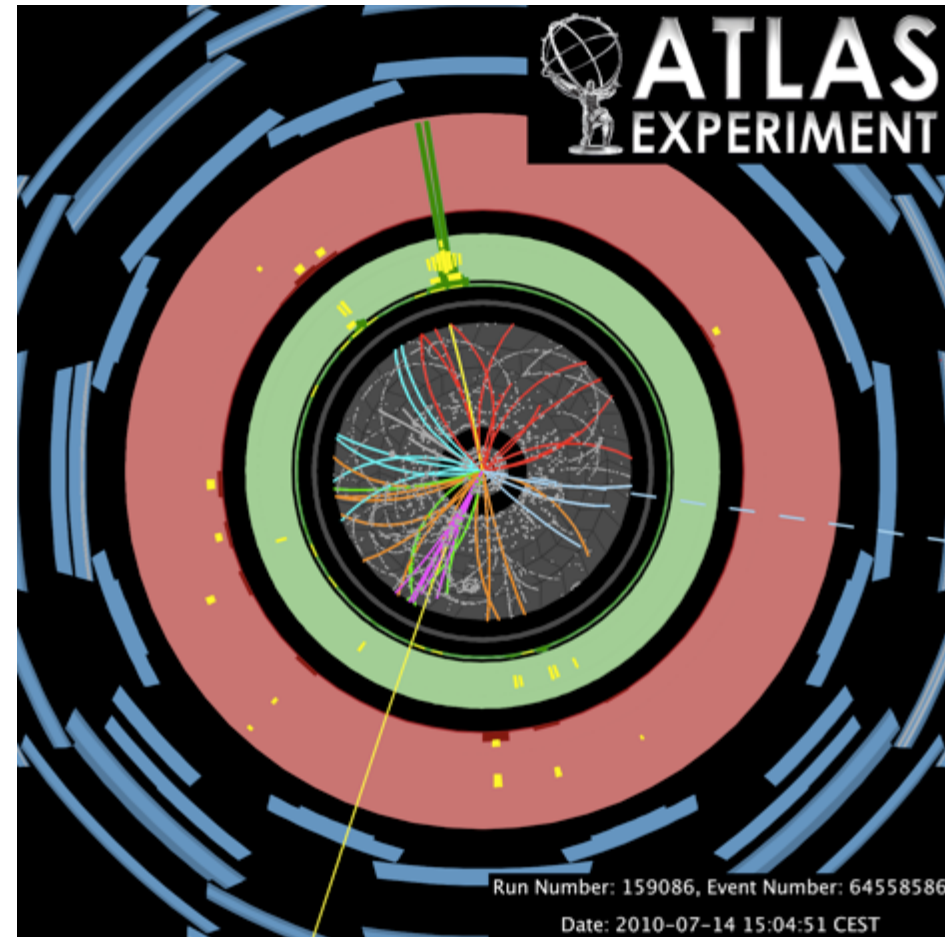
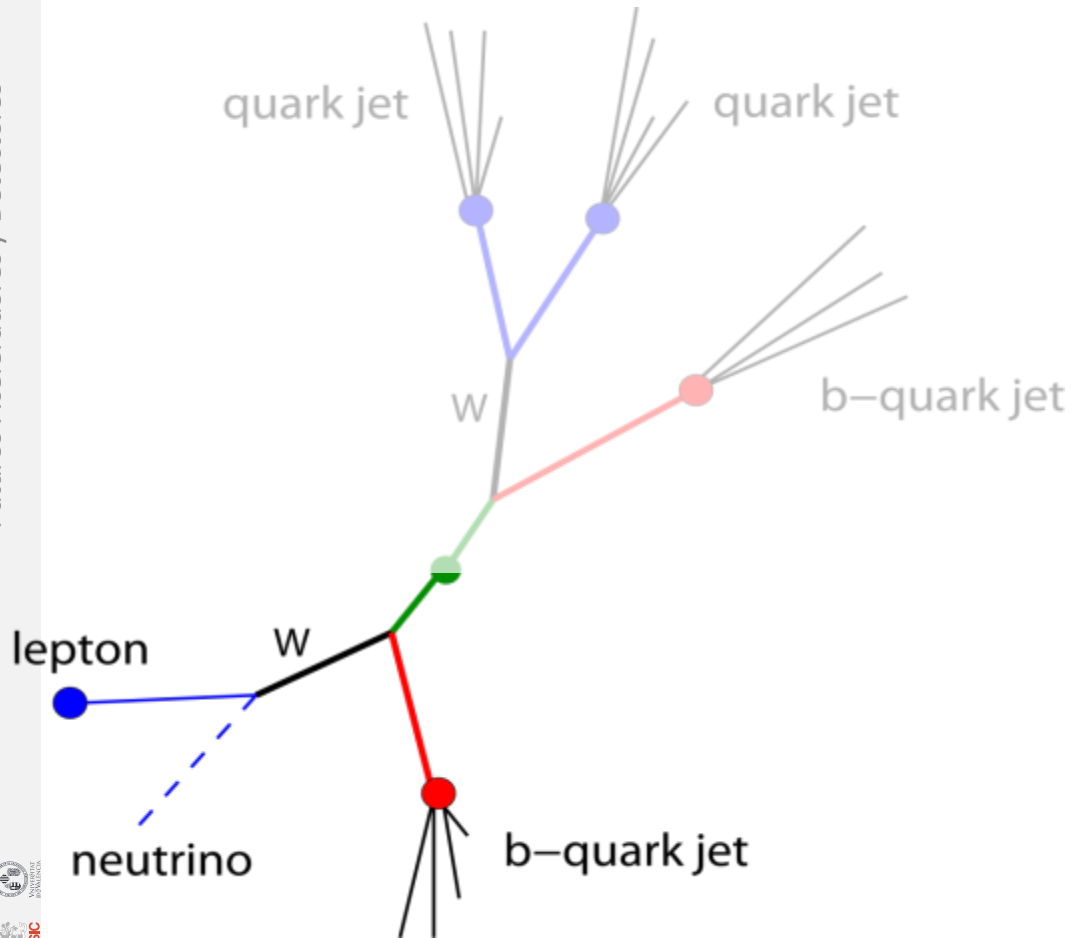
Querremos medir:

1. Masa invariante de top y anti-top
  1. Reconstruir hijos y nietos:
    - ✓ Carga, momento, energía y trayectoria
  2. Vértices de desintegración para calcular masas invariantes y vidas medias de los hijos y nietos
  3. Identificar hijos y nietos para estudiar la estructura interna de los jets
  4. ...



# Qué queremos medir

Cómo llegar a un “foto” como esta ?

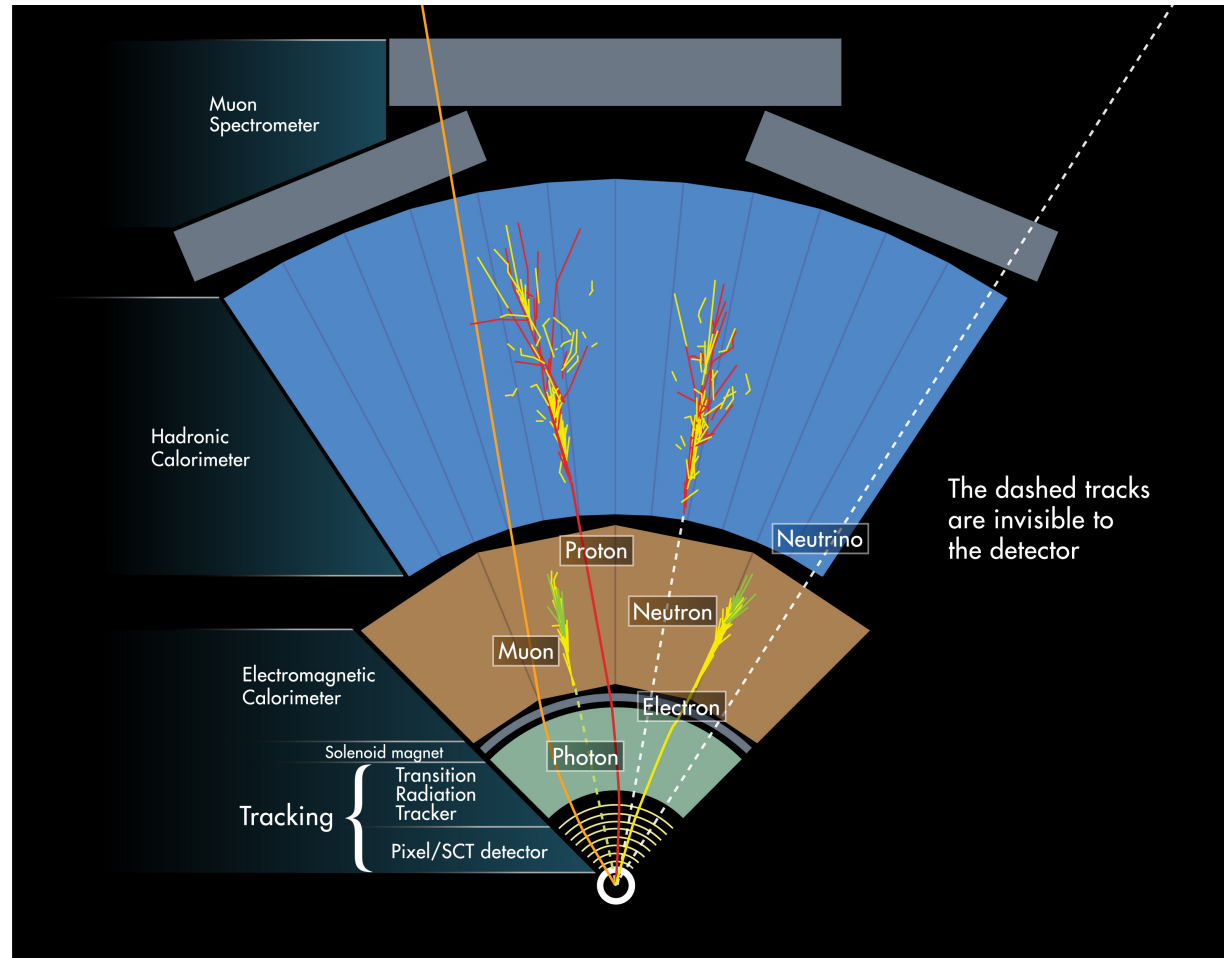


# Estructura de un detector genérico

El detector está dividido en capas especializadas:

1. Trayectoria (trackers)
2. Carga y Momento (imanes)
3. Energía (calorímetros)

Cada uno aprovecha la forma en que la partícula “interacciona” con los materiales que lo componen



# Los detectores de trazas

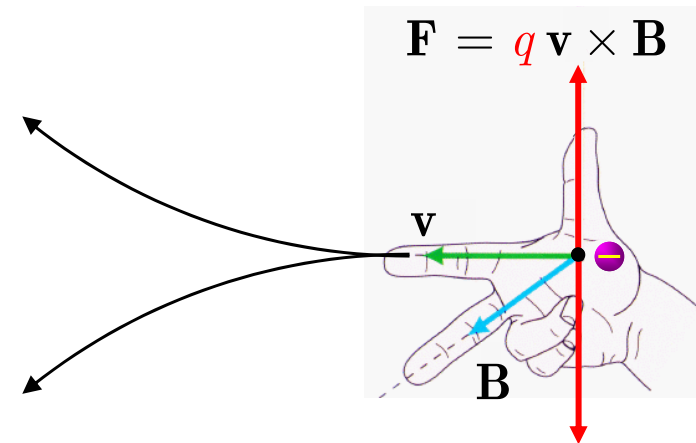
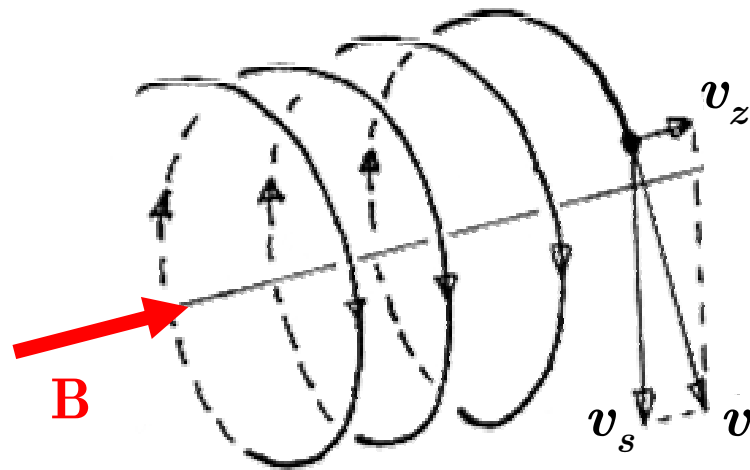
Nos acordamos de la Fuerza de Lorentz ? La trayectoria de una partícula cargada en un campo magnético uniforme viene dada por:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = q \mathbf{v} \times \mathbf{B} \rightarrow \frac{d^2\mathbf{r}}{ds^2} = \frac{q}{p} \frac{d\mathbf{r}}{ds} \times \mathbf{B}$$

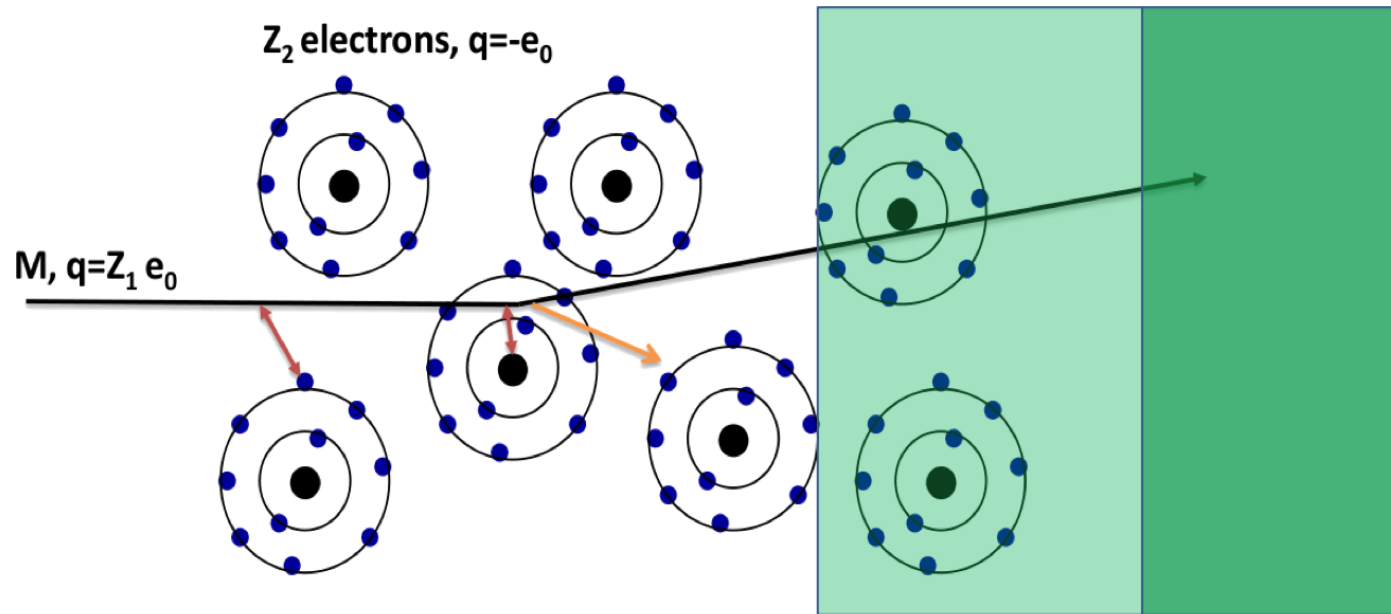
**La trayectoria es una hélice** y la trayectoria se “curva” en el plano transverso al campo.

**El radio de curvatura depende del momento transverso:**  $R \sim P_T/B$

Podemos determinar el momento y la carga de las partículas.



# Los detectores de trazas



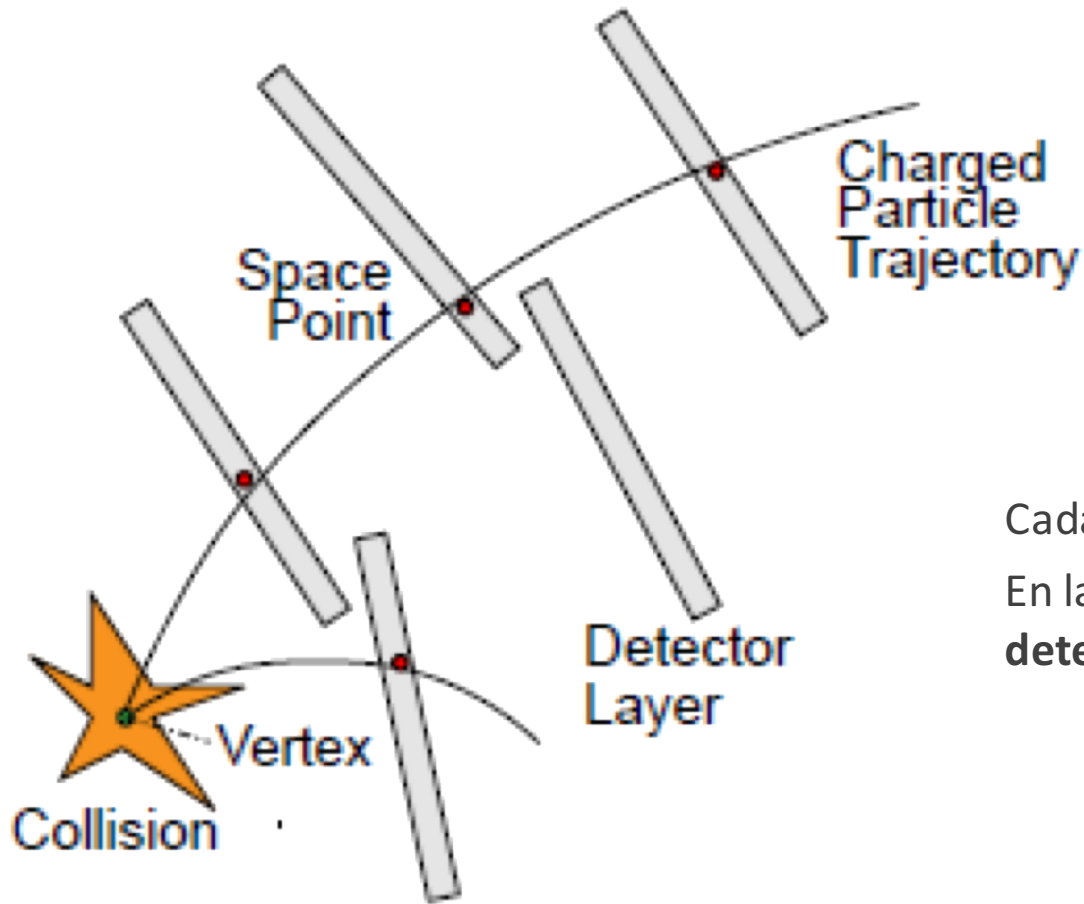
Interaction with the atomic electrons. The incoming particle loses energy and the atoms are excited or ionized.

Interactions with the atomic nucleus. The particle is deflected (scattered) causing multiple scattering. During this scattering a Bremsstrahlung photon can be emitted

If the particle's velocity is larger than the velocity of light in the medium, the resulting EM shock-wave manifests itself as Cerenkov radiation. When the particle crosses the boundary between two media, there is a probability (small) to produce an X ray photon called Transition radiation.

Las partículas cargadas pierden energía por ionización de los átomos en el medio. Apenas si cambian de trayectoria, salvo que interaccionen con un núcleo

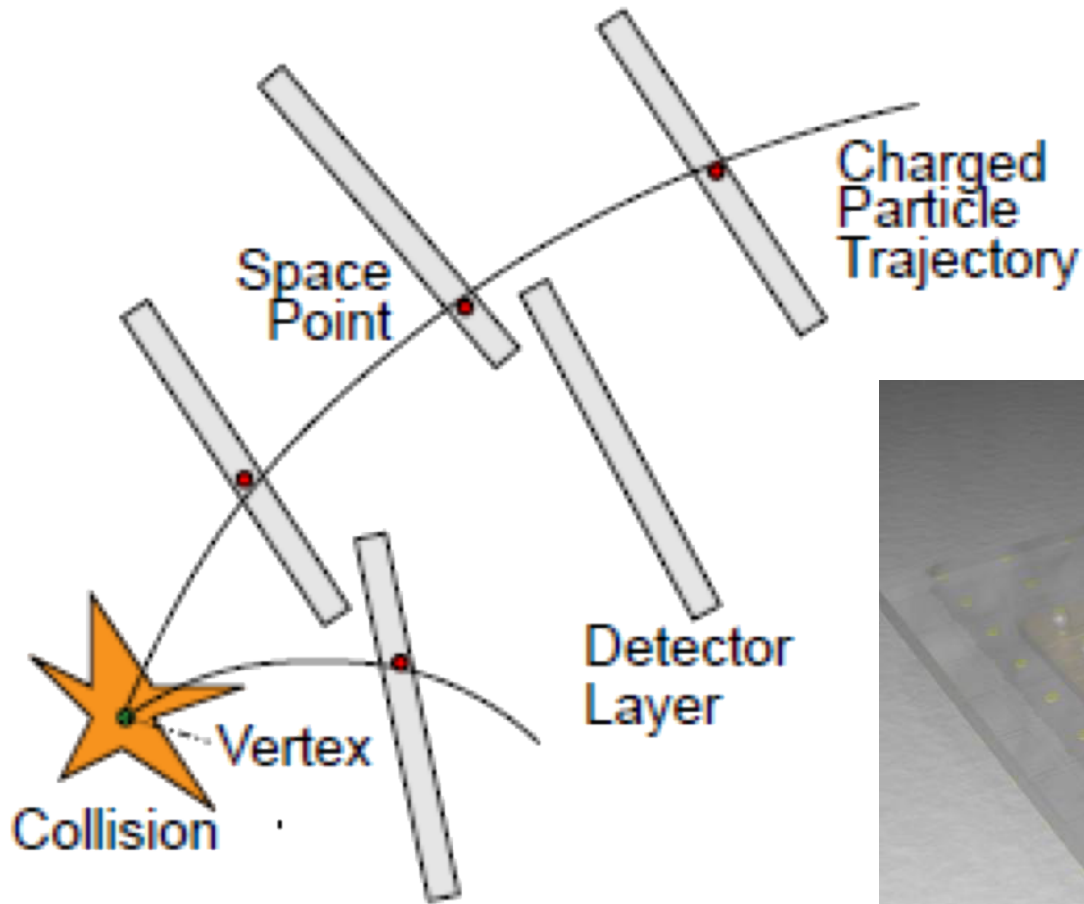
# Los detectores de trazas



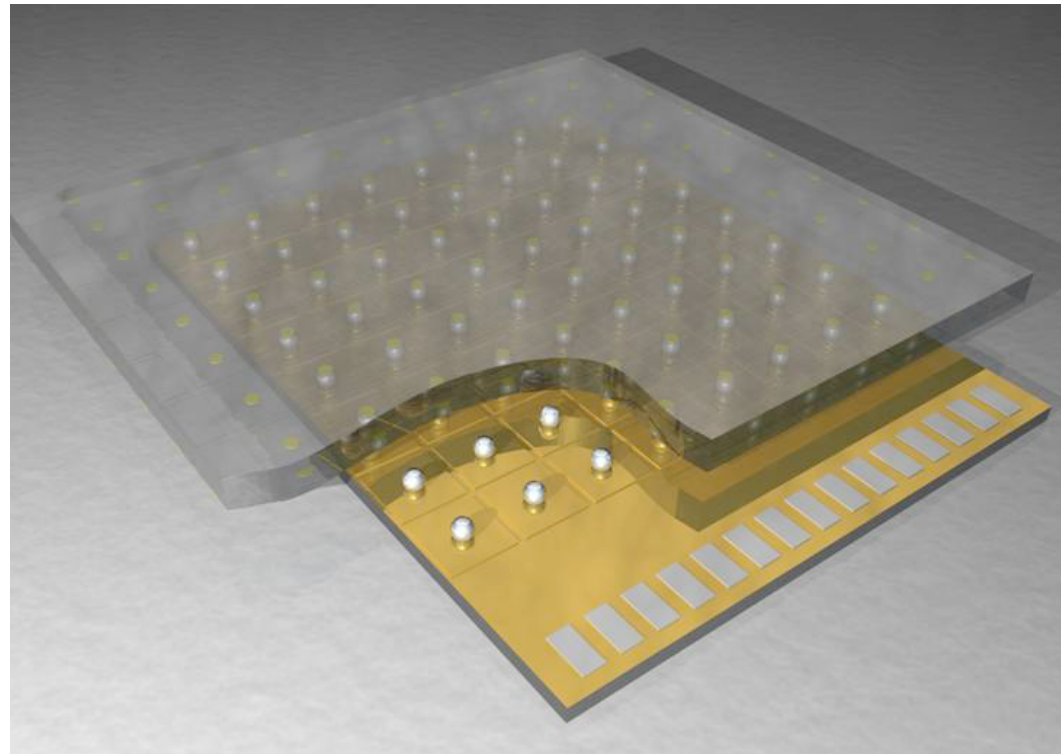
Cada plano mide un punto de la trayectoria.  
En la actualidad son, generalmente,  
**detectores de silicio.**



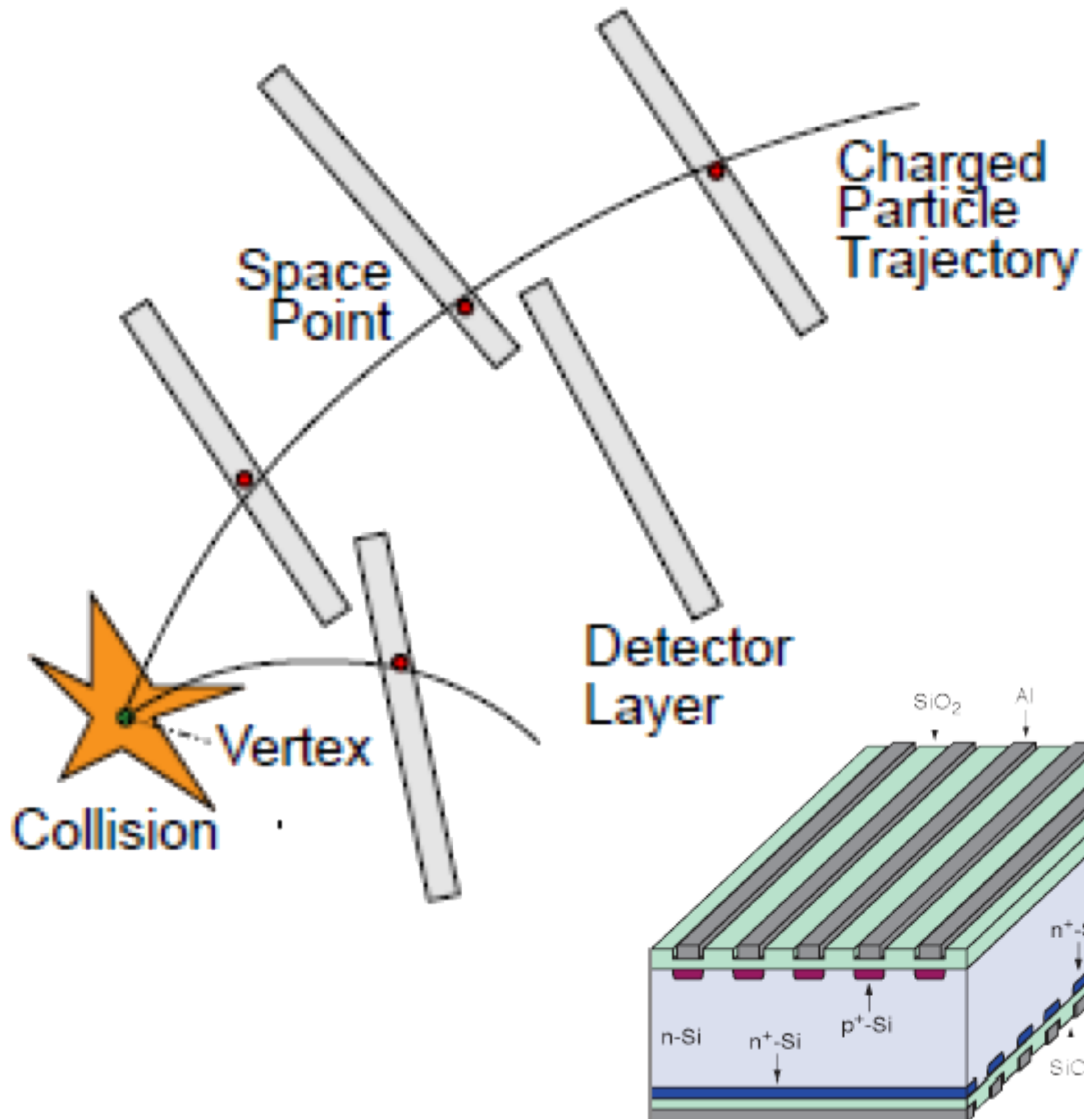
# Los detectores de trazas



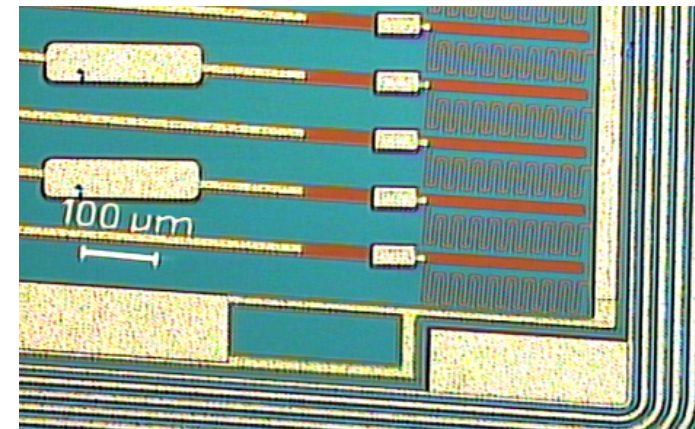
**Detectores de píxeles:** medimos directamente las dos coordenadas del plano



# Los detectores de trazas

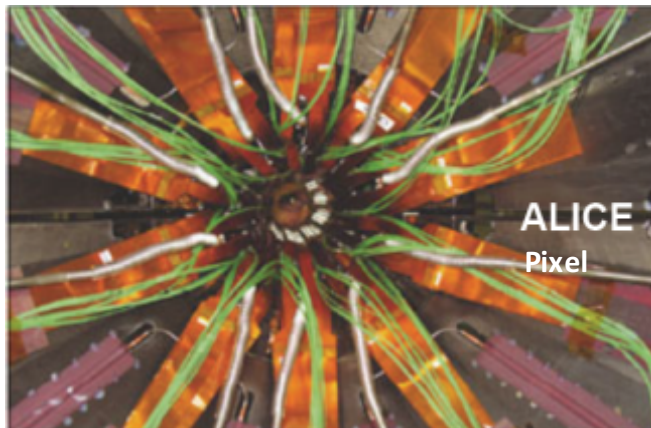
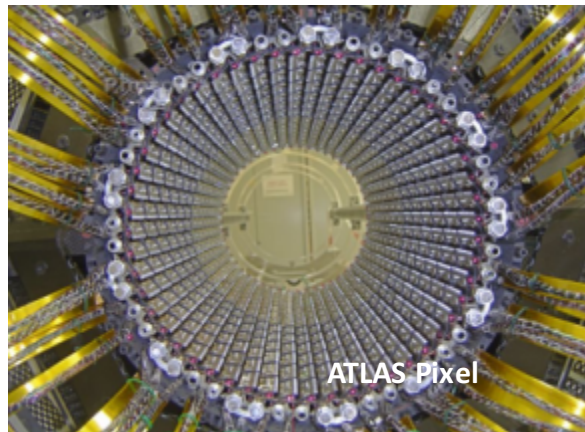
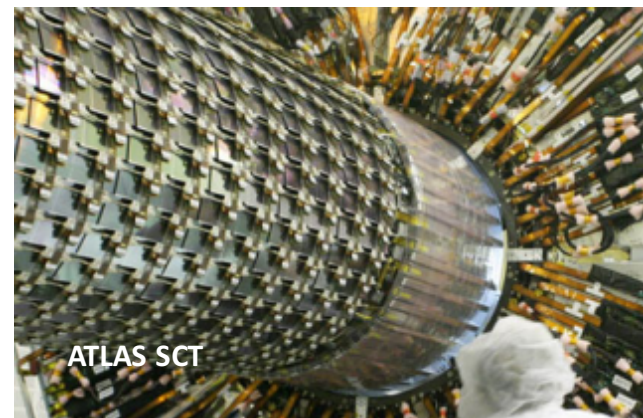
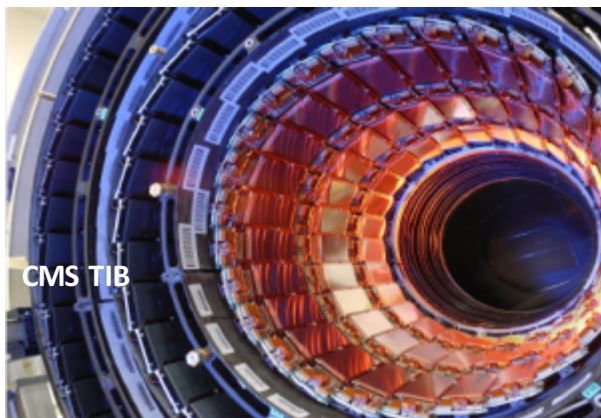


**Detectores de microbandas:** cada plano mide sólo una de las dos coordenadas.





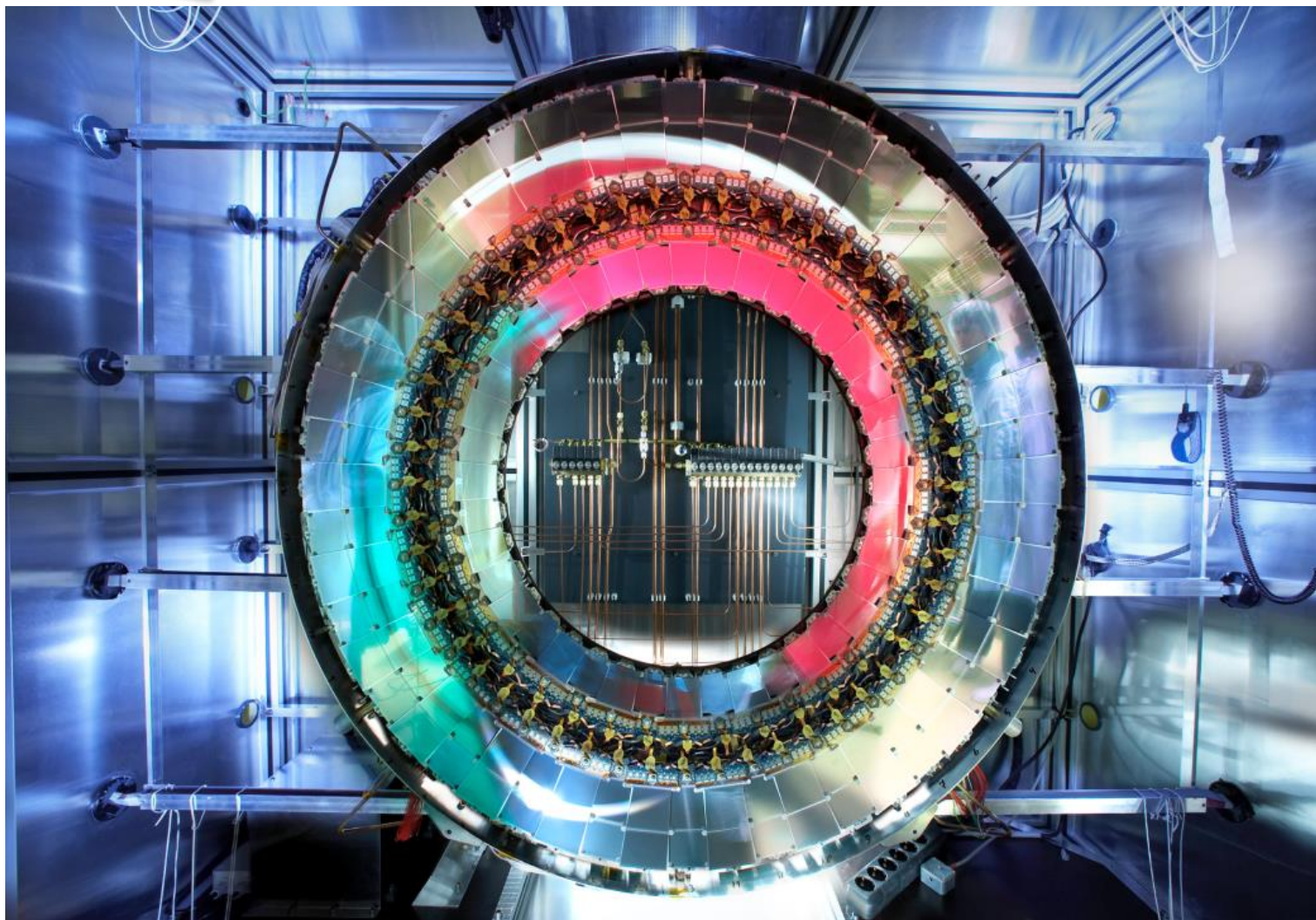
# Ahora mismo en el LHC



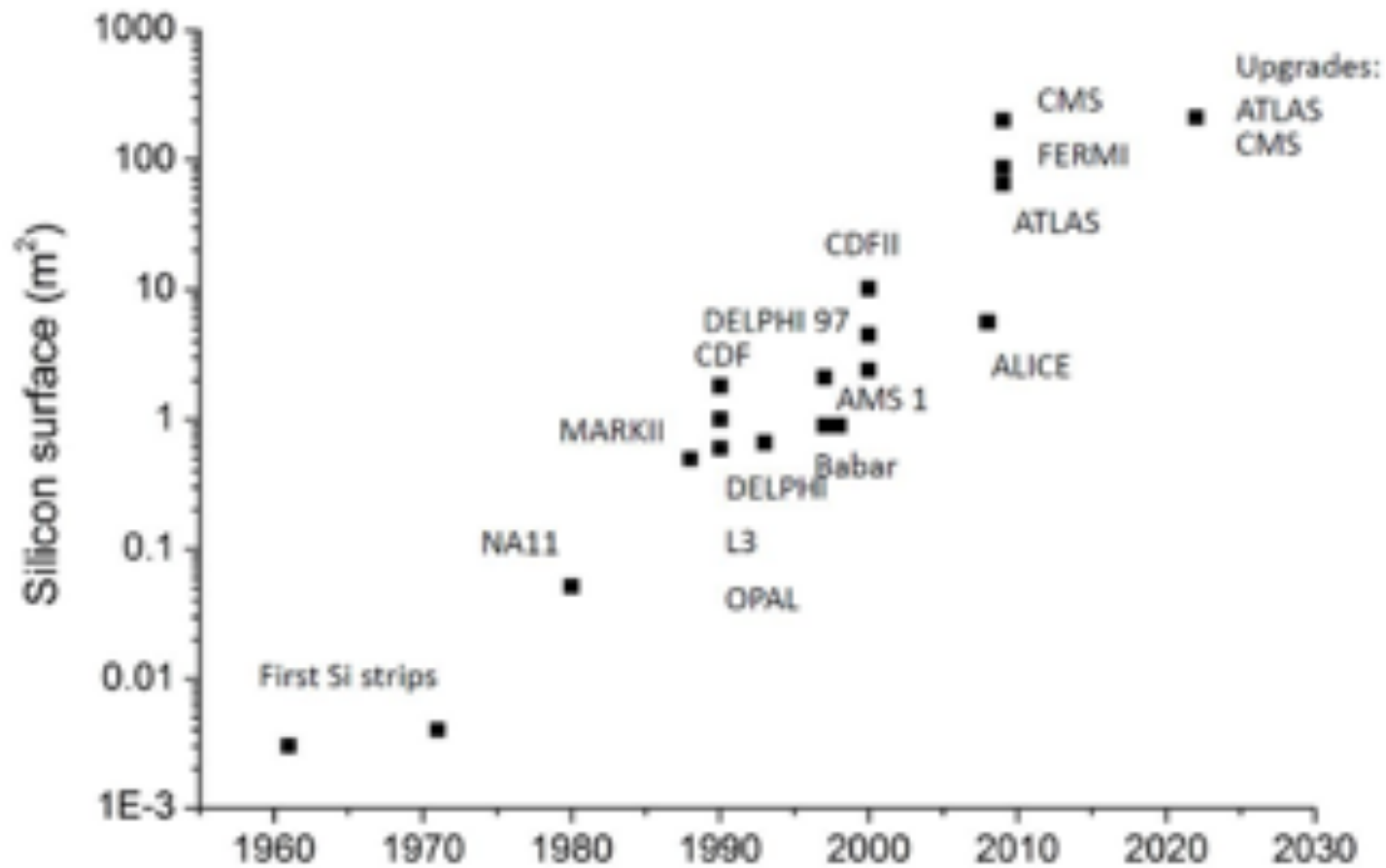
**Silicio en todas partes**



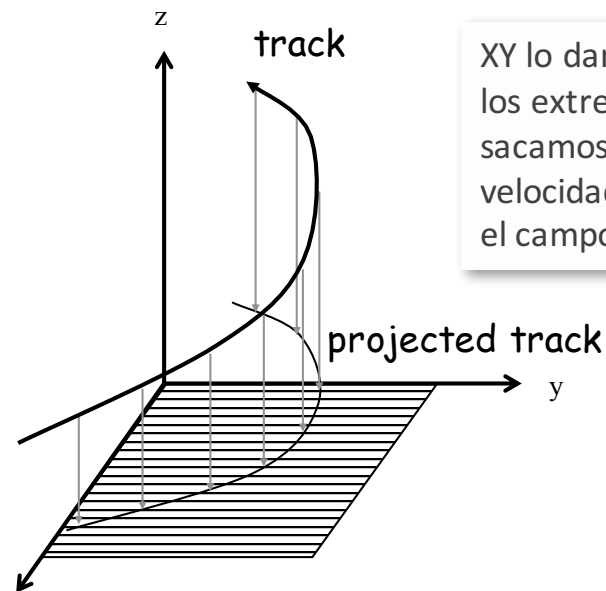
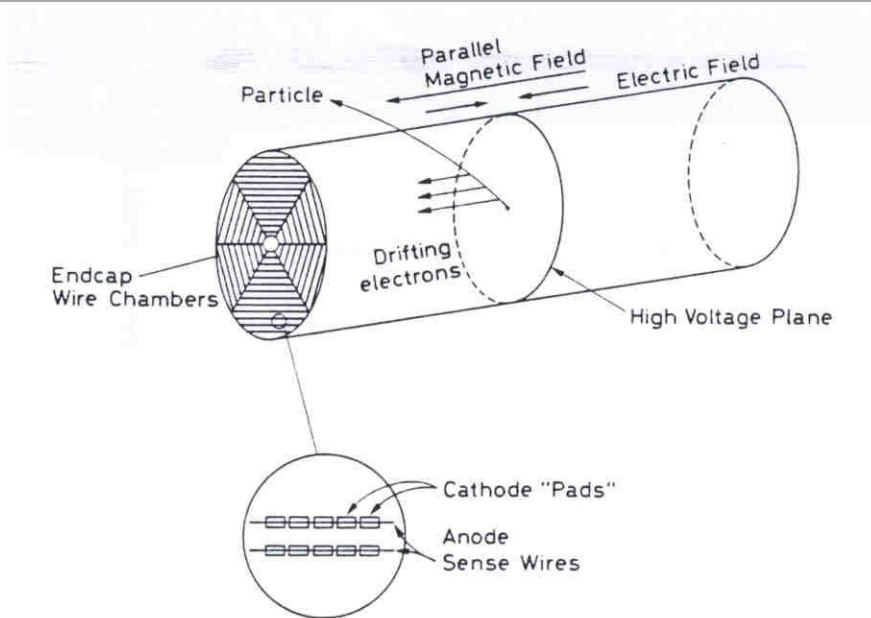
# Ahora mismo en el LHC



# Uso de detectores de silicio



# Detectores de trazas gaseosos: TPC



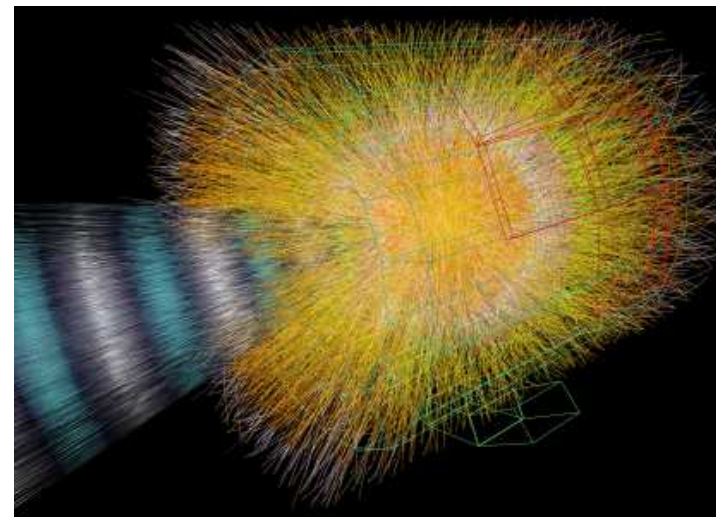
XY lo dan los pixeles en los extremos. La Z la sacamos del tiempo y la velocidad de deriva en el campo

## Time Projection Chamber: TPC.

Cuando la cantidad de material es un problema, siempre nos queda el gas.

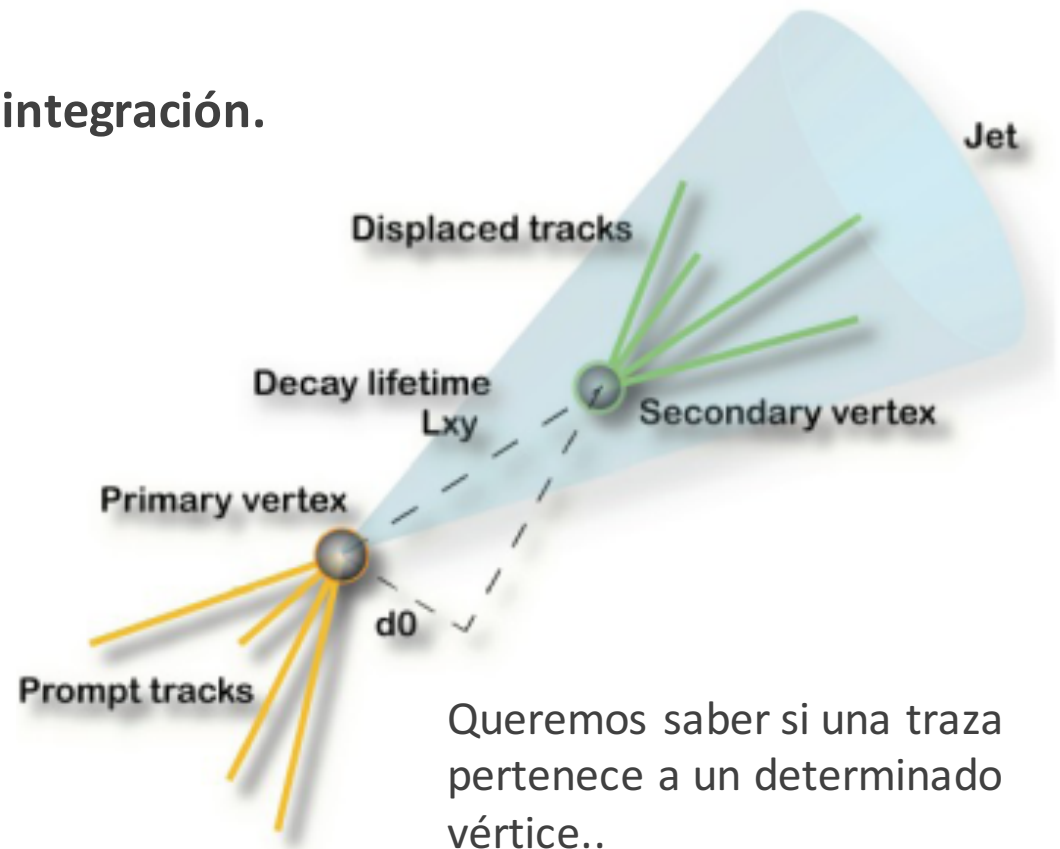
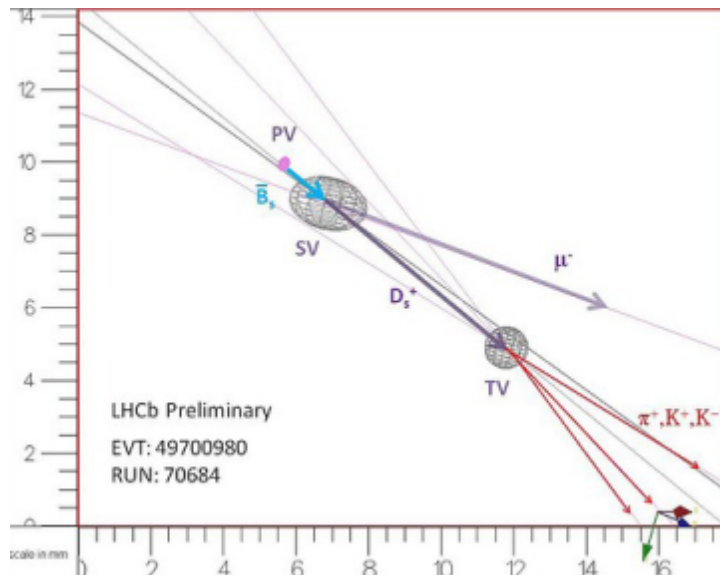
Llenamos un volumen de gas, con un campo eléctrico que hace derivar los iones hacia los extremos que están segmentados.

Si además medimos el tiempo, podemos reconstruir la traza en 3D



# Lo que queremos lograr

Reconstruir una cadena de desintegración.



Queremos saber si una traza pertenece a un determinado vértice..

Nos lo dice  **$d_0$** : parámetro de impacto



# Lo que queremos lograr

$$\sigma_{d_0} \approx a \oplus \frac{b}{p_T \sin^{1/2} \theta}$$

Depende de:

a: resolución intrínseca  
(tamaño del pixel o  
separación entre strips.)

b: cantidad de material  
atravesado

	a (μm)	b (μm GeV)
LHC	12	70
STAR	12	19
Belle II	8.5	10
ILC	5	10



Un pixel pequeño (granularidad) nos da una “imagen más nítida” y permite separar mejor entre trazas.



# Lo que queremos lograr

$$\sigma_{d_0} \approx a \oplus \frac{b}{p_T \sin^{1/2} \theta}$$

Depende de:

- a: resolución intrínseca  
(tamaño del pixel o  
separación entre strips.)
- b: cantidad de material  
atravesado

	a (μm)	b (μm GeV)
LHC		70
CEPC	19	
ILC	10	
CLIC	10	

**¿ALGÚN OTRO MOTIVO POR EL QUE QUERAMOS MUY BUENA RESOLUCIÓN ESPACIAL ?**



Un pixel pequeño (granularidad) nos da una “imagen más nítida y permite separar mejor entre trazas.

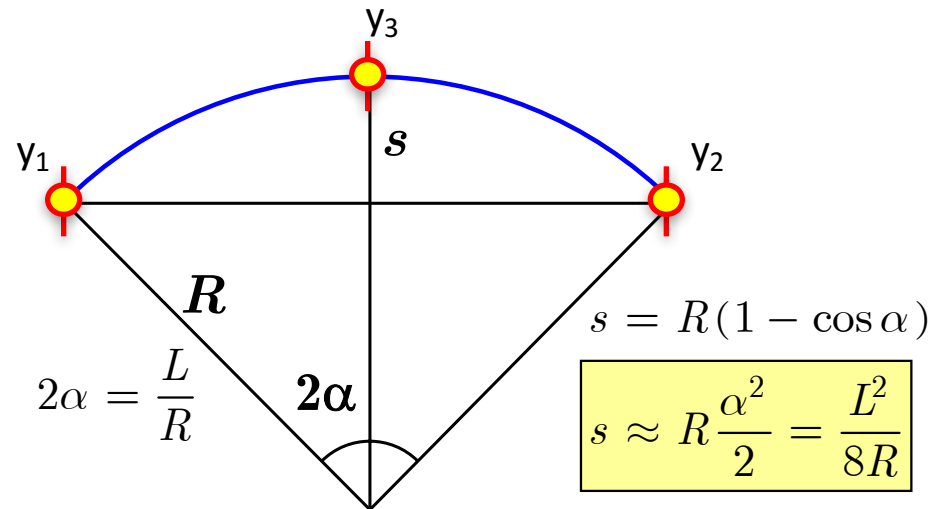
# Lo que queremos hacer

También queremos medir **el momento de las partículas**.

A mayor momento, menor la curvatura y por tanto la sagita.

Para distinguirlo de una recta queremos una muy buena resolución espacial

$$P_T = 0.3 B R \rightarrow \frac{\delta p}{p} = \frac{\delta R}{R}$$



$$\frac{\delta p}{p} = \frac{8p}{0.3BL^2} \delta y$$

# Lo que queremos hacer

$$\sigma_{d_0} \approx a \oplus \frac{b}{p_T \sin^{1/2} \theta}$$

Depende de:

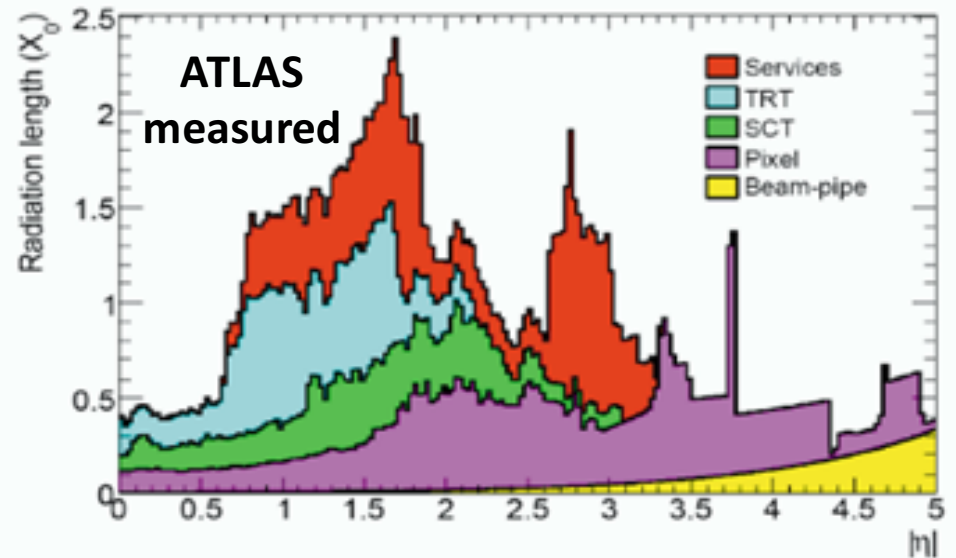
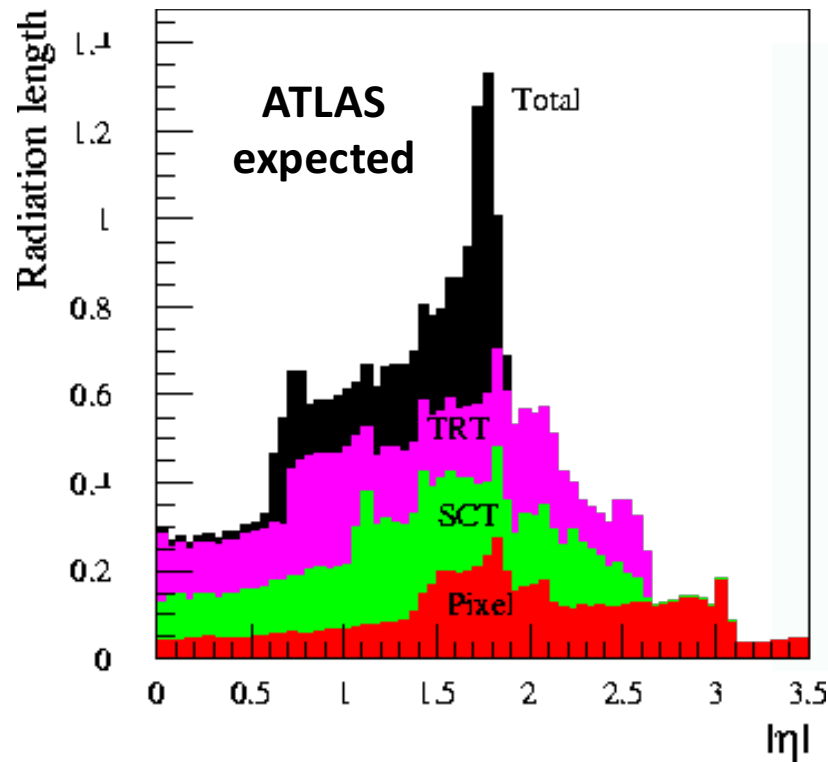
a: resolución intrínseca  
(tamaño del pixel o  
separación entre strips.)

b: cantidad de material  
atravesado

	a (μm)	b (μm GeV)
LHC	12	70
STAR	12	19
Belle II	8.5	10
ILC	5	10

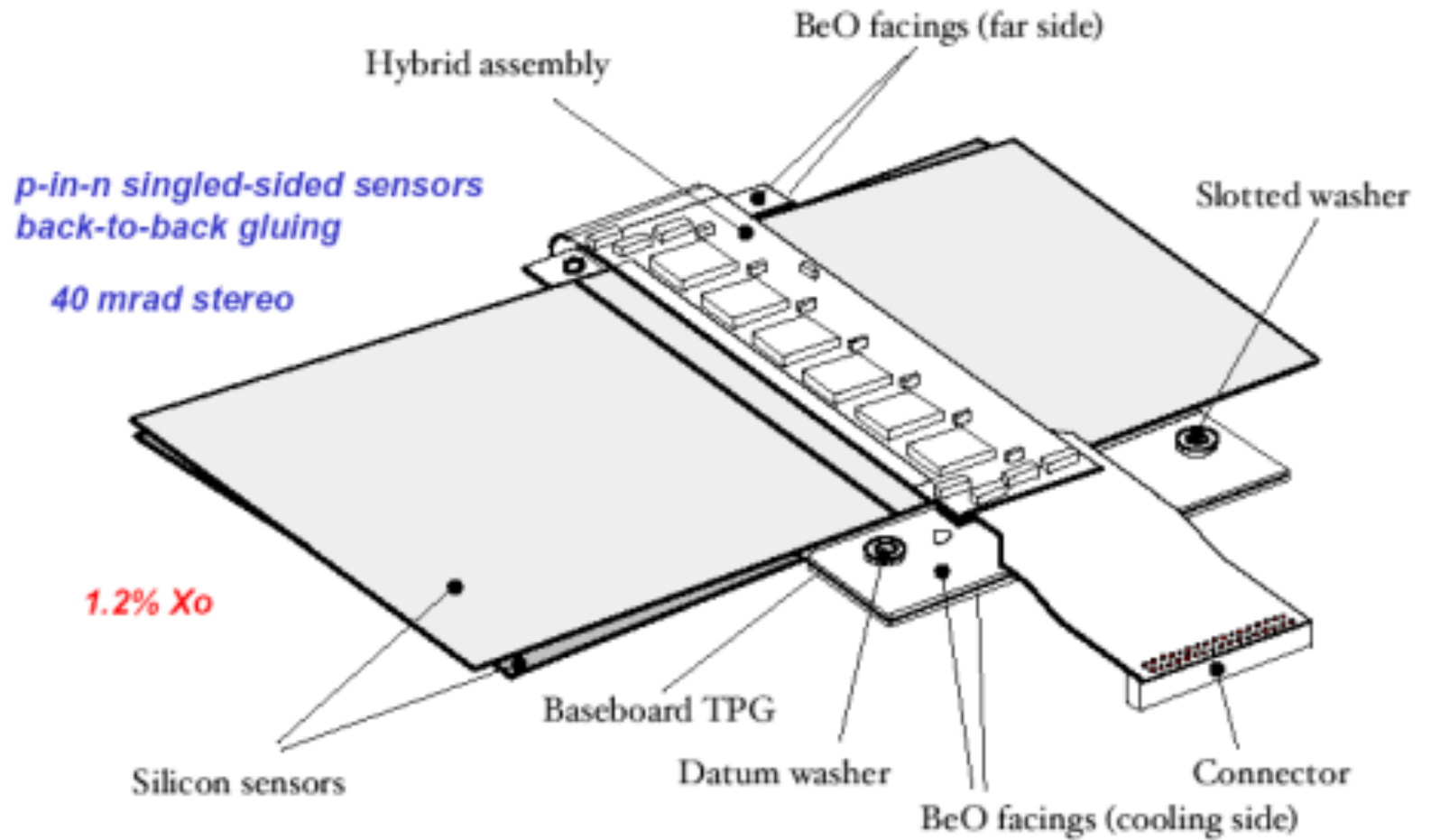
No queremos estropear una resolución intrínseca muy buena con una “b” muy grande, es decir añadiendo material no sensible....

# El presupuesto de material...

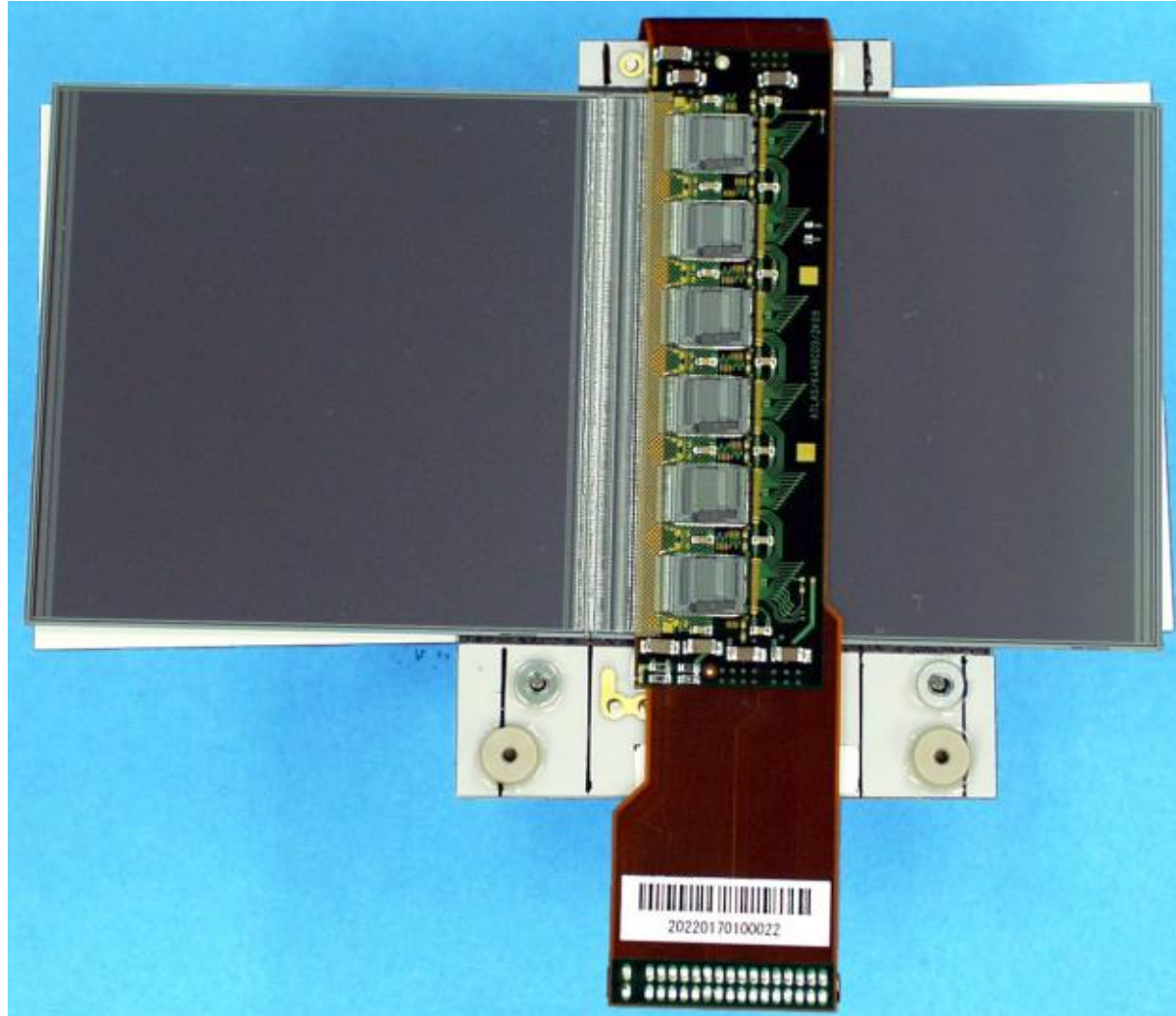


Tanto ATLAS como CMS calcularon mal.  
Los detectores para los nuevos aceleradores necesitan que esto lo tengamos muy en cuenta desde el principio

# Ejemplo ATLAS: un buen diseño

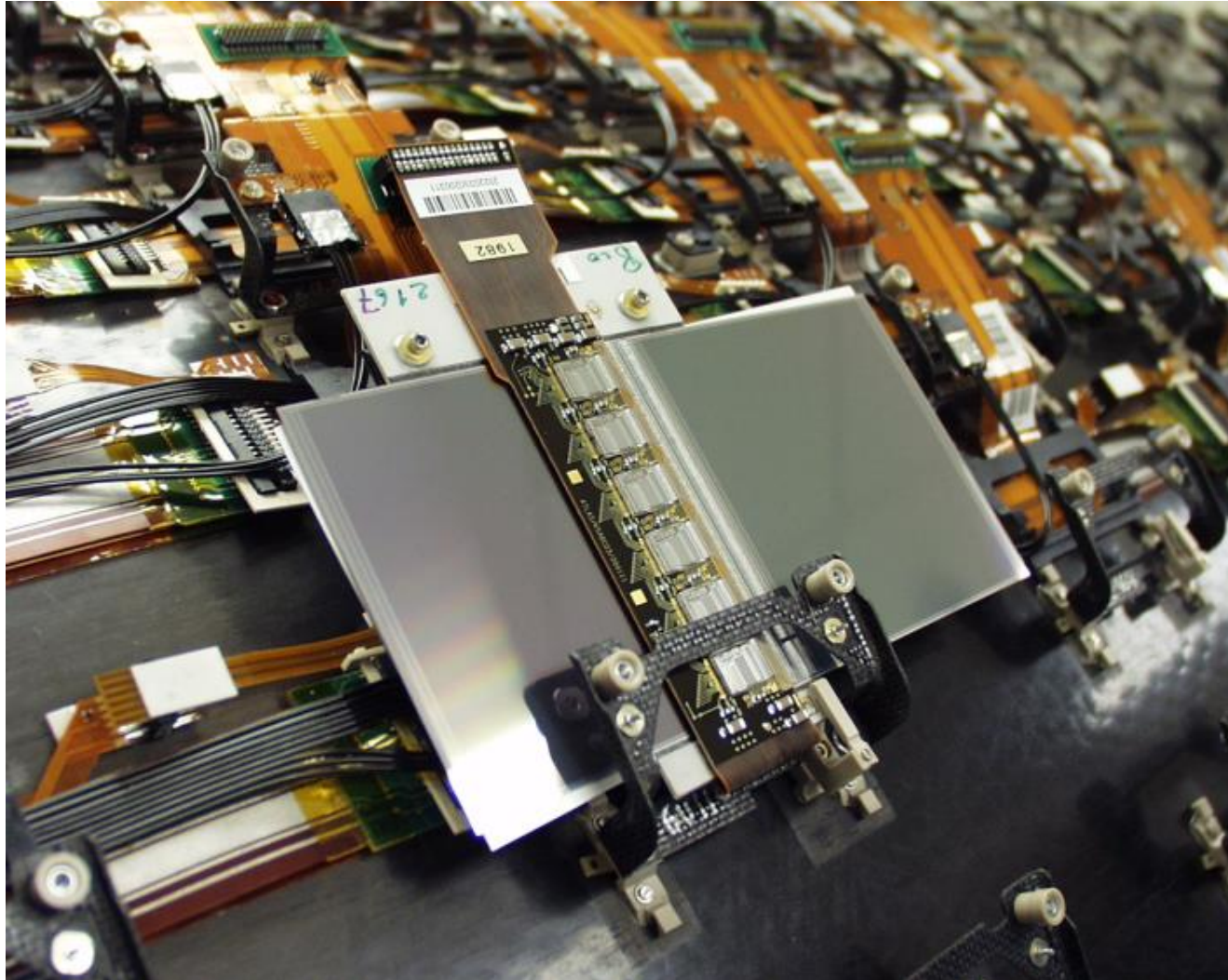


# Una buena implementación



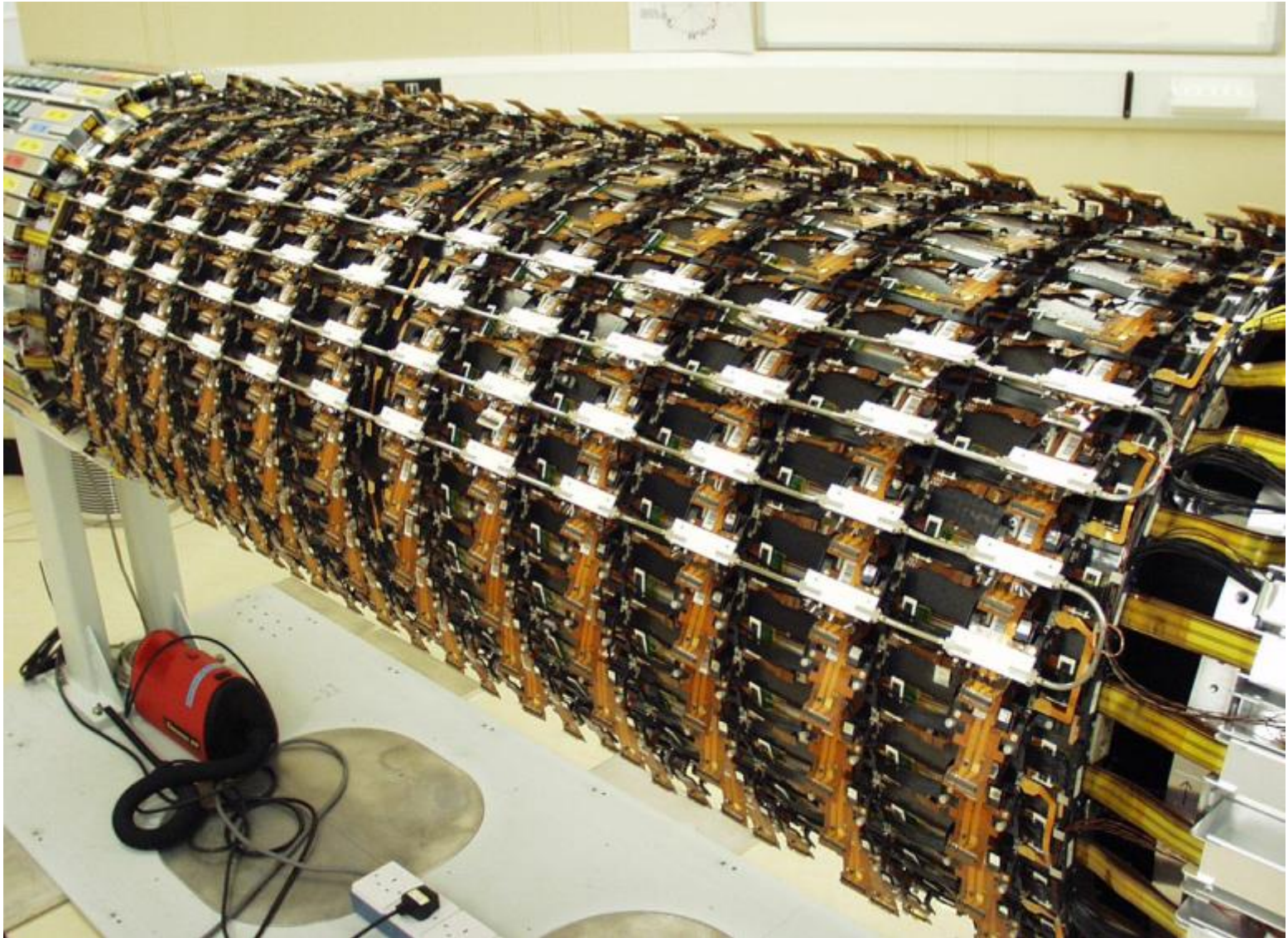


# Vaya... La estructura de soporte



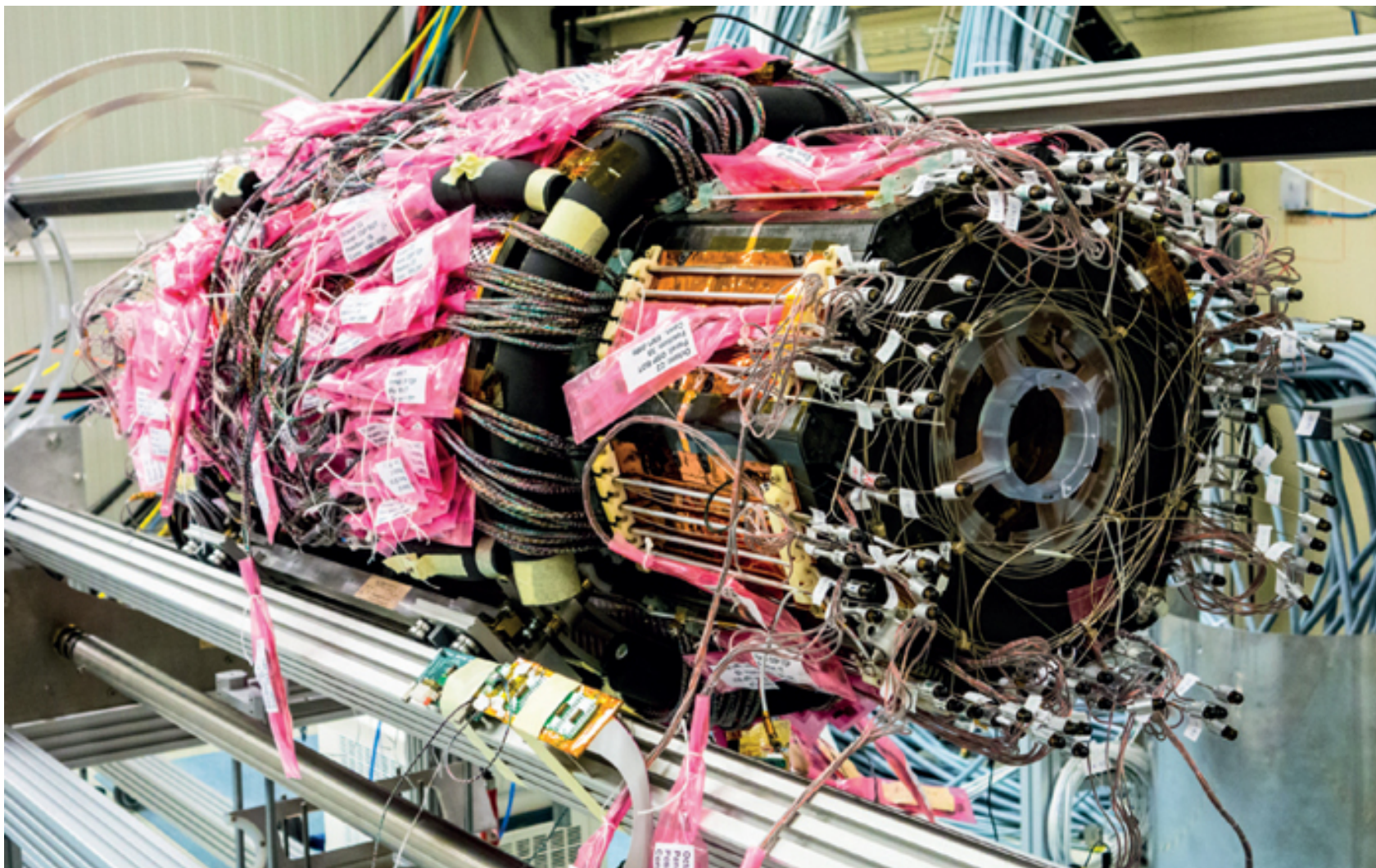


Ah, la refrigeración... ☹



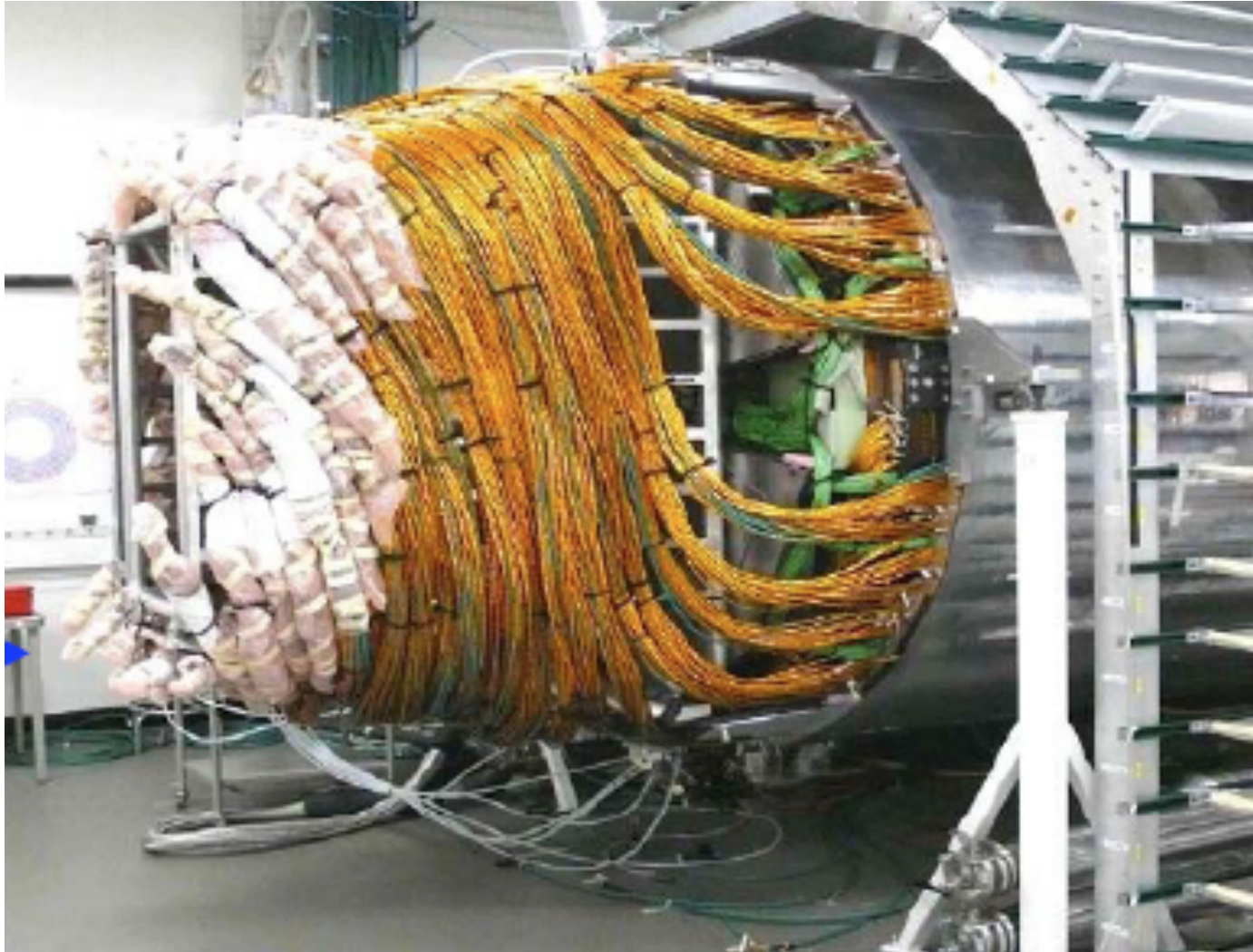


# Algunas tuberías y cables...





# Espera... más cables !!!



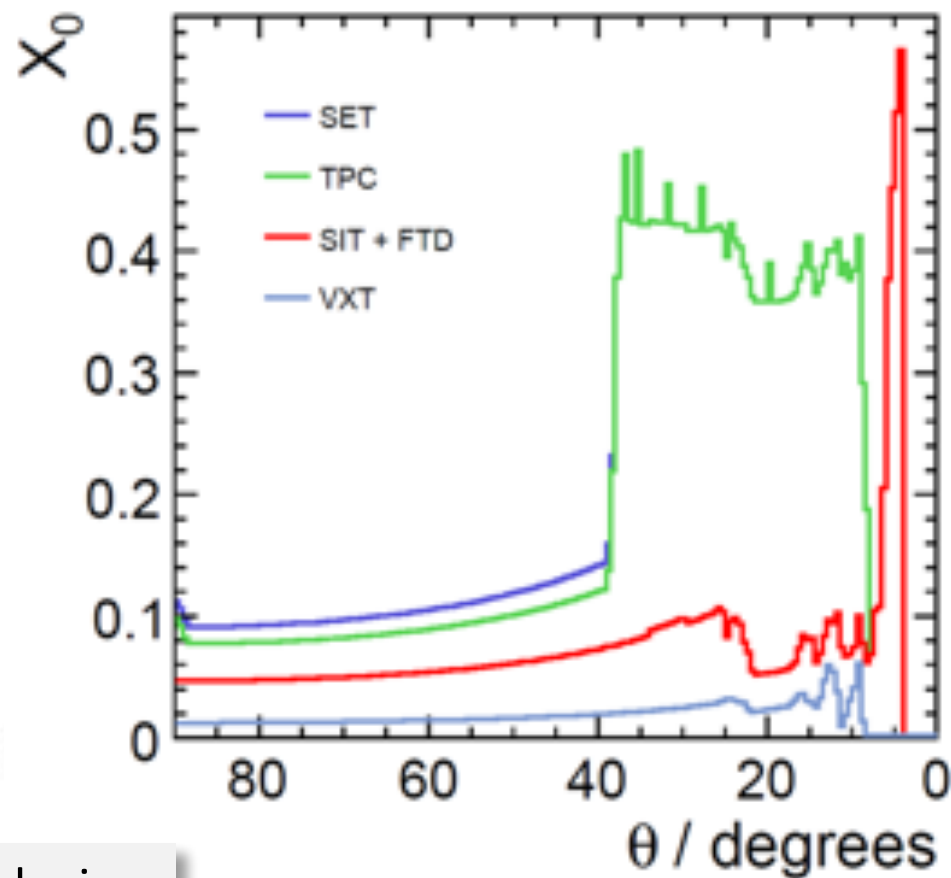
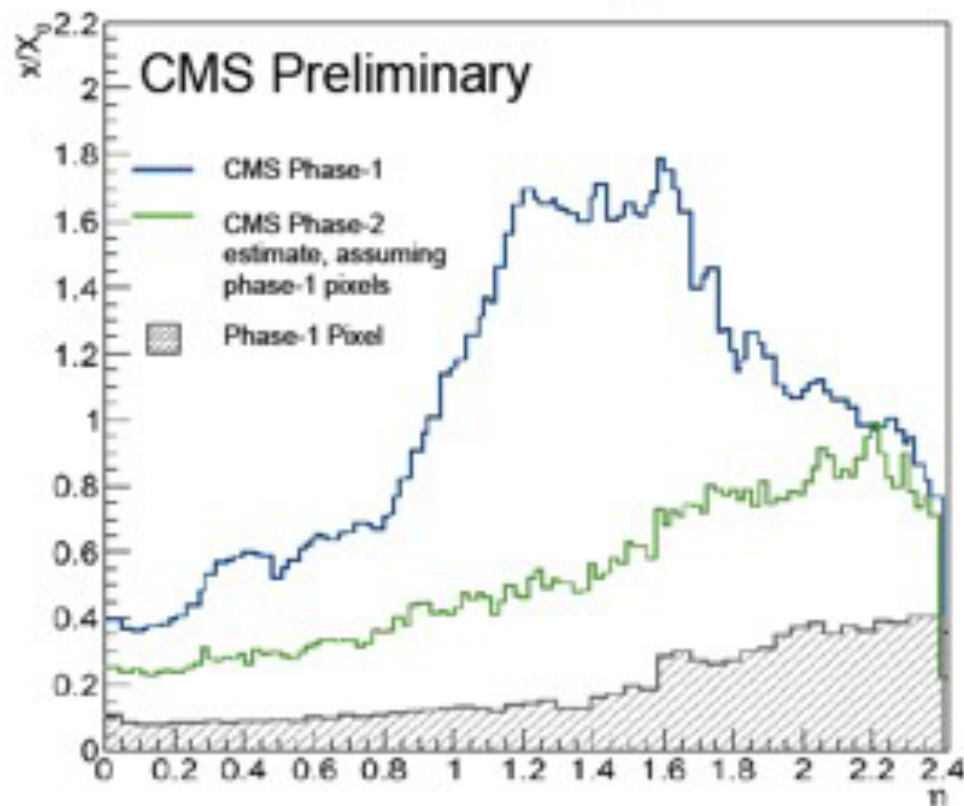
# Espera... más cables !!!



Y esto explica por qué en ATLAS se nos  
fué la mano con el material.....

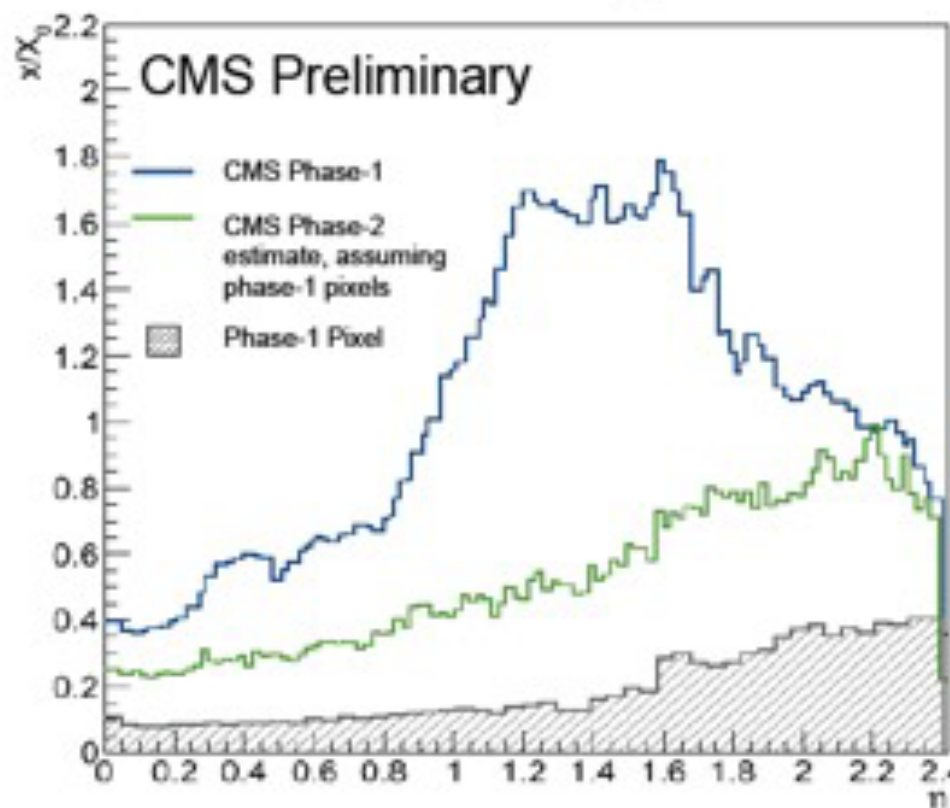


# Los upgrades para el HL-LHC y el ILC

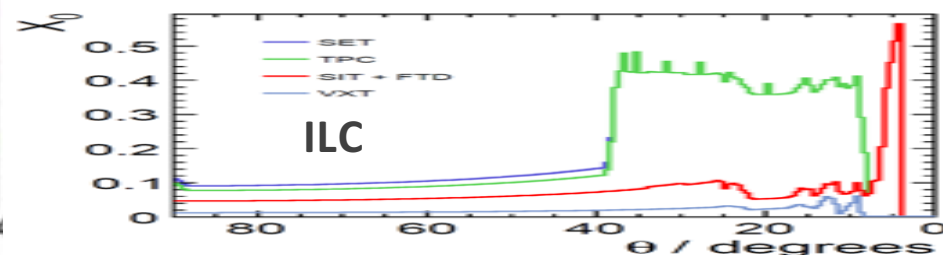


Los detectores trazas del HL-LHC quieren reducir un factor 2 la cantidad de material.

# Los upgrades para el HL-LHC y el ILC



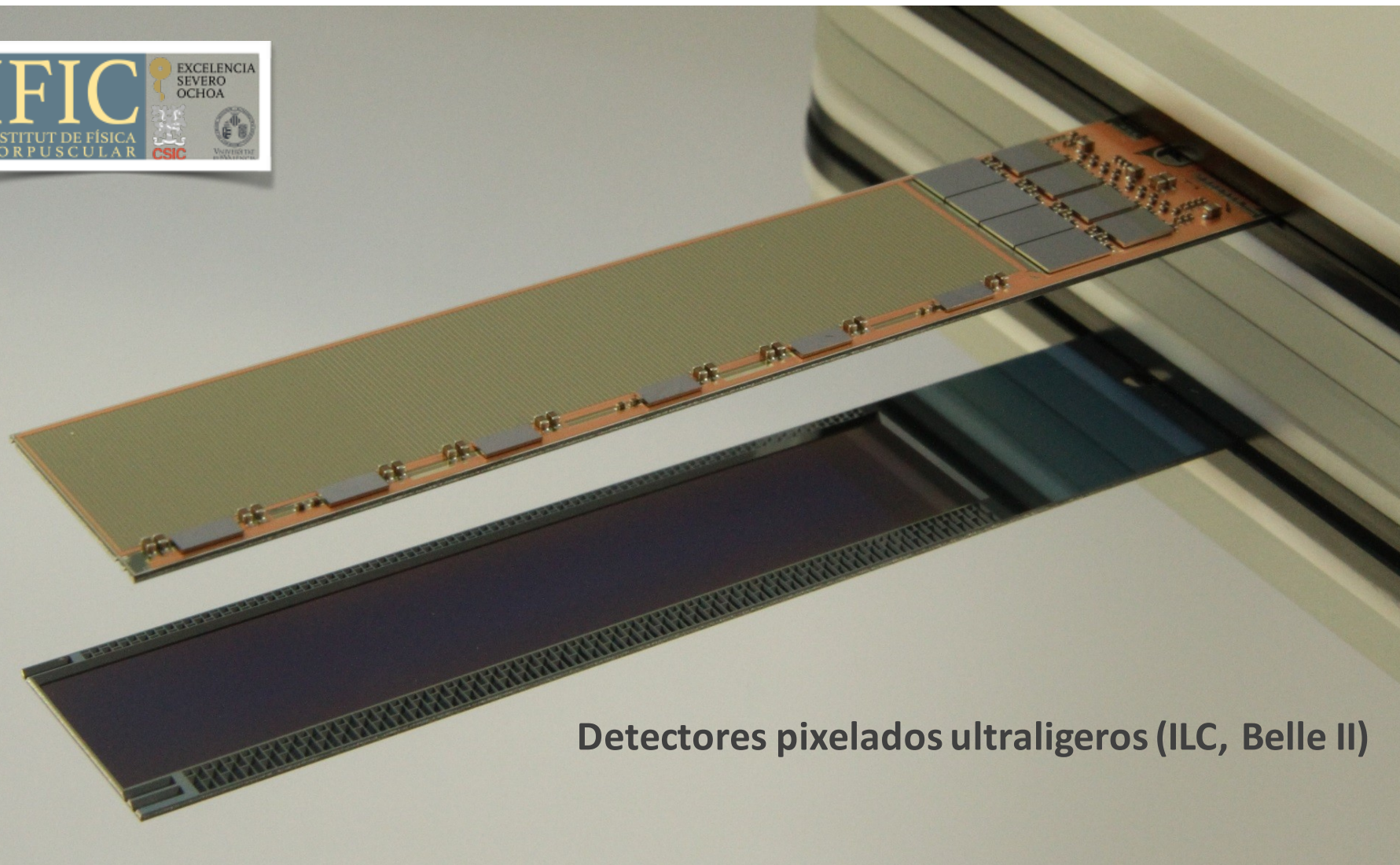
Si ponemos las cosas en escala, vemos que los requerimientos del ILC c.r.a. material son muy estrictos.



Los detectores trazas del HL-LHC quieren reducir un factor 2 la cantidad de material.



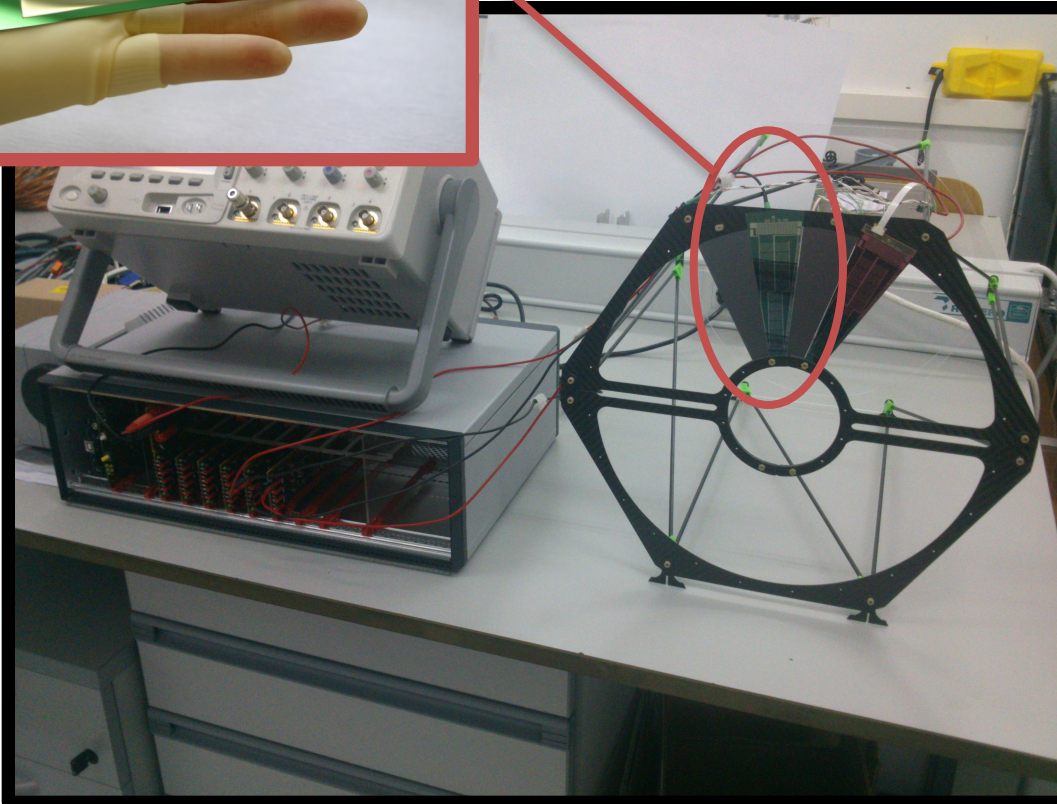
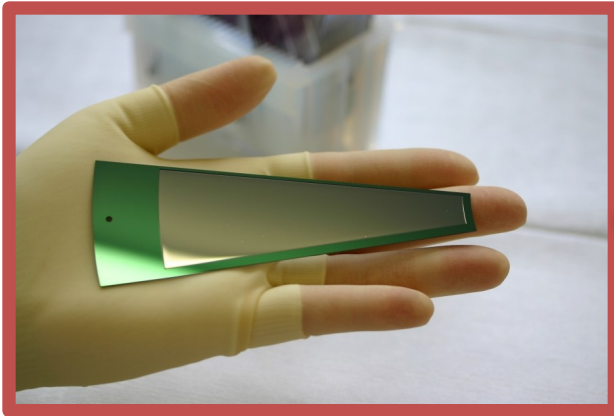
# Detectores DEPFET



Detectores pixelados ultraligeros (ILC, Belle II)

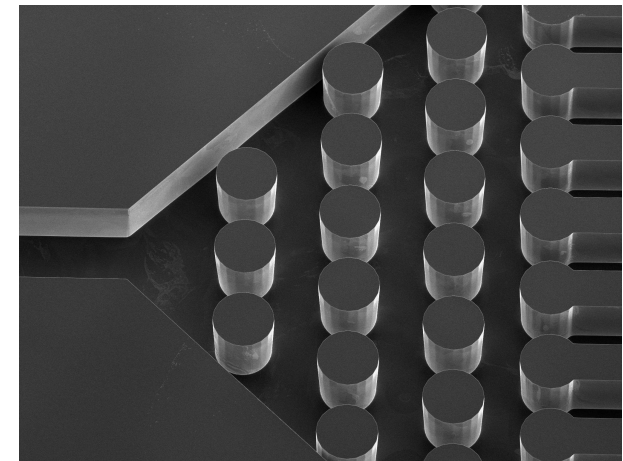


# Ahorro de material en los servicios



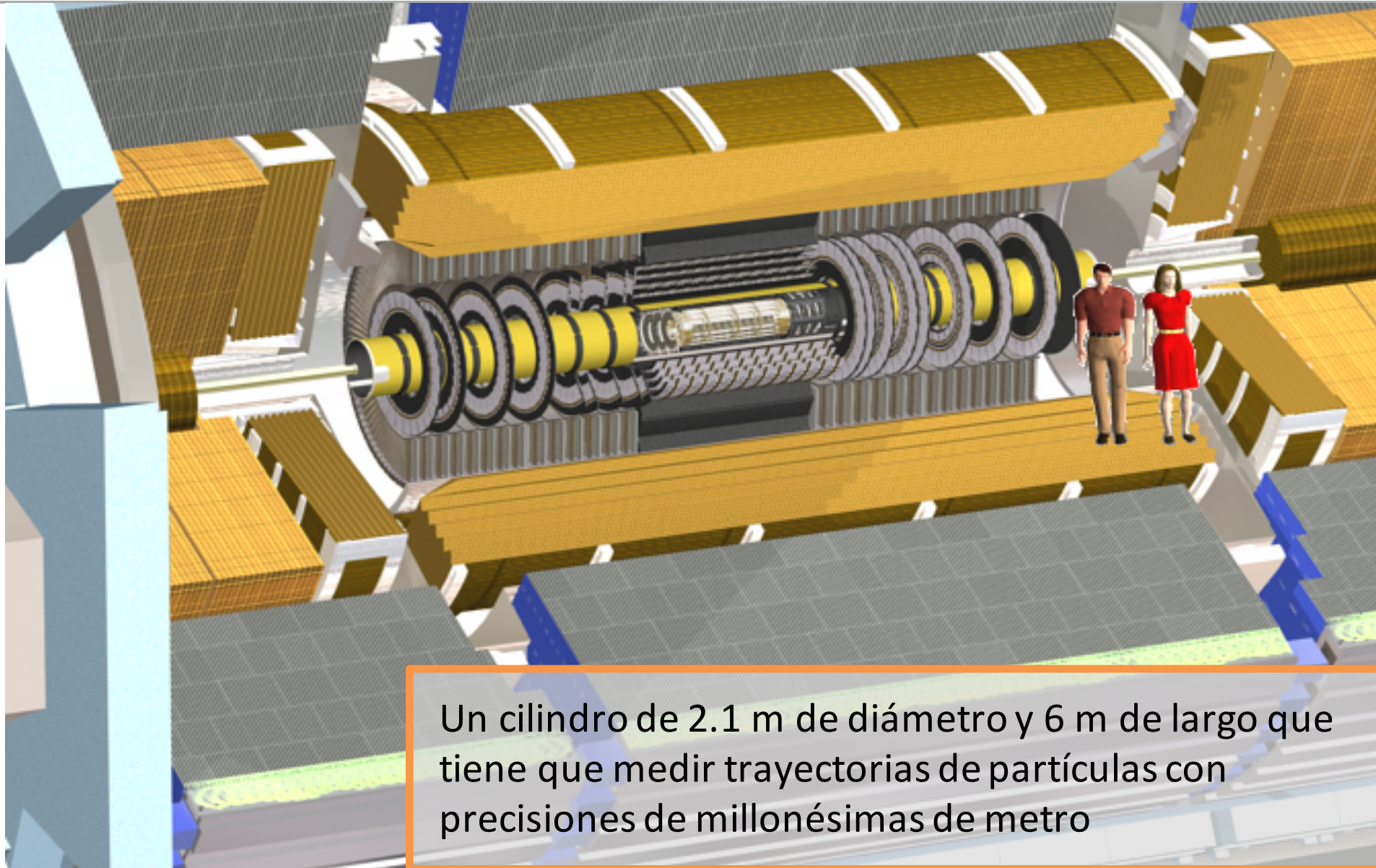
Refrigeración por convección, estudio de posibles vibraciones propias y eficiencia térmica.

Microcanales embebidos en los propios detectores o cables para refrigerar





# Detectores de trazas para HL-LHC ATLAS

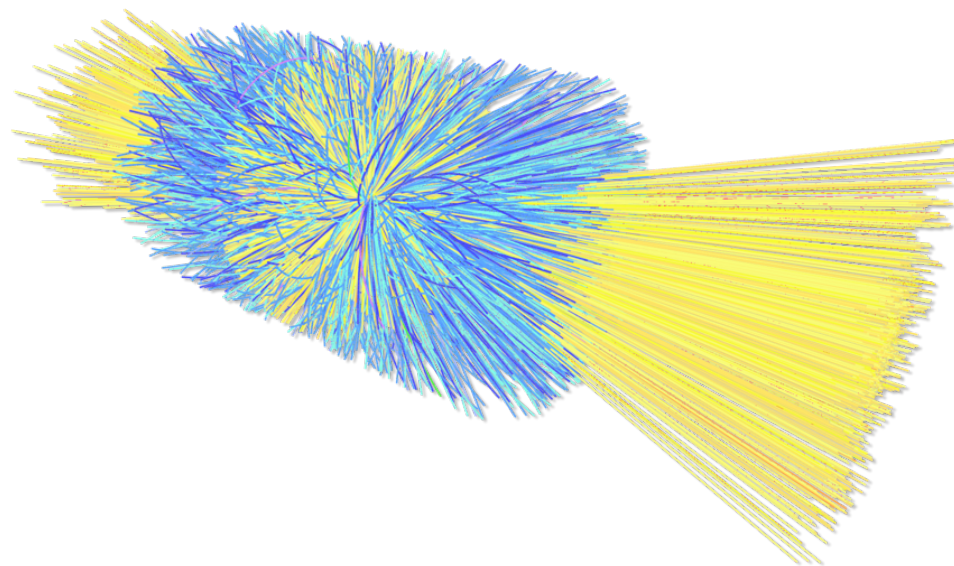


Un cilindro de 2.1 m de diámetro y 6 m de largo que tiene que medir trayectorias de partículas con precisiones de millonésimas de metro



# Detector de trazas para HL-LHC ATLAS

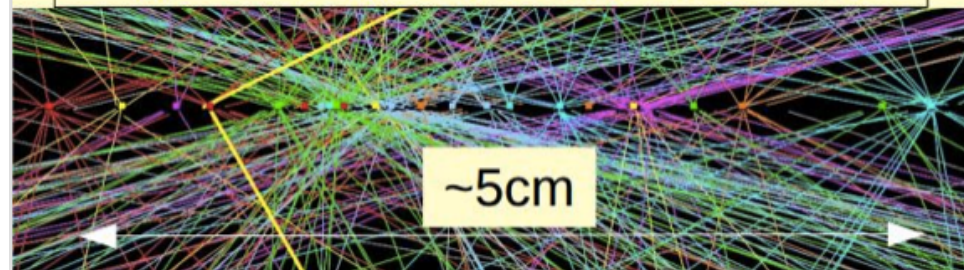
ttbar event with 140 pile-up events  
(ATLAS simulation)



Esperamos del orden de 1000 trazas por colisión con 140 eventos superpuestos por cruce de haz.

Niveles de radiación altísimos. Hay que diseñar sensores y electrónica que resista...

$Z \rightarrow \mu\mu$  event with 25 reconstructed vertices

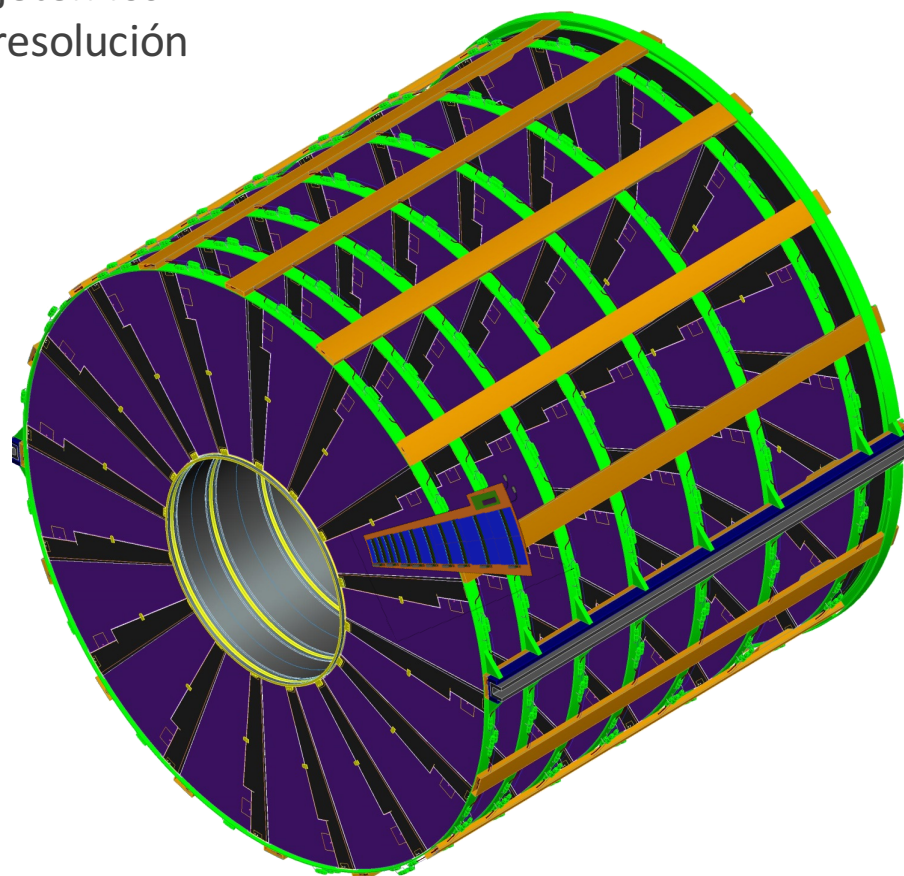
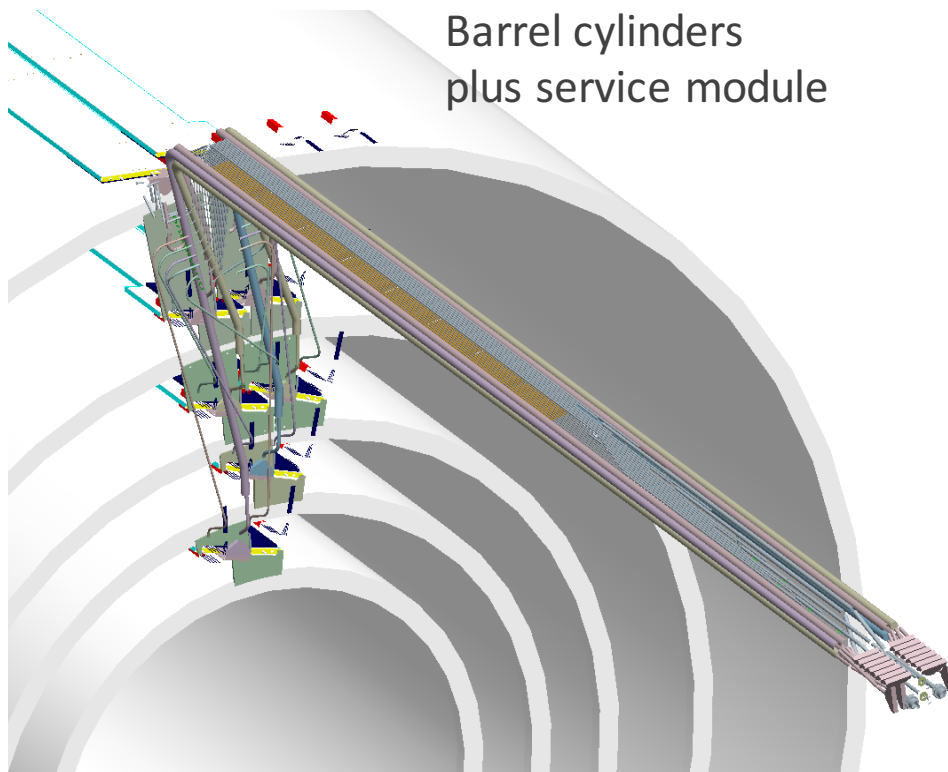


# Detector de trazas para HL-LHC ATLAS

Endcap  
cylinder

Diseño de estructuras mecánicas enormes que sujeten los detectores en posición sin que echen a perder la resolución intrínseca de éstos.

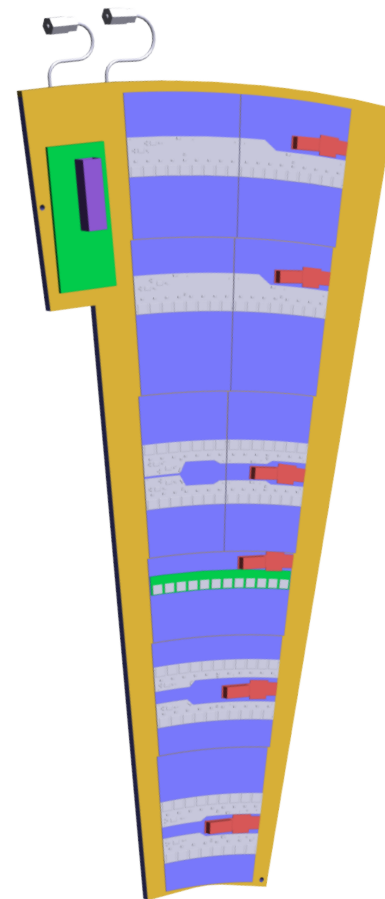
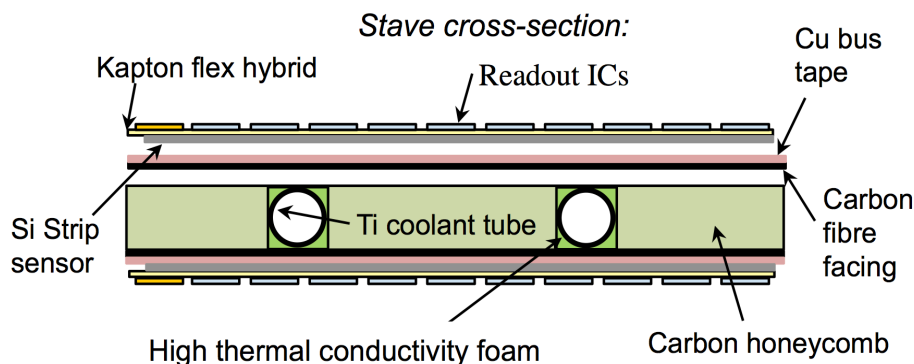
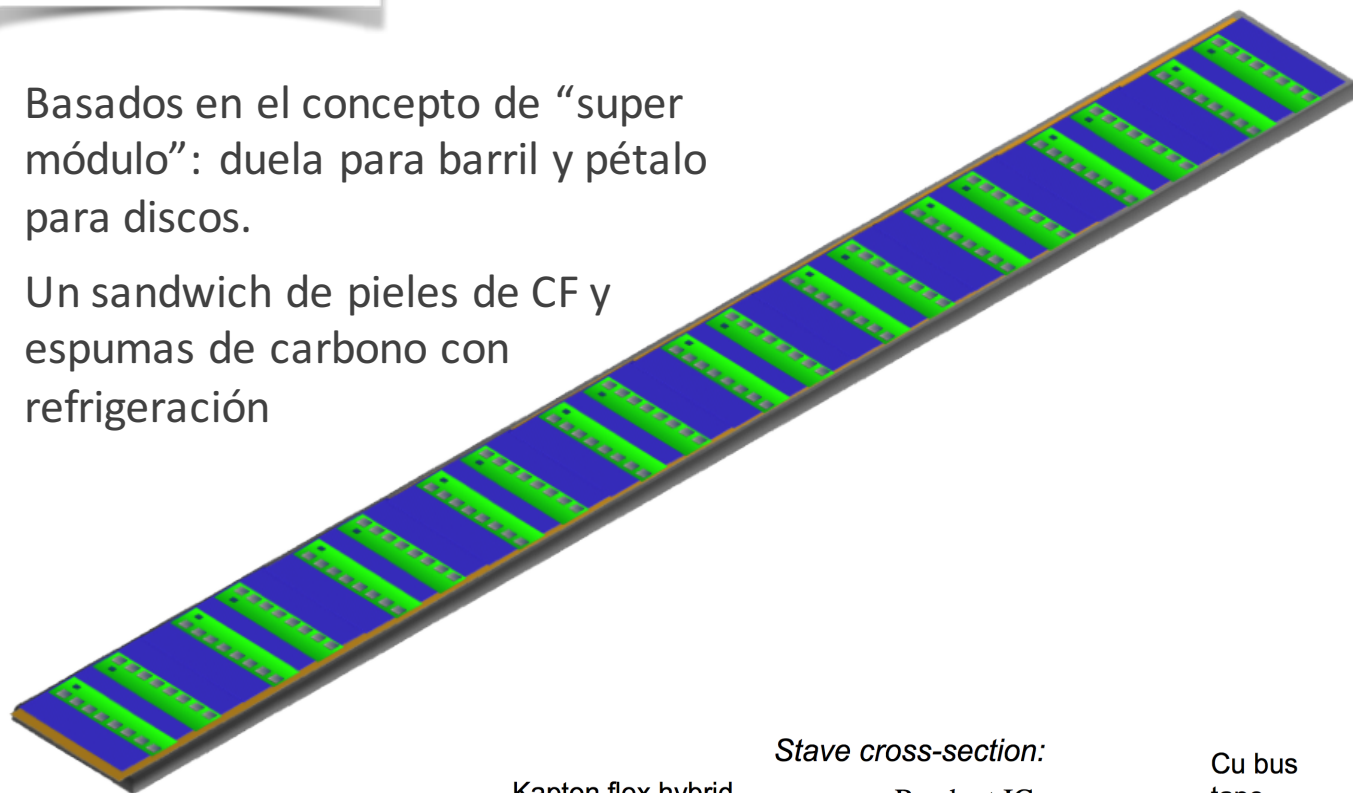
Barrel cylinders  
plus service module



# Detectores de Trazas para HL-LHC ATLAS

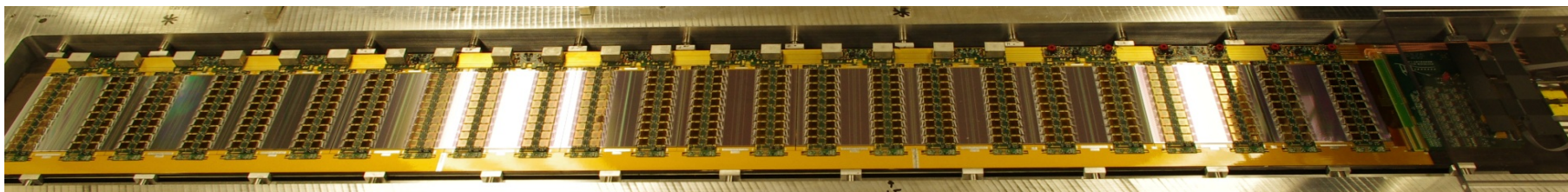
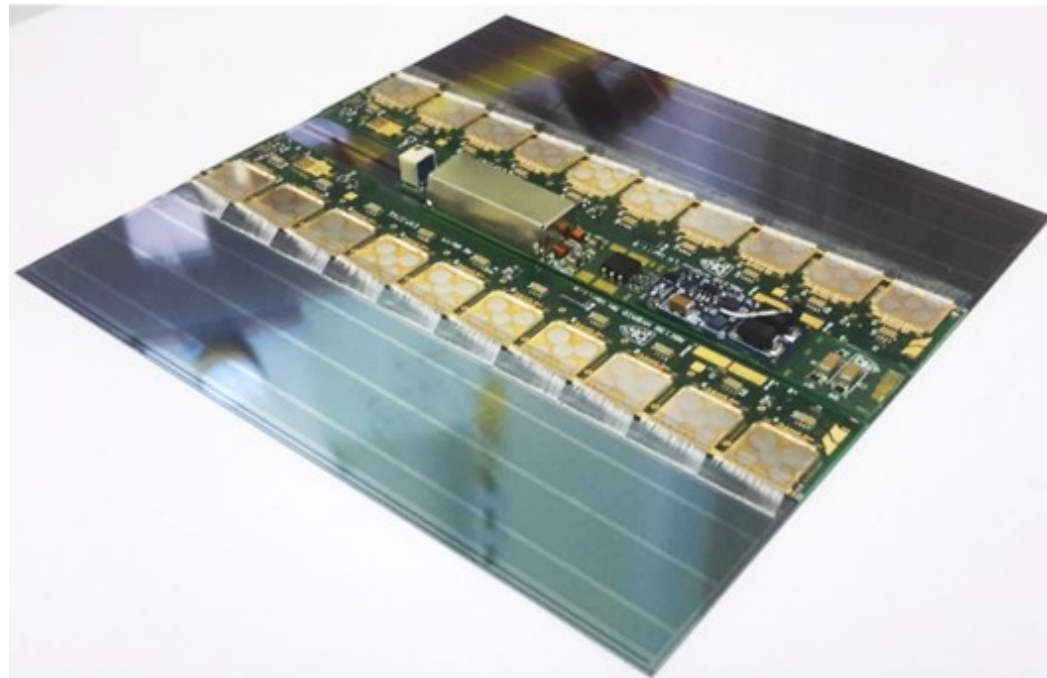
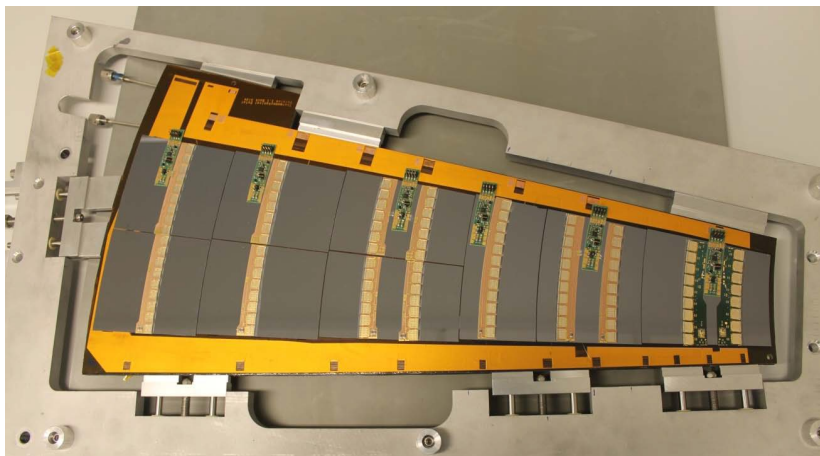
Basados en el concepto de “super módulo”: duela para barril y pétalo para discos.

Un sandwich de pieles de CF y espumas de carbono con refrigeración





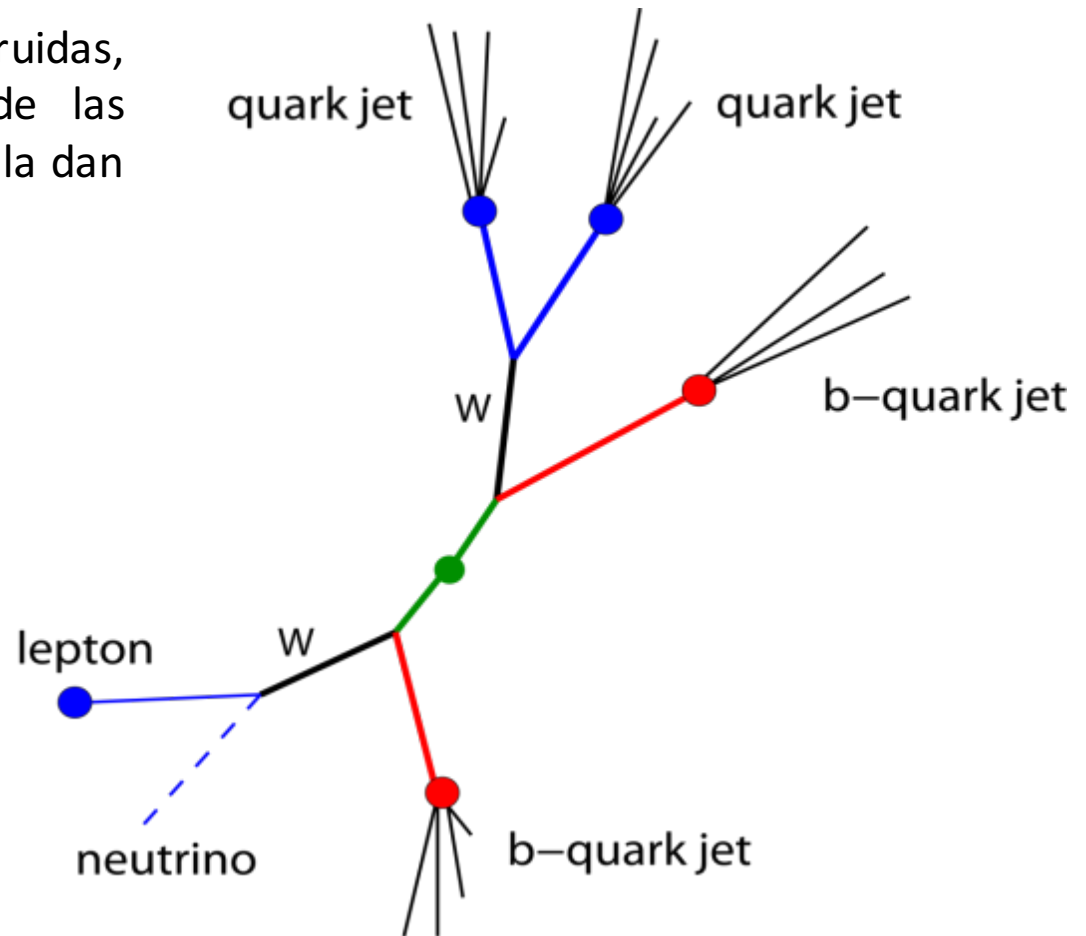
# Detectores de trazas para HL-LHC ATLAS



# Medida de la energía

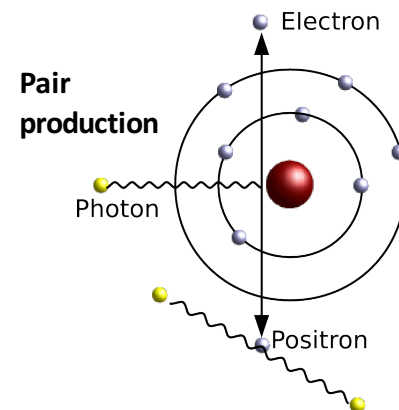
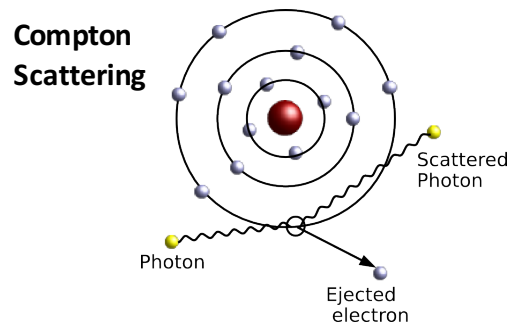
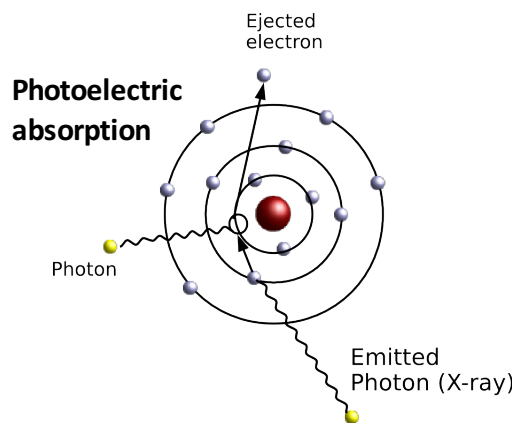
Con los vértices y trazas reconstruidas, nos falta medir la energía de las partículas. Esta información nos la dan los calorímetros

Lepton  $\rightarrow$  E.M. Calo.  
Jet  $\rightarrow$  Hadronic Calo.

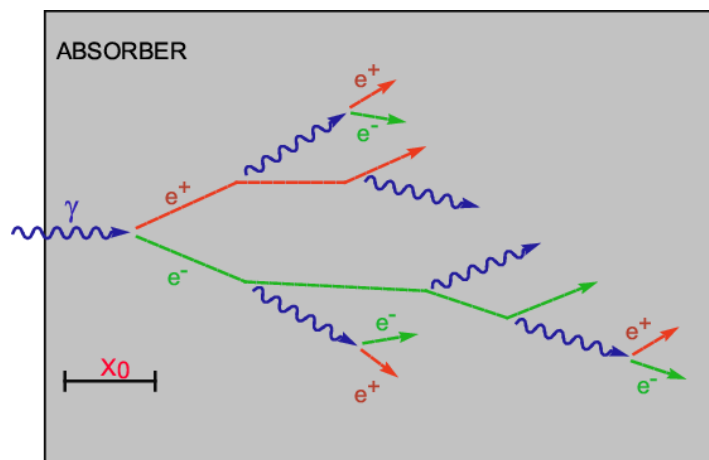


# Los fotones

Los fotones no ionizan a lo largo de su trayectoria. Su interacción es puntual

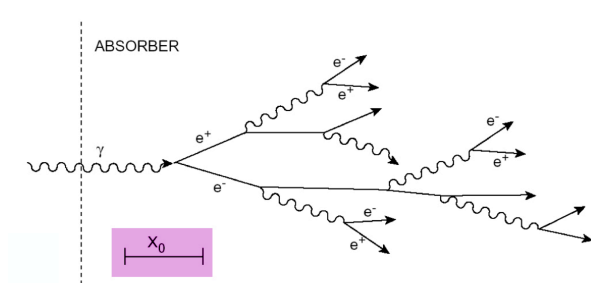


A altas energías predomina la producción de pares, dando lugar a las cascadas electromagnéticas.



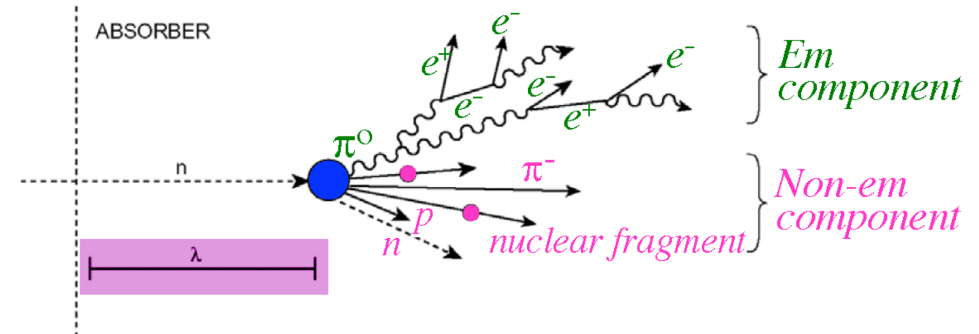


## Electromagnetic Showers



La unidad tamaño de la cascada electromagnética es la longitud de radiación: 1cm

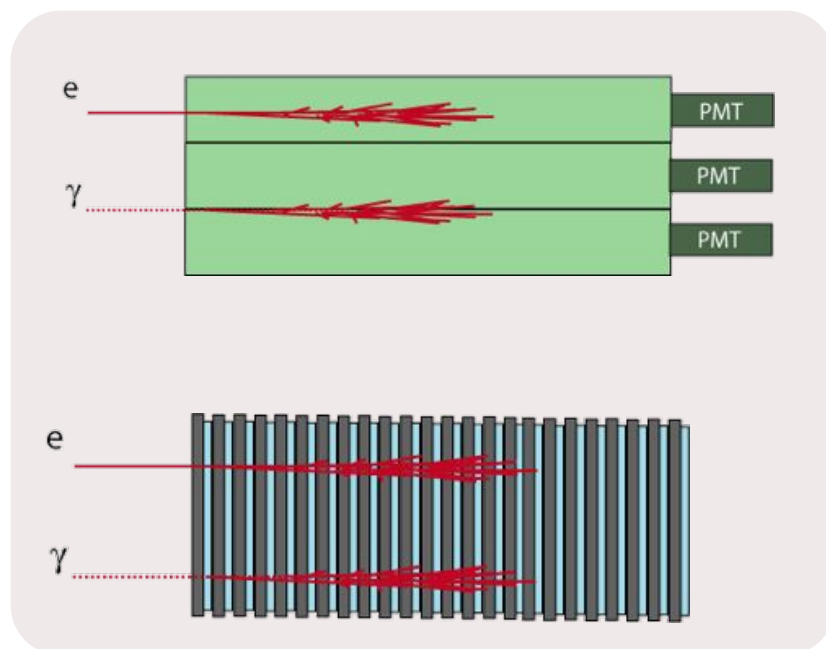
## Hadronic showers



Las cascadas hadrónicas están gobernadas por las interacciones nucleares y la unidad de tamaño es la longitud de interacción nuclear, que es del order de 20 cm.

Hacen falta toneladas de material para contener una cascada hadrónica.

Tiene componentes EM y hadrónicos



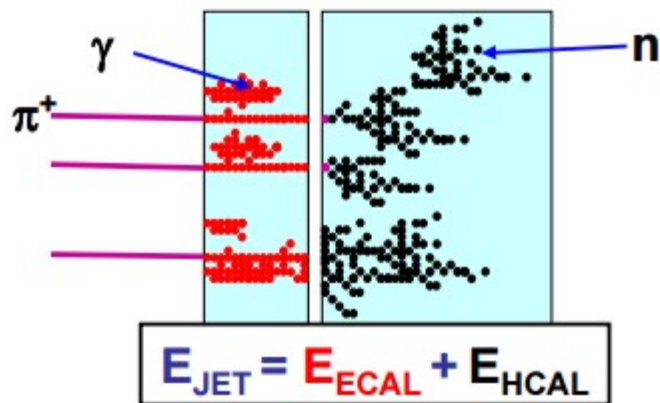
- Absorber = Active layer  
⇒ Total absorption calorimeters have better energy resolution
- Absorber  $\neq$  Active layer  
⇒ Sandwich calorimeters can be compact and highly segmented

# El paradigma del “Particle Flow”

En un jet típico,

1. El 60% de la energía viene de hadrones cargados,
2. El 30% de fotones
3. El 10% de hadrones neutros

En el método convencional usaríamos sólo ECAL+HCAL y la energía está, esencialmente limitada por la de la calorimetría hadrónica. No empleamos la información de las partículas cargadas

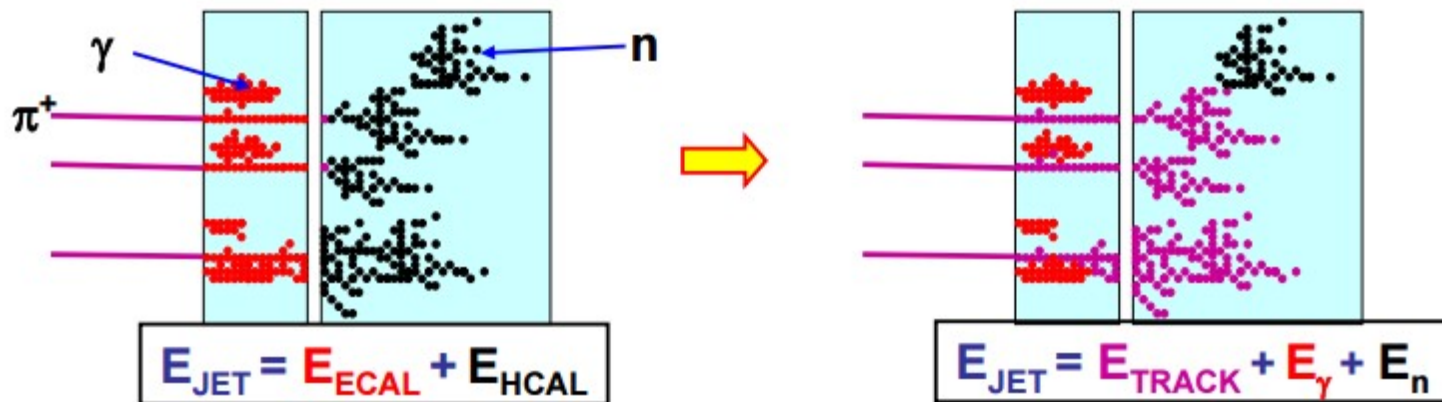


# El paradigma del “Particle Flow”

En un jet típico,

1. El 60% de la energía viene de hadrones cargados,
2. El 30% de fotones
3. El 10% de hadrones neutros

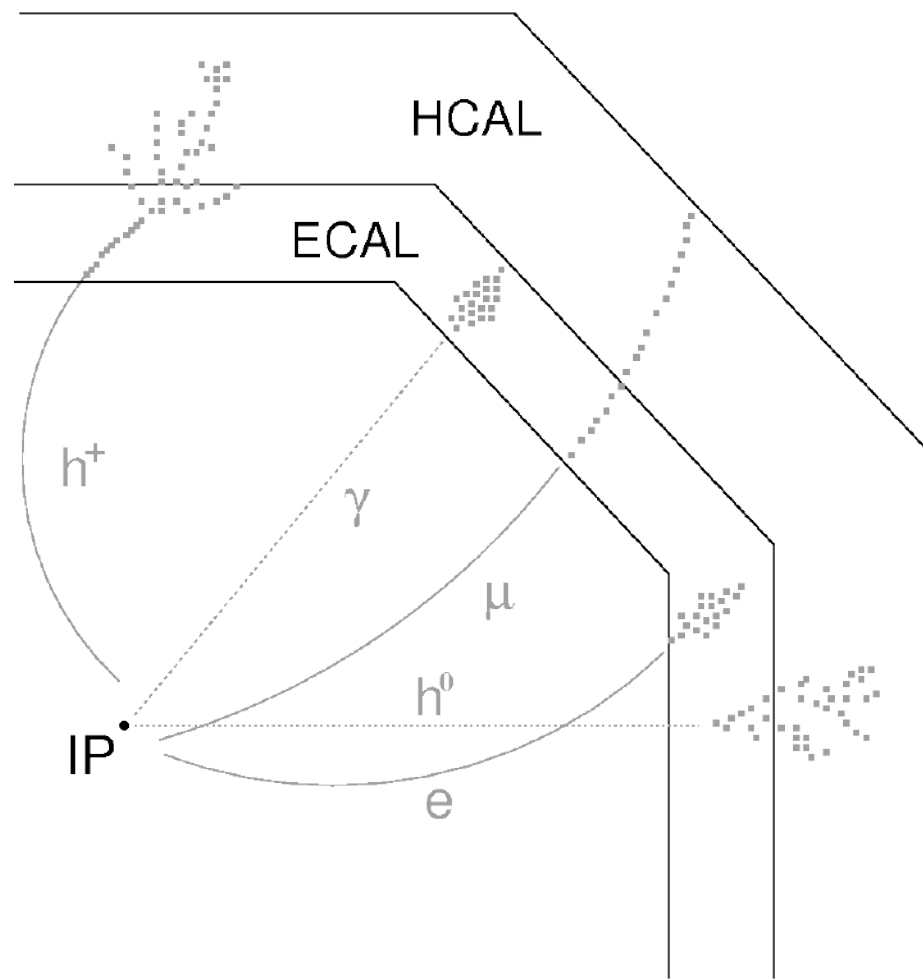
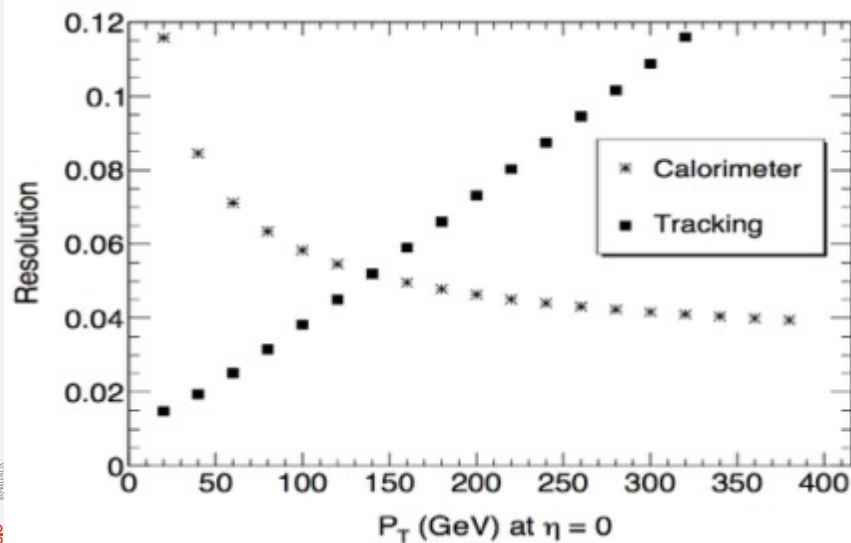
En el método convencional usaríamos sólo ECAL+HCAL y la energía está, esencialmente limitada por la de la calorimetría hadrónica. No empleamos la información de las partículas cargadas.



Empleo cada detector para lo que vale

# Particle Flow

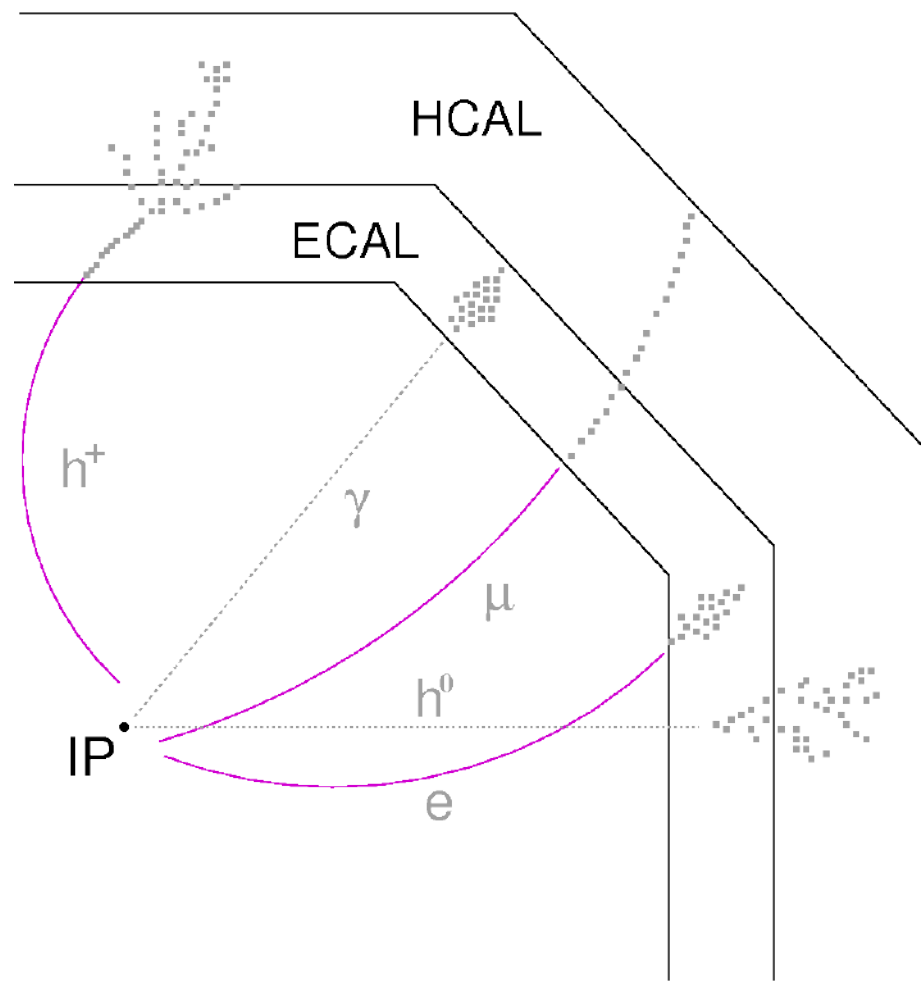
PFA intenta seguir el camino de las partículas en el detector enfatizando el papel de los detectores de trazas en la calorimetría:





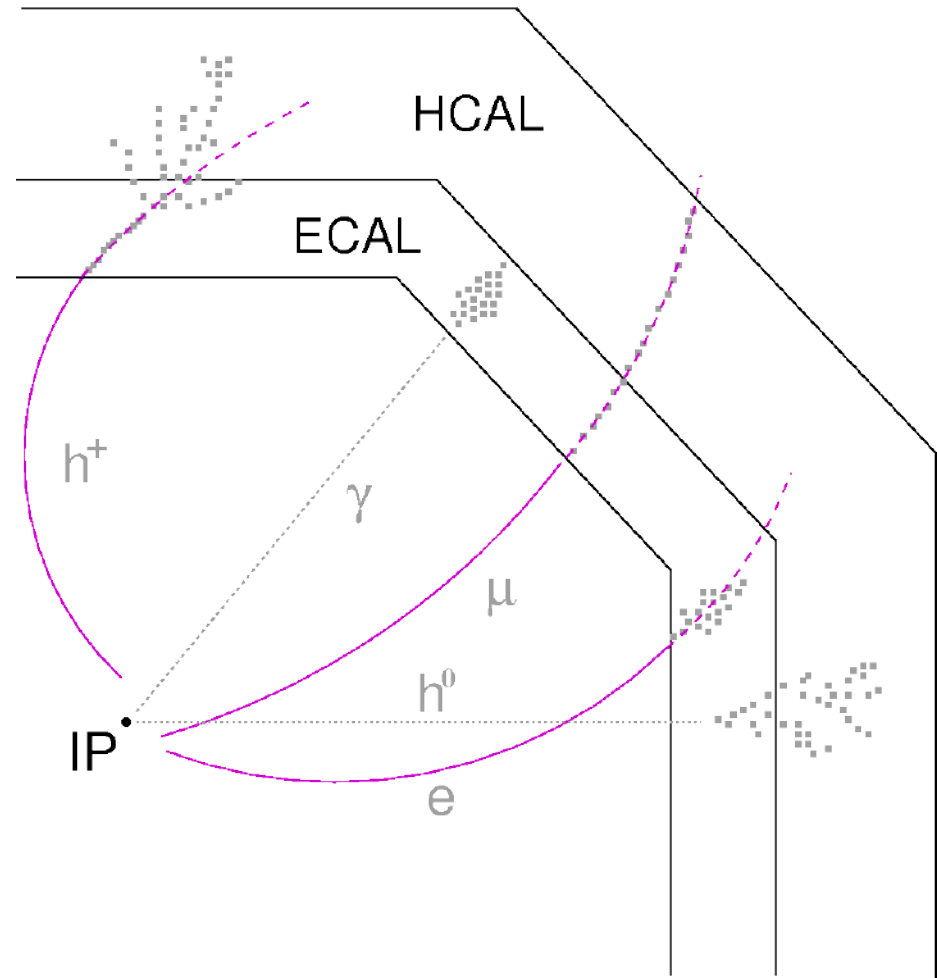
# Particle Flow

1. Reconstruir las trazas.



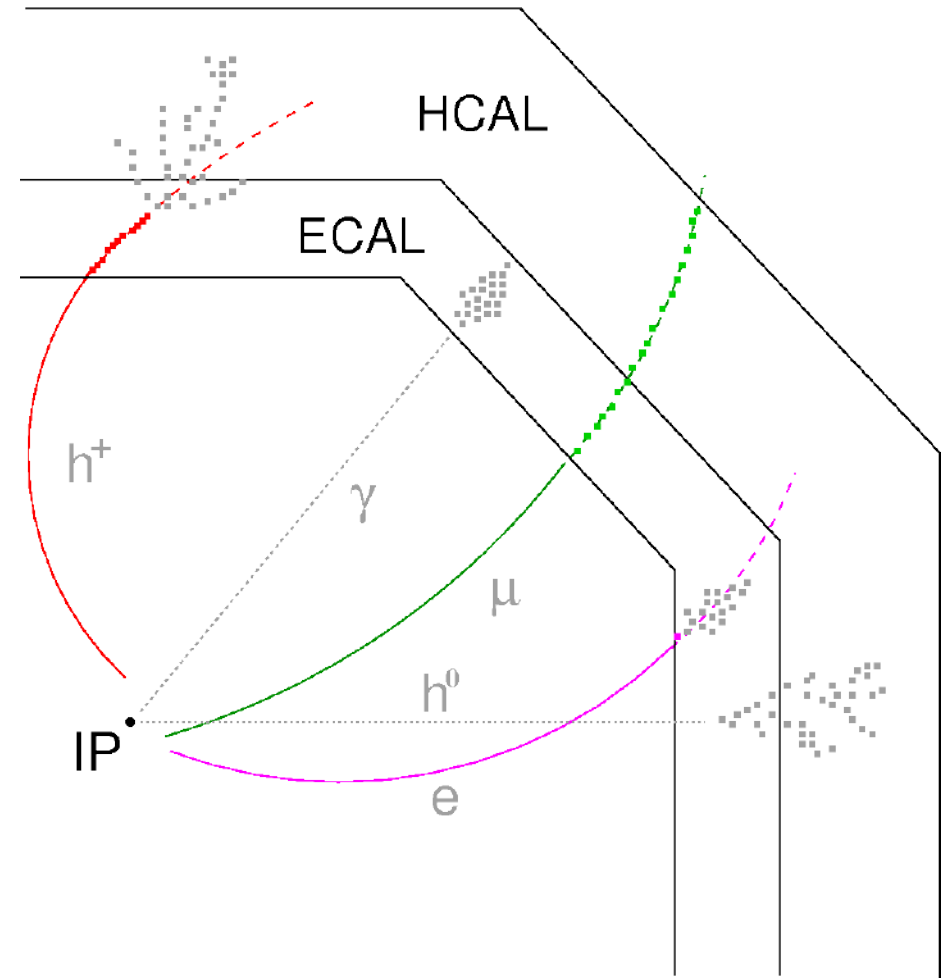
# Particle Flow

1. Reconstruir las trazas
2. Extrapolar la traza a los calorímetros



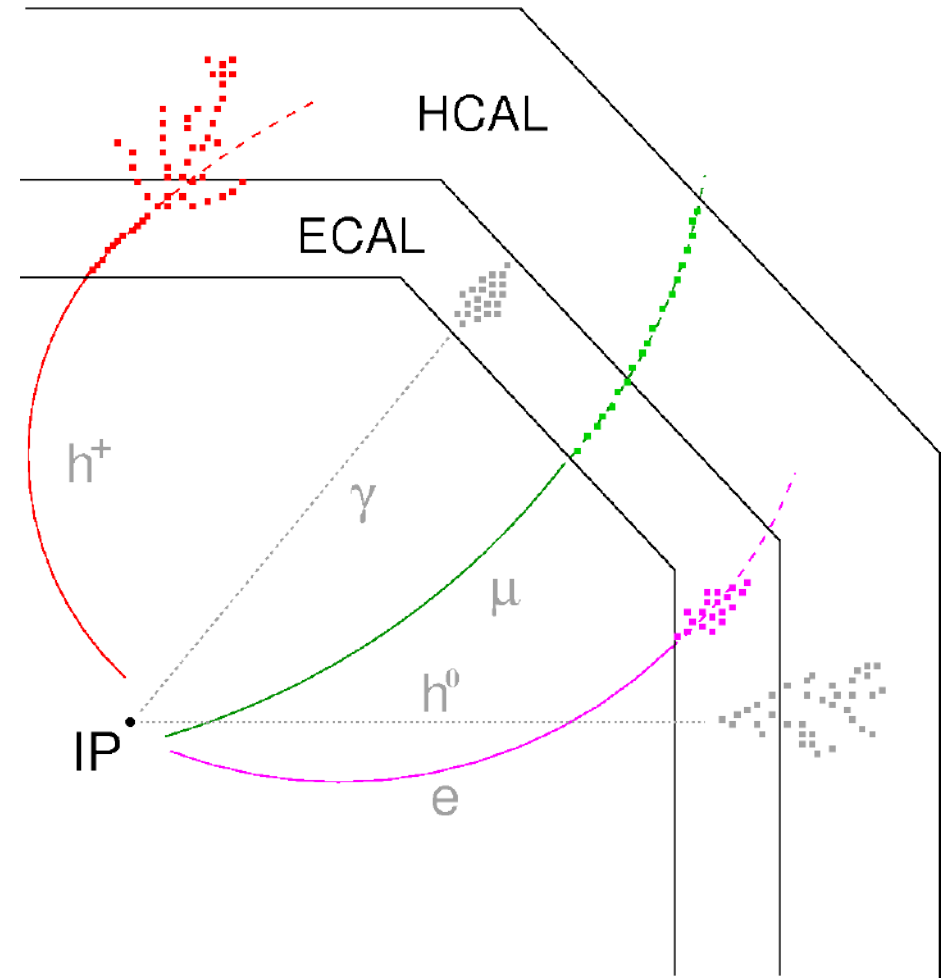
# Particle Flow

1. Reconstruir las trazas
2. Extrapolar la traza a los calorímetros
3. Asociar trazas a clusters de ionización en calorímetros



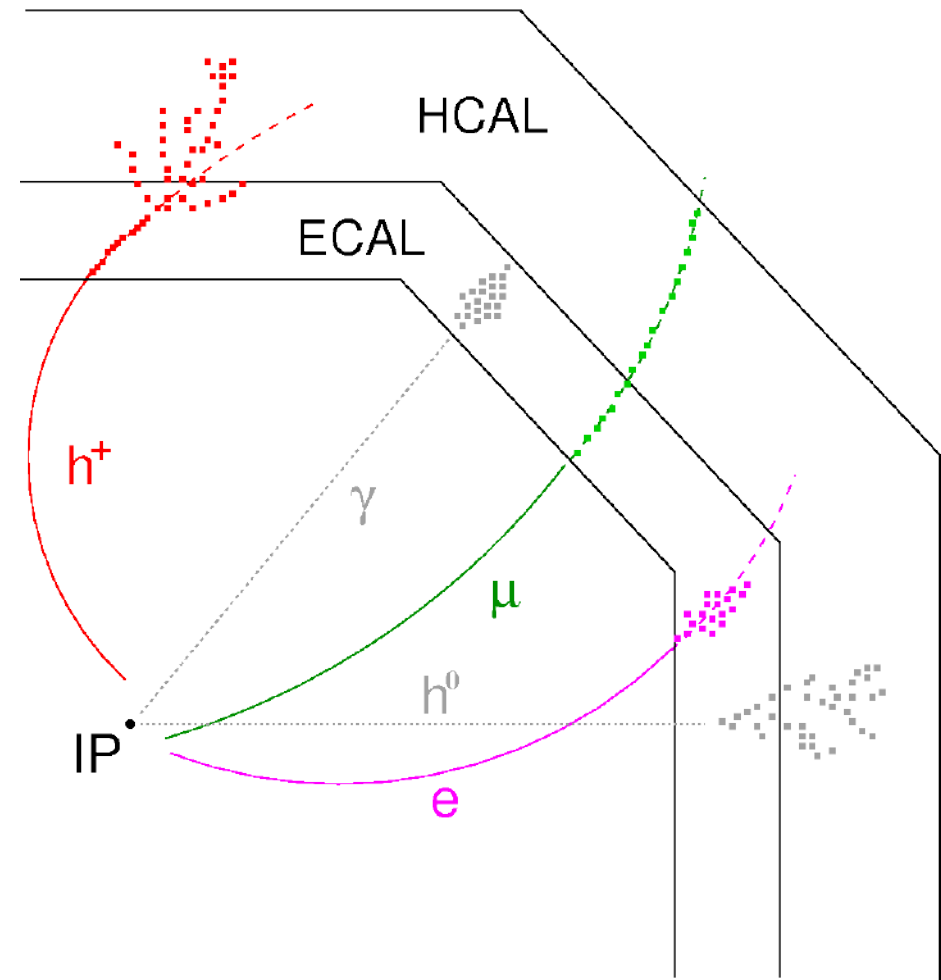
# Particle Flow

1. Reconstruir las trazas
2. Extrapolar la traza a los calorímetros
3. Asociar trazas a clusters de ionización en calorímetros
4. Encontrar cascadas en calorímetros



# Particle Flow

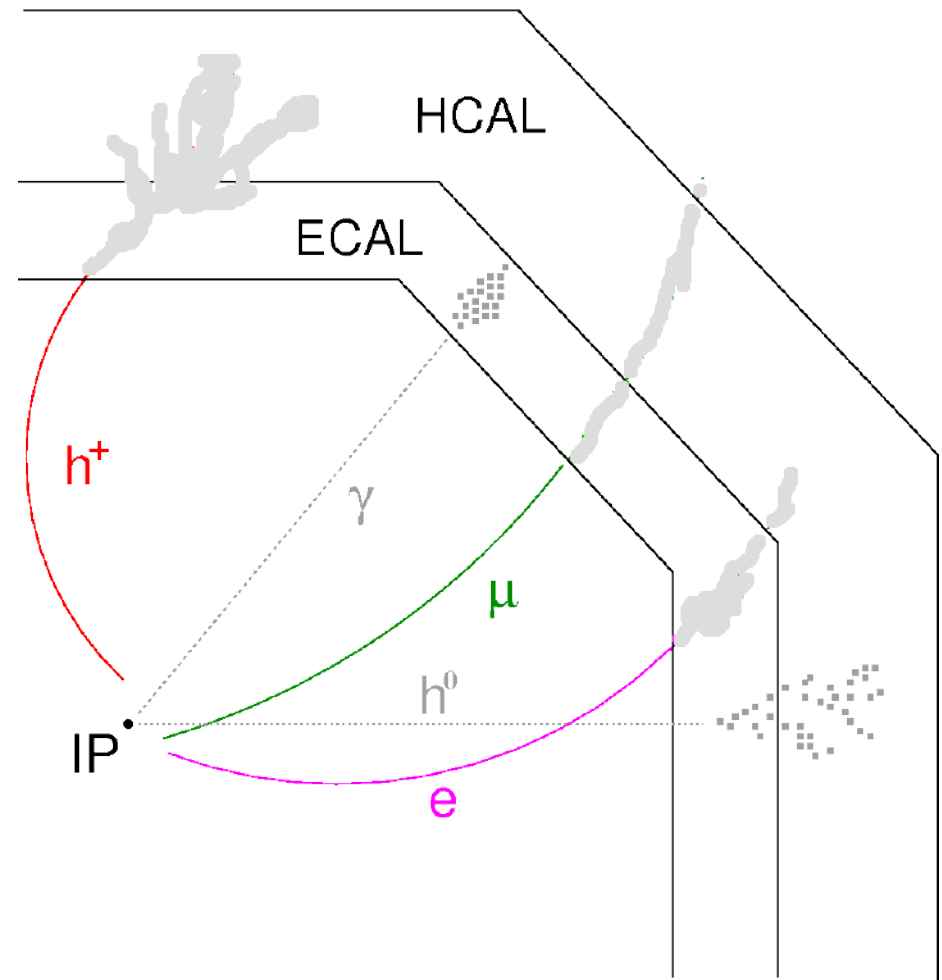
1. Reconstruir las trazas
2. Extrapolar la traza a los calorímetros
3. Asociar trazas a clusters de ionización en calorímetros
4. Encontrar cascadas en calorímetros
5. Identificar partículas cargadas





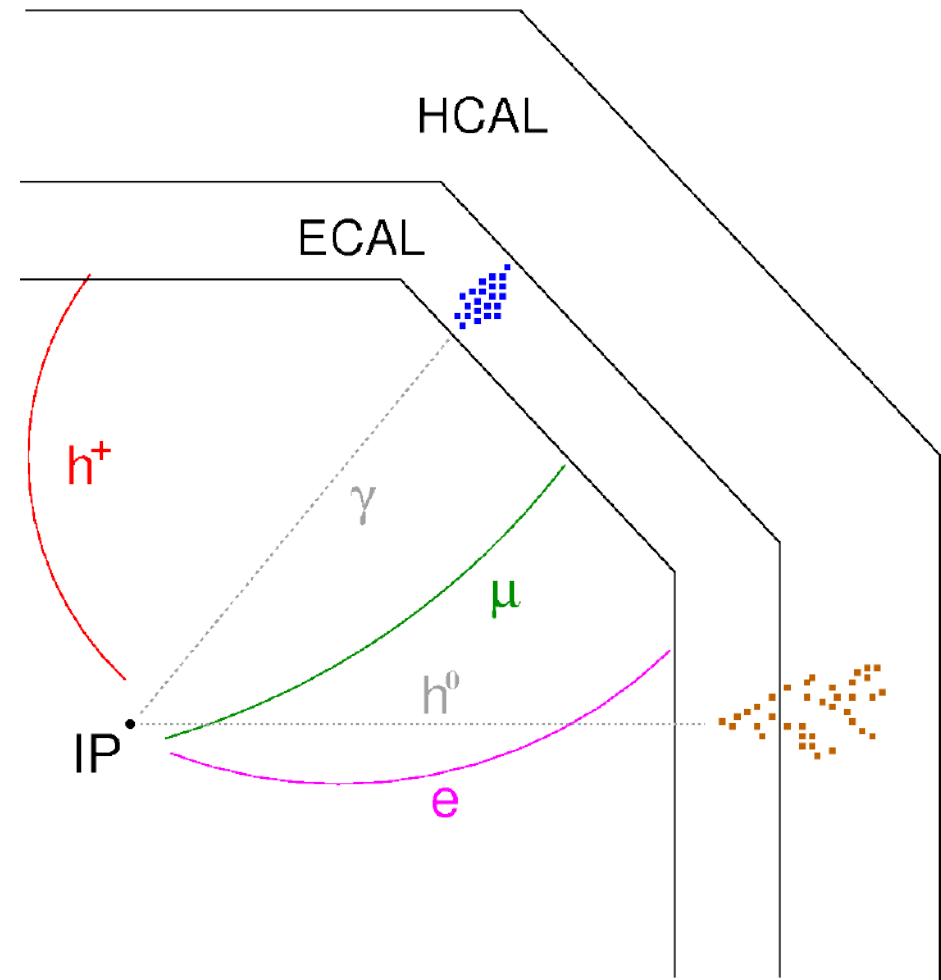
# Particle Flow

1. Reconstruir las trazas
2. Extrapolar la traza a los calorímetros
3. Asociar trazas a clusters de ionización en calorímetros
4. Encontrar cascadas en calorímetros
5. Identificar partículas cargadas
6. Quitar deposiciones asociadas a partículas cargadas



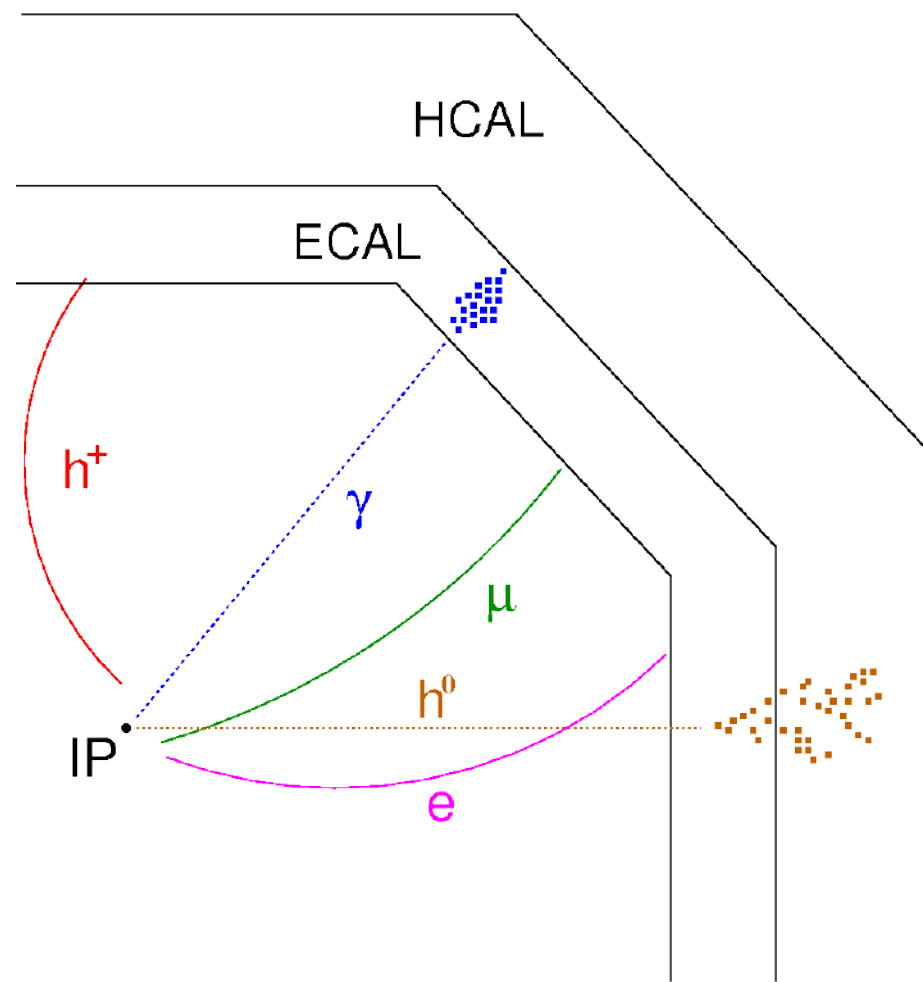
# Particle Flow

1. Reconstruir las trazas
2. Extrapolar la traza a los calorímetros
3. Asociar trazas a clusters de ionización en calorímetros
4. Encontrar cascadas en calorímetros
5. Identificar partículas cargadas
6. Quitar deposiciones asociadas a partículas cargadas
7. Hallar clusters de partículas neutras



# Particle Flow

1. Reconstruir las trazas
2. Extrapolar la traza a los calorímetros
3. Asociar trazas a clusters de ionización en calorímetros
4. Encontrar cascadas en calorímetros
5. Identificar partículas cargadas
6. Quitar deposiciones asociadas a partículas cargadas
7. Hallar clusters de partículas neutras
8. Identificar partículas neutras



# Los detectores en el ILC-CLIC

Son detectores multipropósito

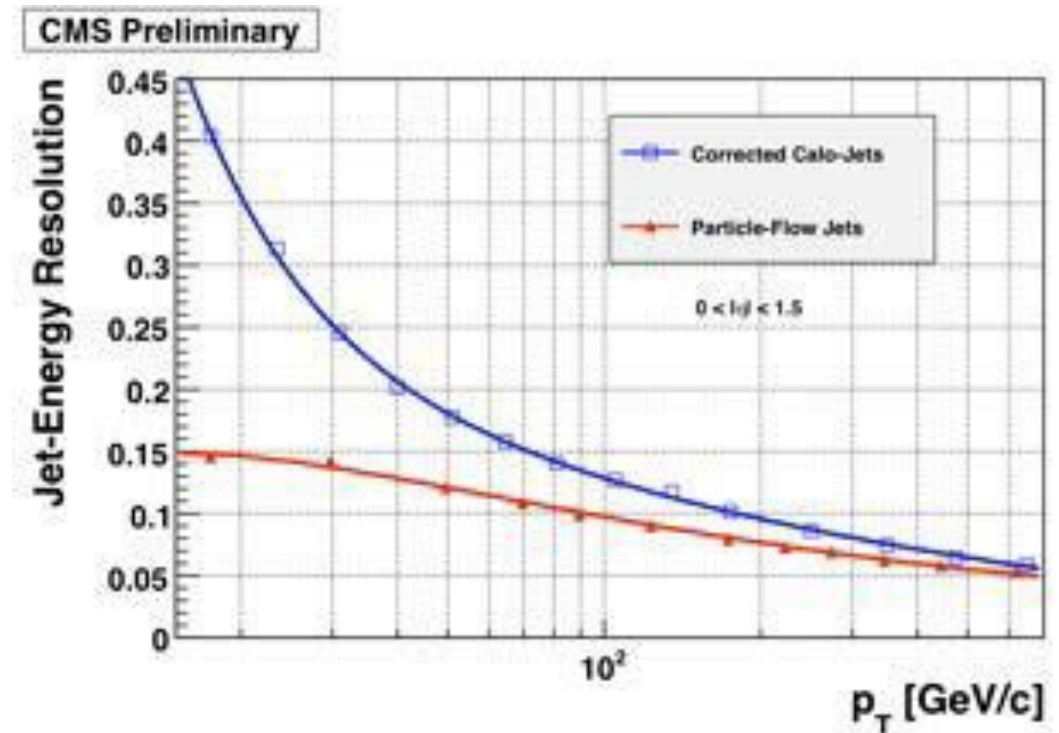
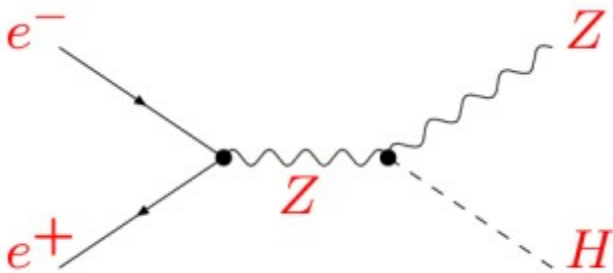
Están diseñados con Particle Flow en mente

Calorímetros con mucha granularidad: capaz de reconstruir los detalles de la cascada

Detectores de trazas muy potentes y casi transparentes. Mucha eficiencia, buenas prestaciones en jets muy densos, y buena reconstrucción de vértices para los sabores pesados

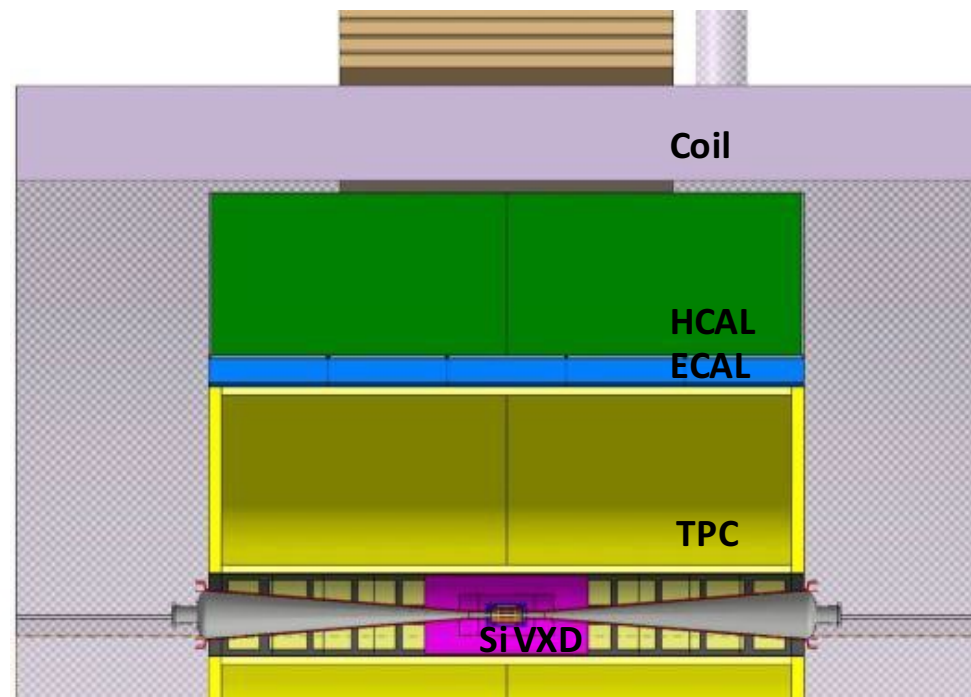
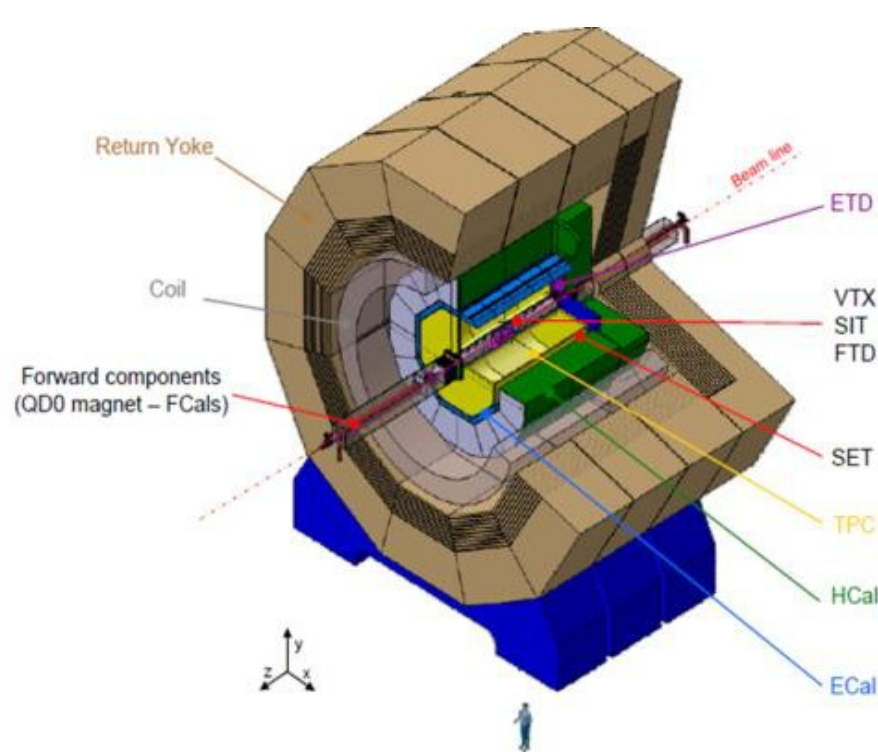
Quien marca la resolución en momento?

1. Higgstrahlung: poder reconstruir masas invariantes con di-muones
2. Determinar energía en centro de masas con  $ee \rightarrow \mu\mu$



# Los detectores en el ILC-CLIC

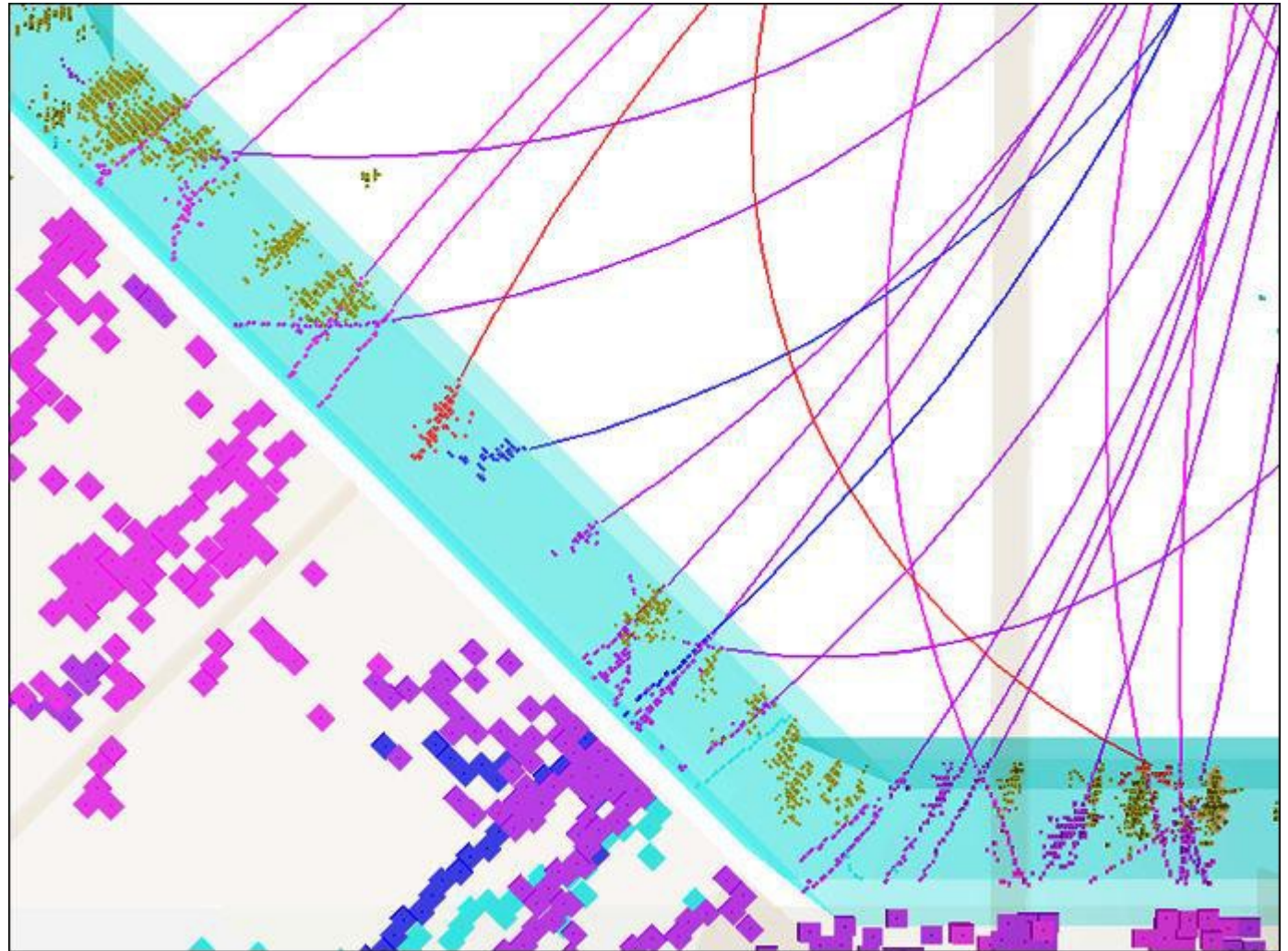
- Gran volumen con un campo magnético muy alto (3.5 T)
- Detector de vértices de gran precisión: super granular ( $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ ) y ultra transparente ( $50 \mu\text{m}$  de espesor)
- Muy poco material: Tracking gaseoso con TPC
- Calorímetros muy granulares (imaging calorimetry) → **todo el concepto del detector gira en torno a esto.**





# Imaging calorimeter

Typical 250 GeV  
jet in ILD



# Recapitulando

- ✓ Nuestro “modelo estándar” está completo desde que vimos el Higgs, y sabemos que tiene algún que otro fallo
  - Todo lo que venga será nuevo.
  - No hay ningún favorito entre los candidatos, puede ser un “invitado sorpresa”
- ✓ Hay todo un programa de diseño y fabricación de los útiles que nos han de servir para explorar esta nueva física:
  - HL-LHC, ILC/CLIC, FCC, muon collider, quizá algo con plasma?....
  - Diseñar los detectores adecuados para cada caso
    - ↳ Explorar nuevas técnicas de detección