Aceleradores y Colisionadores de Partículas

Introducción

Este documento pretende explicar en qué consiste y como funciona un acelerador y colisionador de partículas.

Si bien los aceleradores y colisionadores de partículas son, en algunos casos, equipos muy complejos, tanto en estructura como en funcionamiento, se intentará explicar de manera sencilla su funcionamiento y aplicaciones, aunque algunos aspectos y características sean complejos.

Antes de comenzar con el artículo, habria que aclarar la diferencia básica entre un acelerador y un colisionador de partículas.

- Un acelerador de partículas, como se verá con más detalles en las siguientes páginas, solo acelera una partícula para lograr diferentes propósitos.
- Un colisionador de partículas, no solo las acelera, sino que también, las colisiona entre sí, como es el caso del Gran Colisionador de Hadrones.

Por otra parte, al final del documento, en el apéndice, se podrá consultar sobre algunos aspectos técnicos tratados en este documento, complementando pequeños detalles que pueden ser útiles al momento de leer sobre aceleradores y colisionadores de partículas.

Acelerador de partículas

Los aceleradores de partículas, son instrumentos que utilizan campos electromagnéticos para acelerar las partículas cargadas eléctricamente hasta alcanzar velocidades (y por lo tanto energías) muy altas, pudiendo ser cercanas a la de la luz.

Un acelerador de partículas puede ser, desde un tubo de rayos catódicos ordinario, de los que forman parte de los televisores domésticos comunes hasta grandes instrumentos, como es el caso del Gran Colisionador de Hadrones.

Existen dos tipos básicos de aceleradores: por un lado los lineales y por otro los circulares.

Así también, existen aceleradores de bajas energías y de altas energías.

Aceleradores de bajas energías

Los aceleradores de bajas energías se encuentran presente en la vida cotidiana. Ejemplos muy sencillos de estos aceleradores, de electrones principalmente, son los televisores que utilizan tubos de rayos catódicos, los cuales pueden considerarse aceleradores lineales de una sola etapa. Otro ejemplo es el equipo de rayos X, que pueden encontrarse en las clínicas y hospitales.

Estos aceleradores de bajas energías utilizan un único par de electrodos a los que se le aplica una diferencia potencial de algunos miles de voltios.

En este tipo de aceleradores, se utiliza un filamento metálico, al que se le hace circular una corriente eléctrica produciendo su calentamiento y emitiendo de este modo electrones. Estos electrones son acelerados en el campo eléctrico generado entre los dos electrodos hasta alcanzar, en el caso del tubo de rayos catódicos, la placa conductiva en el interior de la “pantalla”.

Aceleradores de altas energías

Aceleradores lineales

Los aceleradores lineales de altas energías utilizan un conjunto de placas o tubos situados en línea a los que se le aplica un campo eléctrico alterno. Cuando las partículas se aproximan a una placa se aceleran hacia ella al tener una polaridad opuesta a esta placa. Justo cuando se traspasa esta placa la polaridad se invierte, de forma que en ese momento la placa repele la partícula, acelerándola hacia la placa siguiente.

Representación gráfica de partículas y placas polarizadas. (no es un esquema de acelerador lineal)

En el paso 1 la partícula es atraída, por lo tanto acelerada, hacia la primera placa.
En el paso 2 la partícula es repulsada por la primer placa y atraída por la segunda placa, con lo cual, la partícula sigue acelerando.

En el paso 3 se vuelve a repetir los pasos anteriores hasta la última placa.

A medida que la partícula se acerca a la velocidad de la luz, la inversión de campos eléctricos es demasiado rápida para utilizar placas, las cuales son reemplazadas por otros dispositivos que permiten este cambio de potencial a altas velocidades, pero el principio básico de funcionamiento sigue siendo el mismo en todos los casos.

Generador de Cockcroft-Walton para la multiplicación del voltaje

Los tipos de aceleradores de corriente continua capaces de acelerar las partículas hasta velocidades suficientemente altas como para causar reacciones nucleares son los multiplicadores de potencial, que convierten una corriente alterna a continua de alto voltaje.

Estos aceleradores son los que se usan en radioterapia. Utilizan unas válvulas llamadas klistrón y una cierta configuración de campos magnéticos, produciendo haces de electrones de una energía de 6 a 30 millones de electronvoltios (MeV). En ciertas técnicas se utilizan directamente esos electrones, mientras que en otras se los hace colisionar contra un blanco de número atómico alto, para producir haces de rayos X.

Aceleradores circulares

Estos aceleradores poseen una ventaja con respecto a los aceleradores lineales al usar campos magnéticos en combinación con los eléctricos, pudiendo conseguir aceleraciones mayores en espacios más reducidos.

Sin embargo poseen un límite a la energía que pueden alcanzarse debido a la radiación sincrotrón[1] que emiten las partículas al ser aceleradas. La emisión de esta radiación supone una pérdida de energía, que es mayor cuanto más

grande es la aceleración proporcionada a la partícula. Esta pérdida de energía va aumentando hasta llegar a ser igual que la energía proporcionada, llegando a su velocidad máxima.

Algunos aceleradores poseen instalaciones especiales que aprovechan esa radiación, a veces llamada luz sincrotrón. Esta radiación se utiliza como fuentes de Rayos X de alta energía.

Esta radiación es mayor cuando las partículas son más ligeras, por lo que se utilizan partículas muy ligeras (principalmente electrones) cuando se pretenden generar grandes cantidades de esta radiación, pero generalmente se aceleran partículas pesadas, protones o núcleos ionizados más pesados, que hacen que estos aceleradores puedan alcanzar mayores energías. Este es el caso del gran acelerador circular del CERN donde el LEP (colisionador de electrones y protones) se ha sustituido por el LHC (colisionador de hadrones)

Gran Colisionador de Hadrones (LHC)

(**L**arge **H**adron **C**ollider)

Introdución al LHC

El LHC es un instrumento científico gigantesco, instalado en Ginebra en la frontera entre Suiza y Francia a unos 100mts bajo tierra y tiene una circunferencia de 27km.

El LHC es un acelerador de partículas usado por los físicos para estudiar las partículas subatómicas. Está diseñado para colisionar protones o iones pesados guiados en forma magnética en el interior del colisionador.

Dicho campo magnético está generado por imanes superconductivos enfriados por un enorme sistema criogénico.

Tengamos en cuenta que las instalaciones donde funciona el LHC ya existían, pero los últimos 5 años de trabajo se han utilizado para enfriar las instalaciones a la temperatura de trabajo, que oscila entre 1,7 y 1,9 K (-271ºC). Si tenemos en cuenta que la temperatura más baja en el universo oscila lo 3 K, el HLC es actualmente lo más frío del Universo.

El LHC puede alcanzar una energía que ningún otro acelerador de partículas ha alcanzado antes, aunque la naturaleza produce a diario energías mayores en colisiones de rayos cósmicos.

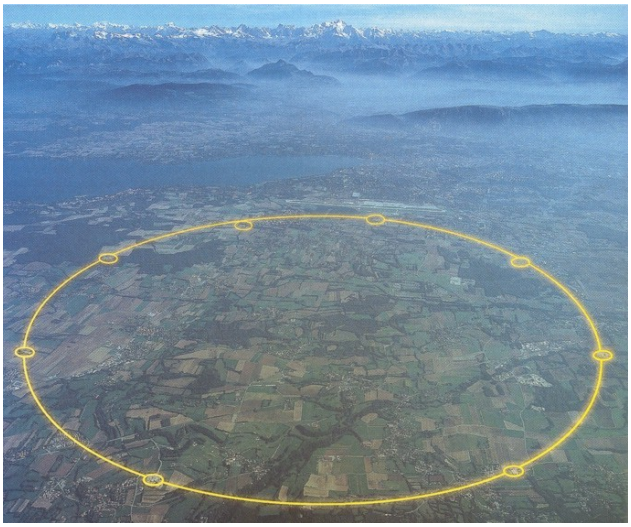
El colisionador de hadrones, como otros aceleradores de partículas, recrea el fenómeno natural de los rayos cósmicos en condiciones de laboratorio controladas, lo que permite ser estudiados en más detalle.

Hadrón

Un hadrón es una partícula subatómica que experimenta una fuerza nuclear. Estos hadrones están compuestos por quarks y antiquarks y gluones que actúan de intermediarios para la fuerza de color que unen a los quarks entre sí.

> **Quark:** Son los constituyentes fundamentales de la materia. Varias especies de quarks se combinan de manera específica para formar partículas tales como protones y neutrones.

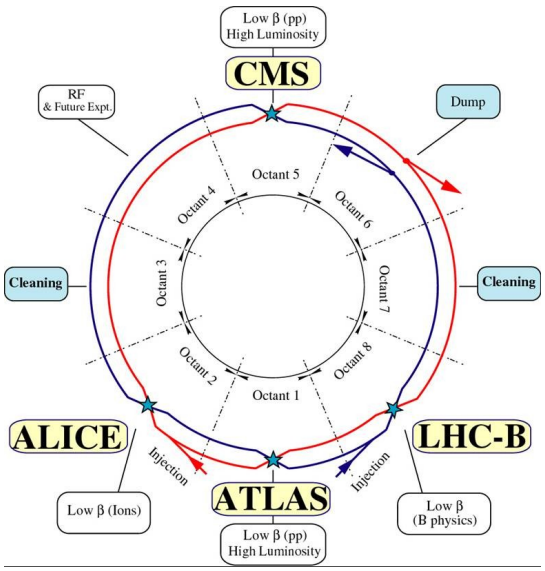
> **Antiquark**: es la antipartícula que corresponde a un Quark. Posee la misma masa, pero distinta carga eléctrica que el Quark.



El LHC se diseñó para colisionar haces de hadrones, más exactamente de protones de 7 TeV de energia (1 TeV = 10^{12} electronvoltio), siendo su propósito principal examinar la validez y límites del Modelo Estandar[2], el cual es actualmente el marco teórico de la física de partículas, del que se conoce su ruptura a niveles de energía altos.

Los protones acelerados a velocidades del 99% de c (velocidad de la luz) y chocando entre sí en direcciones diametralmente opuestas producirían altísimas energías (aunque a escalas subatómicas) que permitirían simular algunos eventos ocurridos durante o inmediatamente después del big bang.

Teóricamente se espera que se produzca la partícula másica conocida como el bosón de Higgs[3]. La observación de esta partícula confirmaría las predicciones y "enlaces perdidos" del Modelo estándar de la física, pudiéndose explicar cómo adquieren las otras partículas elementales propiedades como su masa.



Verificar la existencia del bosón de Higgs sería un paso significativo en la búsqueda de una Teoría de la Gran Unificación[4]. Además este bosón podría explicar por qué la gravedad es tan débil comparada con las otras tres fuerzas[5]. Junto al bosón de Higgs también podrían producirse otras nuevas partículas que fueron predichas teóricamente, y para las que se ha planificado su búsqueda, como las partículas elementales generadoras de micro agujeros negros[6], el monopolo magnético[7], los strangelets[8], o las partículas supersimétricas[9].

Experimentos

Los seis experimentos que se llevarán a cabo con el LHC serán en conjunto con colaboraciones internacionales.

Dos grandes experimentos, ATLAS y CMS, están basados en detectores para propósitos generales para analizar miríadas (nombre griego para el número 10^4) de partículas producidas por la colisión en el acelerador.

Dos medianos experimentos, ALICE y LHCb, tienen detectores especializados para el análisis de las colisiones en relación con determinados fenómenos.

Dos experimentos, TOTEM y LHCf, son mucho menores a los anteriores. Están diseñados para focalizarse en iones pesados y protones.

Los protones se acelerarán hasta tener una energía de 7 TeV cada uno (siendo el total de energía de la colisión de 14 TeV).

Los físicos confían en que el LHC proporcione respuestas a las siguientes cuestiones:

- Qué es la masa (se sabe cómo medirla pero no se sabe qué es realmente).
- El origen de la masa de las partículas (en particular, si existe el bosón de Higgs).
- El origen de la masa de los bariones[10] .
- Cuántas son las partículas totales del átomo.
- Por qué tienen las partículas elementales diferentes masas (es decir, si interactúan las partículas con un **campo de Higgs**)
- El 95% de la masa del universo no está hecho de la materia que se conoce y se espera saber qué es la materia oscura[11] .
- La existencia o no de las partículas supersimétricas [12] .
- Si hay dimensiones extras, tal como predicen varios modelos inspirados por la Teoría de cuerdas[13], y, en caso afirmativo, por qué no se han podido percibir.
- Si hay más violaciones de simetría entre la materia y la antimateria.

Los detectores ATLAS, CMS, ALICE y LHCb están instalados en cuatro enormes “cavernas” bajo tierra localizadas alrededor del anillo del LHC. Los detectores usados por el experimento TOTEM está posicionado cerca del detector CMS, mientras que los utilizados por el LHCf están cerca del detector ATLAS.

ALICE

(**A** **L**arge **I**on **C**ollider **E**xperiment)

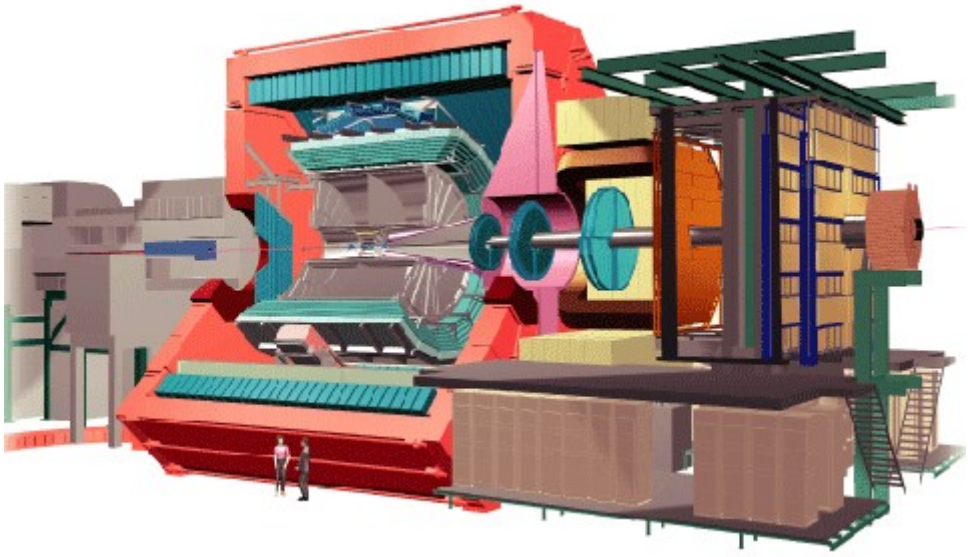
Para los experimentos ALICE, el LHC colisiona iones para recrear las condiciones justo después del Big Bang bajo condiciones de laboratorio.

Toda la materia ordinaria actual en el universo esta compuesta por átomos. Cada átomo contiene núcleos compuestos por protones y neutrones, rodeado por una nube de electrones. Los protones y los neutrones, a su vez, están formados de quarks que están unidos por otra partícula llamadas gluons. Estos increíblemente fuertes lazos entre medio de los quarks aislados nunca fueron encontrados.

Las colisiones en el LHC generarán temperaturas de mas de 100.000 veces mas caliente que en el corazón del sol. Los físicos esperan que bajo estas condiciones, los protones y los neutrones se “derritiesen”, liberando los quarks y sus lazos con los gluons. Esto debería crear un estado de la materia llamado plasma de quark-gluon, que probablemente existió justo después del Big Bang, cuando el universo era aún muy caliente.

El estudio del plasma de quark-gluon, que se expande y se enfría, se observará como progresivamente se da forma a la materia que constituye el universo en nuestros días.

En colaboración de más de 1000 científicos de 94 institutos de 28 países, entre los que se encuentra Argentina, trabajaran en el estudio de este experimento.



Detector ALICE

Tamaño: 26 metros de largo, 16 metros de alto y 16 metros de ancho.

Peso: 10.000 toneladas

Lugar: St Genis-Pouilly, Francia. (ver ALICE en Google Earth)

ATLAS

(**A T**oroidal **L**HC **A**pparatu**S**)

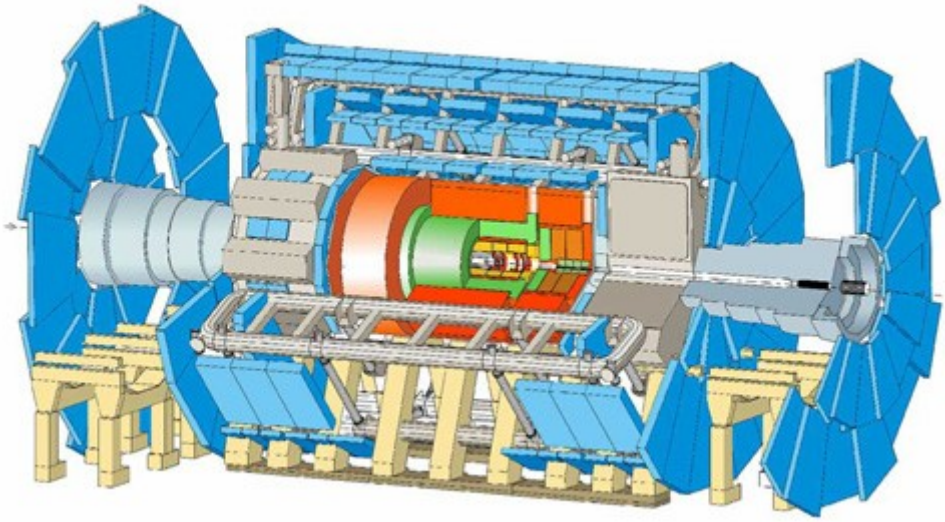
(Tenían que formar ATLAS de alguna manera….)

ATLAS es uno de los dos detectores de propósitos generales en el LHC. Se utilizará para investigar una amplia gama de la física, incluida la búsqueda del boson de Higgs, y por otro lado, las partículas que podrían constituir la materia oscura.

Con los mismos objetivos en la física como en CMS, ATLAS recolecta la información producida de las partículas creadas en las colisiones –sus direcciones, sus energías y sus identidades-. Sin embargo, los dos experimentos han adoptado soluciones técnicas y diseños radicalmente diferentes para sus sistemas detectores magnéticos.

La principal característica del detector ATLAS es su enorme sistema magnético en forma de Toroide (la “rosquilla” de Homero).

Este consta de ocho imanes de bobinas superconductivas de 25mts de largo, organizados para formar un cilindro alrededor de una tubería en el centro del detector. Durante la operación, el campo magnético está contenido en el espacio central del cilindro definido por las bobinas.



Tamaño: 46mts de largo, 25mts de alto y 25mts de ancho.

Peso: 7.000 toneladas

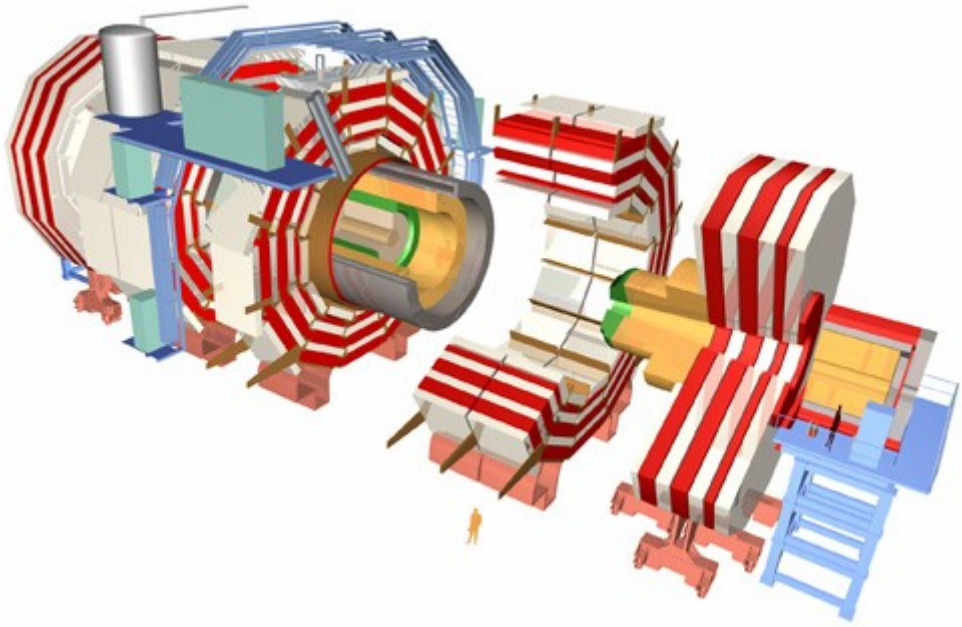
Lugar: Meyrin, Suiza.

CMS

(**C**ompact **M**uon **S**olenoid)

El experimento CMS usa un detector de propósitos generales para investigar una amplia gama de la física, incluida la búsqueda del bosón de Higgs, otras dimensiones, y las partículas que podrían constituir la materia oscura. A pesar de que tiene los mismos objetos científicos que el experimento ATLAS, utiliza diferentes soluciones técnicas y de diseño en su sistema de imanes para la detección de éstos.

El detector CMS se articula en torno a gran imán de solenoide. Esto toma la forma de una bobina de cables superconductivos en forma cilíndrica que genera un campo magnético de 4 teslas, unas 100.000 veces mayor que el campo magnético de la Tierra. El campo magnético se limita por un “yugo” de acero que constituye la parte principal del detector, con un peso de 12.500 toneladas.



Detector CMS

Tamaño: 21mts de largo, 15mts de alto y 15mts de ancho.

Peso: 12.500 toneladas.

Lugar: Cessy, Francia. (Ver CMS en Google Earth)

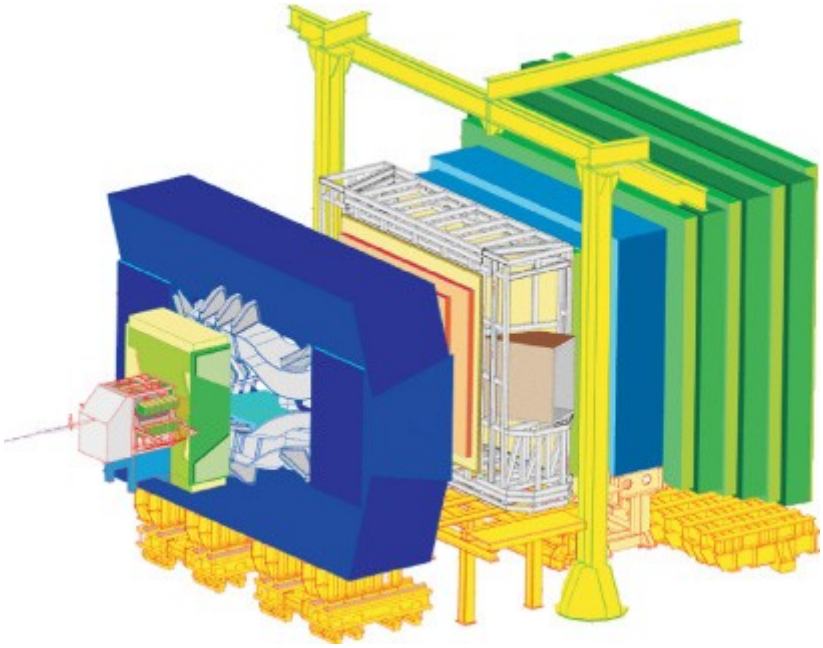
LHCb

(**L**arge **H**adron **C**ollider **b**eauty)

El experimento LHCb ayudará a entender por qué vivimos en un universo que parece estar compuesto casi en su totalidad de la materia, pero no antimateria.

Se especializa en la investigación de las ligeras diferencias entre materia y antimateria mediante el estudio de un tipo de partícula denominada “beauty quark” o “b quark”.

El experimento LHCb utiliza una serie de sub-detectores para detectar partículas. El primer sub-detector está montado cerca del punto de colisión, mientras que los más próximos están “de pie” uno detrás del otro, a lo largo de una longitud de 20mts.



Detector LHCb

Tamaño: 21mts de largo, 10mts de alto y 13mts de ancho.

Peso: 5.600 toneladas.

Lugar: Ferney-Voltaire, Francia.

TOTEM

(**TOT**al **E**lastic and diffractive cross section **M**easurement)

El experimento TOTEM estudiará las partículas centrándose en la física, pero no en experimentos de propósitos generales. Entre una serie de estudios, medidas, efectos, el tamaño de los protones y también monitorear con exactitud la luminosidad del LHC.

Para ello, TOTEM debe ser capaz de detectar partículas producidas muy cerca del borde del LHC. En él se incluirán los detectores diseñados especialmente en cámaras de vacío llamados “Roman pots”, que están conectados a las tuberías del LHC. Ocho de éllos están colocados en pares de cuatro en lugares muy cercanos a el experimento de colisiones CMS.

Aunque los dos experimentos son científicamente independientes, TOTEM complementará los resultados obtenidos por el detector CMS.

LHCf

(**L**arge **H**adron **C**ollider **f**orward)

El experimento LHCf utiliza partículas creadas en el interior del LHC como fuente para simular los rayos cósmicos en condiciones de laboratorio.

Los rayos cósmicos son de origen natural con partículas cargadas en el espacio que “bombardean” constantemente la atmósfera terrestre. Estos rayos chocan los núcleos en la parte superior de la atmósfera, dando lugar a una cascada de partículas que alcanzan el nivel del suelo.

Estudiar las colisiones en el interior del LHC que causen la misma cascada de partículas ayudará a los científicos para interpretar lo que se experimenta a gran escala cubriendo miles de kilómetros.

Fuentes y Referencias:
Toda la información, exceptuando la introducción y principios de los aceleradores, fue obtenida, traducida y adaptada desde las páginas oficiales del Gran Colisionador de Hadrones y complementada de otras fuentes.

http://public.web.cern.ch/public/
http://aliceinfo.cern.ch/Public/Welcome.html
http://guillegg.wordpress.com/noticias-lhc-ii
http://es.encarta.msn.com
http://www.webzinemaker.com
http://www.cosmiverse.com/news/space/space05150204.html
http://hiddennoise.wordpress.com
http://www.fcaglp.unlp.edu.ar
http://www.nuclecu.unam.mx

Apéndice

1. *Radiación sincrotrón* : Radiación electromagnética característica producida por partículas cargadas que se mueven a alta velocidad.

2. El *modelo estándar* de la física de partículas es una teoría que describe tres de las cuatro interacciones fundamentales conocidas entre partículas elementales (interacción nuclear fuerte, interacción nuclear débil, interacción electromagnética).

Hasta la fecha, la ciencia ha logrado reducir las leyes que parecen gobernar el comportamiento y la interacción de todos los tipos de materia y de energía que conocemos, a un conjunto pequeño de leyes y teorías fundamentales. Una meta importante de la física es encontrar la base común que uniría a todas éstas en una teoría del todo, en la cual todas las otras leyes que conocemos serían casos especiales, y de la cuál puede derivarse el comportamiento de toda la materia y energía.

Este modelo describe 18 partículas que forman la materia y las fuerzas que rigen sus interacciones. El bosón de Higgs completa la colección de 18 tipos de partículas fundamentales requeridas por el modelo

3. *Bosón de Higgs* Es una partícula fundamental que fue propuesta por Peter Higgs a finales de los años sesenta del siglo pasado. Sería la responsable de dotar de masa al resto de bosones y fermiones fundamentales, al acoplarse a ellos por medio del Mecanismo de Higgs. Es la única partícula del modelo estándar que no ha sido observada hasta el momento
Los bosones Higgs sólo pudieron existir durante un breve período que se inició 10-35 segundos después del Big Bang. Su descomposición pudo producir un exceso de partículas de materia sobre las de antimateria que aún es manifiesto en el universo.

4. *Teoría de la Gran Unificación*: (GUT) Teoria que intenta demostrar que tres de las cuatro fuerzas fundamentales en la naturaleza: interacción nuclear fuerte, interacción nuclear débil e interacción electromagnética, son la misma fuerza. Howard Georgi y Sheldom Glashow publicaron su Teoría de la Gran Unificación en febrero de 1974. Otros investigadores siguieron la misma línea de ataque para desarrollar teorías similares. Todos predecían los bosones X de la era GUT, como pasó a ser llamado el momento alrededor de los 10^{-35} segundos de la existencia del universo.

La fuerza de gravedad no es considerada en las teorías de Gran Unificación, pero si en una eventual Teoría del Todo, que consideraría las cuatro interacciones fundamentales.

5. *Cuatro Fuerzas Fundamentales*: **Fuerza gravitatoria**. Es la primera que se conoce. Es la más débil de las cuatro y tiene un alcance infinito.

Fuerza nuclear débil. Es la responsable de la desintegración de partículas y núcleos atómicos en los fenómenos radioactivos. A pesar de su nombre, es menos débil que la anterior, y cuenta con un alcance muy limitado, de millonésimas de milímetro.

Fuerza electromagnética. Se manifiesta tanto a corta escala, por ejemplo entre protones y electrones, como a largas distancias, en la propagación de la luz, ondas de radio, etc. Es la segunda más fuerte y su alcance es infinito

Fuerza nuclear fuerte. Es la responsable de que los **quarks** se unan formando protones y neutrones y de que estos se acoplen en el núcleo atómico. Es la más fuerte de las cuatro, pero su alcance sólo es ligeramente superior al de la nuclear débil.

6. *Micro Agujeros Negros*: singularidades con una masa del orden del protón o menor que pueden llegar a formarse bajo situaciones muy particulares, quizá una colisión entre partículas elementales a 14 TeV pudiera originarlos con una probabilidad no nula, según algunas teorías; 14 Tev es la energía a la que colisionarán los haces de protones en el LHC.

La cuestión no es tanto si es posible la formación de un micro agujero (algo que entra dentro de la especulación fundamentada) sino si éste sería estable (lo que sería potencialmente peligroso). Y no lo es. Hay varias razones que avalan la tesis de que en caso de que llegara a formarse se evaporaría casi instantáneamente, disolviéndose en la misma papilla de quarks y gluones que lo hubieran originado.

7. *Monopolo Magnético*: Partícula hipotétca propuesta por Paul Dirac en 1931, que consiste es un imán de un solo polo. La existencia de esta partícula podría explicar la cuantización de la carga eléctrica. Además de poder escribir las ecuaciones de Maxwell de forma simétricas antes un intercambio de cargas electricas y magnéticas.

8. *Strangelets* : “Granos Cósmicos” pequeñas partículas cósmicas que, siendo del tamaño de un grano de polen, pesan varias toneladas, cruzan el espacio a la velocidad de 1,5 millones de kilómetros por hora y pueden provocar terremotos.

9. *Partículas Supersimétricas* : La Supersimetría es una simetría hipotética propuesta que relacionaría las propiedades de los bosones y los fermiones. Es parte fundamental de muchos modelos teóricos, incluyendo la teoría de supercuerdas. La supersimetría también es conocida por el acrónimo inglés SUSY.

10. *Bariones*: (del griego Barys: pesado) son una familia de partículas subatómicas formadas por 3 quarks. Los ejemplos más representativos de bariones son el Neutrón y el Protón.

11. *Materia Oscura* : nombre con el que se ha designado a todo aquello que los astrónomos no pueden ver ni detectar en forma directa, pero que se hace evidente a través de su atracción gravitatoria sobre otros cuerpos celestes. Lo más correcto sería llamarla “masa faltante” para no confundirla con polvo interestelar

12. *Teoría de Cuerdas*: Teoria que propone que todas las diversas partículas "fundamentales" del modelo estándar son en realidad solo manifestaciones diferentes de un objeto básico: una cuerda. Normalmente nos imaginaríamos que un electrón, por ejemplo, es un "puntito", sin estructura interna alguna. Un punto no puede hacer nada más que moverse. Pero, si la teoría de cuerdas es correcta, utilizando un "microscopio" muy potente nos daríamos cuenta que el electrón no es en realidad un punto, sino un pequeño "lazo", una cuerdita. Una cuerda puede hacer algo además de moverse--- puede oscilar de diferentes maneras. Si oscila de cierta manera, entonces, desde lejos, incapaces de discernir que se trata realmente de una cuerda, vemos un electrón. Pero si oscila de otra manera, entonces vemos un fotón, o un quark, o cualquier otra de las partículas del modelo estándar.