

# LHC en unos pocos números

EDUCATIO PHYSICORVM



**Xabier Cid Vidal<sup>1</sup>, Ramón Cid Manzano<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Departamento de Física de Partículas, Universidad de Santiago, Campus Universitario Sur 15782 - Santiago de Compostela, España.*

<sup>2</sup>*Instituto de Enseñanza Secundaria "IES de Sar", R/Bernardo Barreiro de Vázquez Varela s/n, 15702 - Santiago de Compostela, España.*

<sup>2</sup>*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Santiago, Campus Universitario Norte 15782 Santiago de Compostela*

**E-mail:** ramon.cid@usc.es, xcidvidal@gmail.com

(Recibido el 17 de Febrero de 2010; aceptado el 1 de Mayo de 2010)

## Resumen

El colisionador de partículas LHC (CERN - Laboratorio Europeo para la Investigación Nuclear) es desde finales de 2009 el más potente acelerador del mundo. A partir de ese momento muchas de las preguntas que la ciencia se viene haciendo desde hace décadas comenzarán a poder ser respondidas: por qué hay más materia que antimateria, de qué está hecho el 96% del Universo, si el campo de Higgs es el responsable de la masa de todas las partículas, como fueron los primeros instantes después del Big Bang... Es intención de este artículo presentar en unos pocos números la dimensión de esta máquina a fin de poder ser usados en los cursos de secundaria para dar a conocer el mayor experimento de la historia. Además, con simples cálculos abordamos algunos tópicos básicos de la física de estos niveles. Se supone que los lectores y lectoras ya conocen a grandes rasgos en qué consiste el LHC y en todo caso la bibliografía que se cita al final puede ayudar en este punto. No obstante, en los apartados que conforman este trabajo se incluyen los parámetros necesarios para seguir los cálculos apropiadamente, y a través de ellos se podrá ir conociendo mejor esta extraordinaria máquina.

**Palabras clave:** Enseñanza de conceptos en Física, Física de Partículas en Secundaria.

## Abstract

LHC-Large Hadron Collider (CERN - European Organization for Nuclear Research) became the world's highest energy particle accelerator, having accelerated its twin beams of protons to an energy of 1.18 TeV in the last days of 2009. Some important questions to be answered by the LHC experiments are: What is the origin of mass? What is 96% of the universe made of? Why is there no more antimatter? What was matter like within the first second of the Universe's life? The aim of this paper is to introduce LHC in few numbers in order to be directly used in the secondary school classroom, and to stimulate the students' interest in the greatest experiment in history. Besides, using these simple calculations we can introduce or remember to our students, and in a easier way, some important physics topics. Although a previous basic knowledge about LHC would make easier reading this paper, the necessary data and parameters are included to allow to follow the explanations properly. Moreover, we hope that these data and calculations help you to know better this incredible machine.

**Keywords:** Physics Teaching, Particle Physics in Secondary School.

**PACS:** 01.40.-d, 01.40.E-, 10.00.00, 29.20.db.

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

El colisionador de partículas LHC (CERN-Laboratorio Europeo para la Investigación Nuclear) es desde finales de 2009 el más potente acelerador del mundo. En 19 de Marzo de 2010 alcanzó una energía de 3.5 TeV por protón. En los próximos meses se irá poco a poco aproximando a su energía máxima: 7 TeV para cada protón. Se lograrán así colisiones protón-protón de 14 TeV que nos proporcionarán una mayor comprensión de nuestro Universo.

A partir de ese momento, muchas de las preguntas que la ciencia se viene haciendo desde hace décadas comenzarán a poder ser respondidas: por qué hay más materia que antimateria, de qué está hecho el 96% del Universo, si el campo de Higgs es el responsable de la masa de todas las partículas, o como fueron los primeros instantes después del Big Bang.

Se pretende en este trabajo hacer accesible este fabuloso experimento a través de unos pocos números, los cuales nos desvelarán la increíble dimensión de esta máquina que es la mayor construida por la tecnología humana. Esos números y sus cálculos son perfectamente

asumibles en la enseñanza secundaria y pueden servir de inicio para estimular a los alumnos a que se interesen por el mayor experimento de la historia de la ciencia.

Ya en otros artículos hemos presentado estudios específicos sobre diferentes aspectos de este experimento, Cid [1] y Cid y Cid [2, 3, 4], pero dirigidos a introducir esta máquina y el experimento a profesores y profesoras de secundaria. Ahora queremos presentar unos sencillos cálculos para ser directamente llevados al aula en los primeros niveles de la enseñanza secundaria, y dar así a conocer de forma simple los grandes números que están detrás de este enorme reto científico.

Es importante señalar que en este trabajo no se entra a detallar las partes de la máquina, los detectores y los experimentos. Se supone que los lectores ya conocen a grandes rasgos en qué consiste el LHC y en todo caso la bibliografía que se cita al final puede ayudar en este punto. No obstante, en los apartados que conforman este trabajo se incluyen los parámetros y datos necesarios para seguir los cálculos apropiadamente.

Es importante tener en cuenta que las comparaciones que se van a hacer a lo largo de este artículo son analogías o ficciones que no tendrían por qué ocurrir en la forma en la que se describen. Se pretende con ellas simplemente ayudar a comprender mejor la verdadera dimensión de los parámetros utilizados y los resultados obtenidos.

## II. EL VOLTAJE APLICADO

En el CERN, los protones son acelerados gracias a un conjunto de aceleradores consecutivos del que el LHC, con casi 27 km y con forma circular, es el más grande. Los otros aceleradores previos son el LINAC2 (lineal), Booster, PS y SPS, estos tres últimos circulares.

Una precisión que siempre es necesario realizar en este punto es que en realidad el LHC solo es un verdadero acelerador durante unos minutos. Ese es el tiempo necesario para elevar la velocidad de las partículas con la que entran desde el acelerador anterior (SPS) hasta el valor que se considere oportuno, siendo el máximo el que proporcionará la energía de 7 TeV por protón. Durante el resto de las horas diarias de funcionamiento el LHC mantiene los protones a la energía establecida funcionando por tanto como un dispositivo que asegura un alto número de colisiones entre partículas: un colisionador.

Como es sabido, un aparato convencional de televisión de casa contiene un pequeño acelerador de partículas: el tubo de rayos catódicos (TRC). Los electrones son emitidos por un filamento incandescente para ser dirigidos internamente contra la pantalla.

El voltaje utilizado para lograr que las colisiones den lugar a la generación de luz que llegará a nuestros ojos es del orden de 20000 V.

Siguiendo con esta analogía podemos de forma sencilla introducir de forma simple como funcionan los experimentos en el LHC.

- 1) En el tubo de rayos catódicos (TRC) las partículas (electrones) colisionan contra la pantalla mientras

que en el LHC las partículas (protones) colisionan entre sí.

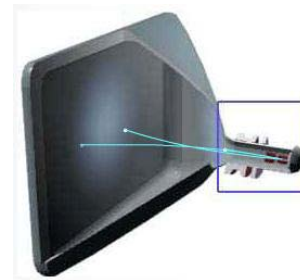


FIGURA 1. Tubo de rayos catódicos: un acelerador en casa.

- 2) El resultado de los choques en el TRC genera fotones que salen de la zona de colisión, y en el LHC son muchas partículas (además de fotones) las que son generadas como resultado de las colisiones frontales protón-protón. Precisamente, algunas de ellas son ansiosamente buscadas por los físicos de partículas. Este es el caso del “famoso” bosón de Higgs.
- 3) Los fotones que salen de la pantalla de nuestro TRC llegan a nuestros ojos. Unas lentes ópticas (córnea y cristalino) los dirigen a las zonas sensibles de detección (retina), donde dispositivos especializados emitirán señales al recibir esos fotones. En el LHC, cuatro “inmensos ojos” (los cuatro detectores: ATLAS, CMS, ALICE y LHCb) dirigen a las partículas nuevas generadas mediante unas formidables “lentes magnéticas” hacia diferentes zonas de esos detectores para que sean registradas.
- 4) Las señales que salen de la retina llegan a través del nervio óptico a nuestro cerebro donde serán de forma muy rápida almacenadas, procesadas e interpretadas. En el LHC, las señales salen de los detectores para ser depuradas, almacenadas y finalmente interpretadas en un cerebro global constituido por los centenares de centros de investigación participantes en los experimentos. Una nueva red mundial llamada GRID será la encargada de llevar esa información y permitir su procesamiento, desde el CERN a todas las instituciones implicadas.

Vayamos ahora al voltaje. La cantidad de energía proporcionada al electrón en nuestro aparato de TV se puede expresar de forma muy intuitiva. Llamando “1e” a la carga del electrón:

$$E_{TRC} = q \times \Delta V \Rightarrow E_{TRC} = 1e \times 20000 \text{ V}, \quad (1)$$

$$E_{TRC} = 2 \times 10^4 \text{ eV (electron-volt)}.$$

En el LHC las partículas aceleradas son protones, y a través de la cadena de aceleradores del CERN cada protón alcanzará finalmente:

$$E_{LHC} = 7 \text{ TeV (7 Tera-electron-volt),}$$

$$E_{LHC} = 7 \times 10^{12} \text{ eV.}$$

Es momento de comparar:

$$E_{LHC} / E_{TRC} = 3.5 \times 10^8.$$

Es decir, necesitaríamos 350 millones de aparatos de TV "conectados en serie" para que finalmente se alcanzase la energía lograda en el LHC. Con un tamaño medio de unos 12 cm en el tramo acelerador de un TRC, tendríamos una longitud total de:

$$0,12 \times 350 \cdot 10^6 \sim 40 \cdot 10^6 \text{ m (40000 km !).}$$

Por tanto, este "singular acelerador circular" daría la vuelta a la Tierra sobre la línea del ecuador.

Indiquemos ahora que el complejo de aceleradores del CERN, que finalmente permiten alcanzar los 7 TeV por protón, presenta un tamaño global que no alcanza los 35 km.

Comparado con los 40000 km, el complejo de aceleradores del CERN no parece tan grande.

Todavía podemos llevar la comparación aún más lejos. Tomemos como alimentador de voltaje una pila o batería común de 1,5 V.

$$E_{LHC} / E_{Pila} = 4.7 \times 10^{12}.$$

Así que estamos hablando de casi 5 billones de baterías o pilas. Con un tamaño de cada pila de unos 5 cm ,la longitud total de ese particular montaje sería:

$$4.7 \times 10^{12} \times 0,05 \sim 2,3 \cdot 10^{11} \text{ m (230 millones de km!).}$$

Ese acelerador sería mucho más largo que la distancia entre el Sol y la Tierra (150 millones de km).

Sólo con estas dos comparaciones que acabamos de hacer ya podemos hacernos una idea del esfuerzo tecnológico que hay detrás de este enorme dispositivo que constituye el mayor experimento de la Historia.

### III. ¿DE CUÁNTA ENERGÍA HABLAMOS REALMENTE?

Cuando el LHC opere a máxima energía cada protón alcanzará los 7 TeV. Veamos de cuanta energía estamos hablando. Pasemos este valor al Sistema Internacional de unidades:

$$7 \text{ TeV} = 7 \cdot 10^{12} \text{ eV,}$$

$$7 \cdot 10^{12} \times 1.6 \cdot 10^{-19} = 1.12 \cdot 10^{-6} \text{ J.}$$

Esta es aproximadamente la energía necesaria para levantar una pequeña partícula de arena de 1 miligramo

*Luminosidad: la luz al final del túnel (LHC)*  
una altura de 10 cm. En efecto, la energía adquirida por esa partícula de arena será:

$$E_p = m \times g \times h, \quad (2)$$

$$\Rightarrow E_p = 10^{-6} \times 9,81 \times 0,1 \Rightarrow E_p \approx 10^{-6} \text{ J.}$$

No parece mucha energía, pero recuérdese que en el LHC estamos hablando de un sólo protón, mientras que la partícula de polvo contiene unos  $6 \times 10^{20}$  protones.

Veamos algunos ejemplos más para comprender la verdadera dimensión del valor de esta "ridícula" energía.

Imaginemos que esta energía presente en un único protón se transfiere totalmente en forma de energía cinética a un objeto macroscópico que alguien dejó por error dentro de uno de los dos tubos guía del LHC. Supongamos que un cansado trabajador de montaje, con dolor de cabeza, dejó allí una aspirina de 500 mg de masa.



**FIGURA 2.** Un protón del LHC "transfiere" su energía a una aspirina.

La velocidad que adquiriría ese comprimido de aspirina sería:

$$\frac{1}{2} \times 5 \cdot 10^{-4} \times v^2 = 1.12 \cdot 10^{-6} \Rightarrow v = 6,7 \cdot 10^{-2} \text{ m/s.}$$

Sigue sin parecer nada extraordinario, una velocidad que apenas llega a los 7 cm/s. Pero veamos el equivalente en protones que supone una aspirina. La masa molecular de la aspirina es aproximadamente 180 u. Por tanto, cada molécula posee una masa equivalente a 180 protones.

Veamos cuantas moléculas hay en 500 mg de aspirina:

$$\frac{0,5}{180} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 1,67 \cdot 10^{21} \text{ moléculas.}$$

Por lo que el número equivalente en protones en cada comprimido es:

$$1,67 \cdot 10^{21} \times 180 = 3 \cdot 10^{23} \text{ protones.}$$

De forma que un protón en el LHC a 7 TeV de energía sería capaz de mover un objeto de casi un cuatrillón de veces mayor.

Si imaginamos un protón como un balón de fútbol (0,450 kg), el comprimido pasaría a ser un objeto de masa igual a:

$$0,45 \times 3 \cdot 10^{23} = 1,35 \cdot 10^{23} \text{ kg.}$$

Xabier Cid y Ramón Cid

Es decir el doble de masa que la Luna. Por tanto una colisión frontal de un protón en el LHC se puede visualizar como lanzar una pelota contra la Luna con energía suficiente para lograr desviarla de su órbita.

Ya no parece tan “ridícula” esa energía.

En el LHC los protones no viajan solos sino formando paquetes (*bunches*) de unos cien mil millones de protones cada uno. Cada uno de esos paquetes lo podemos visualizar como un hilo de unos 7 cm de largo y menos de 1 mm de espesor. Calculemos la energía de cada uno de estos paquetes:

$$7 \text{ TeV/protón} \times 1.15 \times 10^{11} \text{ protones/paquete.}$$

Por tanto la energía total por paquete, ya en el S.I., es:

$$1.29 \times 10^5 \text{ J/paquete.}$$

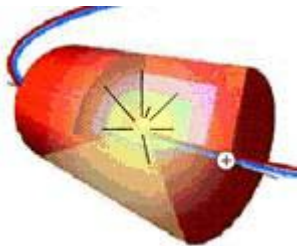


FIGURA 3. Colisión de dos protones en el centro de un detector.

Por cierto, la masa en reposo de cada paquete es:

$$1.15 \cdot 10^{11} \times 1.67 \cdot 10^{-24} \approx 0.2 \cdot 10^{-12} \text{ g (0,2 pg).}$$

Una bala del calibre 45 tiene una masa de 15 g y vuela a una velocidad de unos 1000 km/h (~278 m/s), que es la máxima velocidad para munición comercial. La energía cinética correspondiente es:

$$E_{c-bala} = \frac{1}{2} \times 0.015 \times 278^2 \approx 600 \text{ J.}$$

Si comparamos esta última energía con la del paquete de protones tenemos:

$$E_{paquete} / E_{c-bala} \approx 200.$$

Por tanto, si un paquete de protones (0.2 picogramos de masa en reposo) impacta contra algo transfiere 200 veces más energía que una bala disparada por una poderosa arma de fuego. O si se quiere, si un grupo de protones se desvía de su trayectoria y choca contra las paredes del tubo por el que viaja tendría unas violentas consecuencias en la zona de impacto. Esto último constituye uno de los mayores motivos de preocupación para los responsables del LHC.

Una todavía más “aterradora” comparación es la que se deriva de tener en cuenta que en cada sentido del colisionador viajan 2808 paquetes de protones. Entonces la energía almacenada en cada haz de protones es:

$$1.29 \cdot 10^5 \text{ J / bunch} \times 2808 \text{ bunches} \sim 360 \text{ MJ.}$$

Y ese valor es equivalente a la energía producida en la explosión de unos 80 kg de TNT.

Veamos como final de este apartado la energía almacenada en los dipolos magnéticos. Estos dispositivos (ver Figura 4), en número de 1232, son los encargados de guiar a los protones en su trayectoria circular a lo largo del colisionador. Funcionan pues como imanes de deflexión y sus campos magnéticos son generados por enormes corrientes eléctricas que fluyen por cables superconductores de Niobio-Titanio.

Esas corrientes suponen una energía almacenada de 7 MJ en cada dipolo. Tomando los 1232 dipolos tendremos un total de energía almacenada:

$$E_T = 1232 \times 7 \Rightarrow E_T \approx 9 \text{ GJ.}$$

Consideremos un Boeing 747 (Jumbo) con peso máximo de 333,4 Tm a velocidad de crucero de unos 840 km/h (230 m/s). Su energía cinética es:

$$E_c = \frac{1}{2} \times 333400 \times 245^2 = 9 \times 10^9 \text{ J} \Rightarrow E_c = 9 \text{ GJ.}$$

Por tanto la energía almacenada en los dipolos, que conforman la estructura principal del acelerador, es equivalente a la que posee uno de los aviones de pasajeros más grandes que existen cuando vuela a velocidad de crucero.

#### IV. ALGUNOS CÁLCULOS EN FORMA DE COMPARACIÓN TÉRMICA

Otra consideración que también ayuda a aproximarnos a lo singular de esta máquina puede ser hecha desde la perspectiva térmica.

Así, veamos la energía que posee cada haz de protones para hacer una comparación de carácter calorífica.

Calculemos la cantidad de Plomo a 25 °C que podemos fundir usando los 360 MJ de energía “almacenada” en cada uno de los haces.

Los datos para el Plomo son:

Calor Latente de Fusión:  $L = 23,2 \text{ kJ/kg.}$

Calor específico:  $c_e = 129 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}.$

Temperatura de fusión:  $T_F = 600 \text{ K.}$

Realicemos ahora el cálculo:

$$Q = (m \times c_e \times \Delta T) + (m \times H_F) \quad (3)$$

$$360 \times 10^6 = m \times 129 \times (600 - 298) + m \times 23,2 \times 10^3.$$

$$m \approx 5800 \text{ kg} \approx 6 \text{ toneladas de Plomo.}$$

Estamos hablando de un “fino hilo” de unos pocos centímetros, formado por protones, capaz de fundir casi 6 toneladas de Plomo.

Acerquémonos ahora al caso opuesto: los efectos térmicos debidos a las bajas temperaturas usadas.

Los dos tubos, dentro de los cuales viajan los dos haces de protones en sentidos contrarios, están “bañados” por helio superfluido a una temperatura de 1,9 K (la temperatura más baja en el Universo!).

Hay varios materiales implicados, con coeficientes lineales de dilatación distintos y éstos varían además con la temperatura. No obstante, a efectos de aproximación, podemos tomar como coeficiente de dilatación lineal medio  $\lambda \approx 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ , que es el orden de magnitud para la mayoría de los metales.



FIGURA 4. Dipolos en el túnel del LHC.

La variación lineal viene dada por la expresión:

$$\Delta L = L_0 \times \lambda \times \Delta T \quad (4)$$

siendo  $L_0$  la longitud inicial y  $\Delta T$  la variación de temperatura.

La distancia entre los centros de los dos tubos de vacío es de 194,52 mm a 300 K. En condiciones de funcionamiento a 1,9 K tendremos:

$$\begin{aligned} \Delta L &= L_0 \times \lambda \times \Delta T \Rightarrow 194,52 = 10^{-5} \times (1,9 - 300). \\ \Delta L &= -5,2 \cdot 10^{-4} \text{ m} \Rightarrow \Delta L = -0,52 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Habrà una reducción de medio milímetro, por lo que la distancia real que separará los dos haces en el LHC será de  $d = 194 \text{ mm}$ .

Pero pasemos a algo más espectacular. Ya hablamos en apartados anteriores de los 1232 imanes de deflexión (dipolos) que conforman una de las imágenes más característica del LHC (ver Figura 4). Cada dipolo pesa unas 35 toneladas y la longitud total de cada uno de ellos (la llamada “masa fría”) es de 14,343 metros a 300 K. Entonces al pasar a 1,9 K tendremos,

$$\begin{aligned} \Delta L &= L_0 \times \lambda \times \Delta T \Rightarrow \Delta L = 14,343 \times 10^{-5} (1,9 - 300), \\ \Delta L &= -4,3 \cdot 10^{-2} \text{ m} \Rightarrow \Delta L = -4,3 \text{ cm}. \end{aligned}$$

Por tanto la longitud de cada dipolo en funcionamiento será de 14,300 m. Se trata de una contracción nada despreciable. Pero además, teniendo en cuenta los 1232 dipolos, la contracción total es:

$$\Delta L = -4,3 \cdot 10^{-2} \times 1232 \Rightarrow \Delta L = -53 \text{ m (!)}.$$

Es decir, medio campo de fútbol. Este es otro valor que indica la precisión con la que hubo que construir esta máquina a fin de que estos cambios estuvieran siempre perfectamente controlados.

Un último ejemplo lo podemos encontrar en el sistema de protección que presenta el LHC para evitar que el haz pueda causar daños graves en la propia máquina. El suceso más temido en un dispositivo como éste es el llamado “quenching” que aparece cuando una parte de un dipolo pasa de condiciones de superconductividad a un estado resistivo normal.

Estos sucesos se inician con energías de unos pocos mJ (miliJoules) cuando la temperatura crítica o la corriente crítica es superada, por movimientos en los superconductores (fricción y disipación de calor), fallos criogénicos, y obviamente por pérdida del haz que impacta contra el sistema criogénico. Entonces, la deposición de energía en el cableado superconductor provoca el fin de las condiciones de superconductividad con un aumento progresivo de la temperatura por efecto Joule. Un dipolo en “quenching” requiere una descarga inmediata de los haces en una sola vuelta, disipando los 14 TeV (720 MJ) en 89 ms!

Cada haz es desviado a una zona exterior al anillo principal donde se encuentra el sistema de descarga (Beam dumping). Consiste en un bloque cilíndrico de grafito (beam absorber) de unos 8 m de longitud y de 1 m de diámetro (ver Figura 5), en el que se dispersan los 2808 paquetes a lo largo de su volumen. Este es el único elemento en el LHC que puede resistir el impacto del haz completo.

Para distribuir la energía de forma conveniente y en toda la masa de grafito, el haz descargado es obligado a entrar en el cilindro de la forma más extendida posible (dilution), y dibujando en su entrada en la masa de grafito una figura en forma de casi circunferencia de unos 120 cm. Un conjunto de imanes deflectores son los encargados de realizar la tarea de adecuación del haz para que su energía sea disipada de forma controlada.

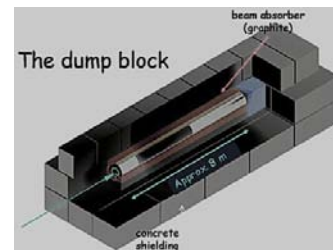


FIGURA 5. Sistema de descarga de los haces de partículas.

Hagamos un breve cálculo con los números implicados. Teniendo en cuenta las dimensiones del bloque de grafito y su densidad ( $2250 \text{ kg/m}^3$ ), la masa total es:

Xabier Cid y Ramón Cid

$$(8 \times \pi \times 0,5^2) \times 2250 = 1,41 \cdot 10^4 \text{ kg.}$$

El calor específico del grafito es de  $710 \text{ J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Como la energía a disipar por el haz es de 360 MJ, la variación media de temperatura en todo el bloque sería:

$$Q = m \cdot c_e \cdot \Delta T, \quad (5)$$

$$360 \cdot 10^6 = 1,41 \cdot 10^4 \cdot 710 \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta T = 36 \text{ }^\circ\text{C.}$$

No parece mucho aumento, pero el proceso de descarga dura menos de 0.1 s, por tanto el incremento de temperatura es casi instantáneo. Además, estamos hablando de un imponente cilindro de 8 metros de longitud, 1 metro de diámetro y unas 14 toneladas de masa que incrementa su temperatura en casi  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  de media.

## V. DATOS ASOMBROSOS

Para finalizar indicamos en diez datos los hechos y parámetros que muestran lo extraordinario de este experimento y de esta máquina. Han sido tomados de un documento en forma de Guía que el propio CERN publica con cierta periodicidad, LHC THE GUIDE - CERN FAQ [5].

Dato 1) Cuando el túnel de 27 km fue excavado entre el Lago de Ginebra y el macizo del Jura, los dos finales se encontraron con una precisión de 1 cm.

Dato 2) Cada uno de los 6300 filamentos superconductores de niobio-titanio del cable producido para el LHC tiene unos 0.006 mm de espesor, es decir unas 10 veces más fino que un cabello humano.

Dato 3) Si uniésemos uno detrás de otro todos los filamentos de Nb-Ti, la longitud obtenida sería suficiente para ir al Sol y volver cinco veces, y sobraría para unos cuantos viajes a la Luna.

Dato 4) La zona central del LHC es la máquina frigorífica más grande del mundo. A una temperatura más fría que la del profundo espacio exterior, contiene hierro, acero y todos los importantes imanes superconductores.

Dato 5) La presión interior en los tubos por donde circulan los protones es unas diez veces más baja que la de la superficie lunar. Se trata de ultra vacío.

Dato 6) Los protones a máxima energía en el LHC viajan a 0.999999991 veces la velocidad de la luz. Cada protón da en el anillo de 27 km más de 11000 vueltas por segundo.

Dato 7) A energía máxima, cada uno de los haces de protones en el LHC tendrá una energía equivalente a la de un tren de alta velocidad de 400 toneladas circulando a 200 km/h.

Dato 8) El Sol nunca se pone en la colaboración ATLAS. Los científicos que trabajan en este experimento

proceden de todos los continentes a excepción de la Antártida.

Dato 9) El sistema magnético del detector CMS contiene unas 10000 toneladas de hierro, lo que representa más cantidad de ese metal que el que hay en la Torre Eiffel.

Dato 10) Los datos registrados por cada experimento en el LHC son suficientes para llenar alrededor de 100000 DVDs cada año.

## VI. CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo hemos presentado diferentes magnitudes del colisionador LHC y hemos realizado algunos cálculos que ponen de manifiesto las dimensiones de esta extraordinaria máquina.

Todo ello se ha pretendido evitando el uso de fórmulas y deducciones matemáticas complicadas a fin de que sean accesibles al nivel de enseñanza secundaria.

Este tipo de comparaciones ha hecho que algunas personas, de forma totalmente desacertada, hayan sugerido que las colisiones pueden dar lugar a sucesos catastróficos para el planeta. Esto no responde a ninguna consideración científica como ha sido ya puesto de manifiesto en trabajos específicos, Ellis *et al.* [6] y de divulgación, Cid y Cid [7]. No obstante, esta polémica sirve para enfatizar, una vez más, que una sociedad sin cultura científica puede fácilmente ser manipulada por intereses ajenos a la ciencia.

Si el lector está interesado en cálculos de igual intención sobre otras magnitudes relacionadas con este experimento, puede encontrarlos en las referencias que se citan y también en Sitio Web "Acercándonos al LHC" [8].

## REFERENCIAS

- [1] Cid R., *Contextualized magnetism in secondary school: learning from the LHC (CERN)*, Phys. Educ. **40**, 332-338 (2005).
- [2] Cid, R., Cid, X., *Taking energy to Physics classroom from LHC (CERN)*, Phys. Educ. **44**, 78-83 (2009).
- [3] Cid, R., Cid, X., *The Higgs particle: a useful analogy for Physics classrooms*, Phys. Educ. **45**, 73-75 (2010).
- [4] Cid, R., Cid, X., *Luminosidad: luz al final del túnel (LHC)*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **3**, 638-642. (2009).
- [5] LHC The Guide - CERN FAQ Communication Group, January 2008 CERN -Brochure 2008-001-Eng. (2008).
- [6] Ellis, J. *et al.*, *Review of the safety of LHC collisions*, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **35**, 115004 (2008).
- [7] Cid, X., Cid, R., *¿Es segura la Tierra para el LHC (CERN)?*, Revista Española de Física **22**, 33-36 (2008).
- [8] *Acercándonos al LHC*, <<http://www.lhc-closer.es>> Consultado el 1 de Mayo de 2010.