

EL GRAN COLISIONADOR DE HADRONES ENSAYA LA VIDA

The Large Hadron Collider Rehearses Life

Maria Cristina Batoni Abdalla
(IFT/UNESP, Brasil)

Resumen

Este trabajo ofrece algunos lineamientos para una mejor comprensión de qué es el Gran Colisionador de Hadrones y en qué sentido modificará las teorías científicas y la vida cotidiana.

Palabras claves: hadrón, bosón de Higgs, modelo estándar.

Abstract

This paper provides some guidelines for better understanding of what is the Large Hadron Collider and in which way it will affect the scientific theories and everyday life.

Keywords: Hadron, Higgs Boson, Standard Model.

Introducción

Cuando se coloca la cuestión de la recreación de la vida en el laboratorio una controversia ardiente se instala entre científicos y religiosos. El tema *vida* además de toparse con implicaciones filosóficas delicadas incomoda sobremanera a los medios y se busca entonces en la bioética un farol conductor de las intenciones intentando regular no solamente grandes inversiones para la investigación como límites de acción del científico que gusta de jugar a Dios. No obstante, desde un punto de vista más primordial, esa polémica vaya más allá.

Si la creación de la vida remite al caluroso debate entre ciencia y religión un tema aún más fundamental debería incomodar antes: ¡la creación del propio Universo! La historia del origen de los tiempos, para casi todos los pueblos antiguos, se confunde con la religión de donde surgen elaboradas creencias y

mitos sobre la creación. Hoy la ciencia moderna rompe con los dogmas de la resignación religiosa y ofrece la posibilidad de, bajo el tamiz de la razón y de la filosofía, escoger y decidir sobre la filiación a génesis fabuladas o positivistas, de alguna suerte, experimentales.

Las diferencias son enormes. La Génesis teológica comprende dos partes: la formación del universo y la de la humanidad. Como ejemplo, recordamos que, de acuerdo con el libro *Génesis*, Dios habría creado el mundo en el siguiente orden: el cielo, la tierra, la luz, el firmamento, las aguas, las plantas, el sol, las estrellas, los peces, los pájaros, los animales terrestres y, por fin, el ser humano; vio que todo estaba bien y descansó en el séptimo día. De acuerdo con la cosmología moderna, el universo se habría originado de una gran explosión conocida como el *Big Bang*, a partir de la cual el espacio-tiempo y la materia, incluyendo estrellas y galaxias, se habrían formado, hace cerca de 13,7 mil millones de años.

Para fundamentar sus teorías el físico construye *ojos poderosos* que ven lo que nuestro sentido común no percibe. Aceleradores de partículas elementares como el LHC – *Large Hadron Collider* (Gran Colisionador de Hadrones), en Ginebra, Suiza, aparecen como una chance de mimetizar las condiciones del universo primordial. Considerado como el proyecto que reunió el mayor esfuerzo de la humanidad, desde sus inicios, el LHC tiene varias tareas sobre las cuales hablaremos más adelante.

La ciencia que ya destituyó al Hombre del privilegio del antropocentrismo por la revolución de Copérnico, en el siglo XXI enfrenta un nuevo sobresalto, tal vez aún más grave. La bioquímica humana está constituida de una materia bariónica (3,5%), extremadamente rara y diferente del resto conmensurable del universo. La materia y energía oscuras que forman más del 94% del universo observado son objetos de investigación en el LHC. Aunque sintetizada en el laboratorio resta esa inexorable tribulación de que seamos casi nada en el seno de ese gigantesco escenario que es nuestro universo.

Modelo Estándar es una teoría consistente con la mecánica cuántica y la relatividad especial que describe las interacciones fundamentales de la naturaleza: la fuerte, la débil y la electromagnética y las partículas elementales que forman la materia: seis quarks y seis leptones. Cuando esas doce partículas interactúan entre sí decimos que cada una de las fuerzas tiene su mediador, o sea, una partícula que “carga” la fuerza, llamada de bosón mediador. La fuerza electromagnética es mediada o “cargada” por el fotón (el *quantum* de luz), la fuerza fuerte por los gluones y la fuerza débil por los bosones W^+ , W^- e Z_0 . El fotón y el gluón no tienen masa, pero los otros tres bosones mediadores, los leptones y los quarks son masivos. En una clasificación más general leptones y quarks son fermiones (partículas con el número cuántico *spin* semi-entero) y los mediadores son bosones (tienen *spin* entero). El Modelo Estándar conquistó muchos éxitos combinando, de manera única, experimentos detallados y delicados con cálculos sofisticados y muy trabajosos que culminaron en casi una decena de premios Nobel. Sin embargo, no es una teoría completa de las interacciones fundamentales, en tanto que no describe la gravedad, además de haber presentado desvíos experimentales recientes. En 1998 resultados obtenidos en el experimento Super-Kamiokande, Japón, indicaron que neutrinos (leptones del modelo estándar) tienen masa, al contrario de lo que el Modelo Estándar enseña. La fuerza fuerte es la interacción fundamental que mantiene los quarks ligados formando objetos mayores tales como los protones y neutrones, bloques formadores de los elementos atómicos. El Modelo Estándar mucho nos cuenta sobre el mecanismo a través del cual los bosones intermediarios de la fuerza fuerte, los gluones, mantienen los quarks juntos para formar los protones y neutrones. En tanto hay dos aspectos intrigantes de la interacción fuerte que permanecen objeto de estudio hasta hoy: 1) nunca un quark aislado fue observado. 2) Protones y neutrones contienen quarks y gluones pero la masa de esos quarks suma apenas un porcentaje de la masa total de cada hadrón. De forma que en cuanto el mecanismo de Higgs puede dar cuenta de la masa de los quarks individuales no explica la mayor parte de la masa de la materia ordinaria. La Cromodinámica cuántica que es la teoría de las interacciones fuertes prevé que a altas temperaturas quarks y gluones desconfinan y pasan a existir libremente en un nuevo estado de la materia conocido como plasma quark-gluón. Ese estado de la materia será estudiado en el LHC a través de la colisión de iones de plomo.

Contextualización

Comprender la Física de Partículas Elementares ha sido un empeño global. Millares de especialistas unen esfuerzos en un objetivo común: entender la constitución íntima de la materia. Con ese propósito energías increíblemente altas deben ser alcanzadas simulando lo que podría ser el inicio de los tiempos. La física que investiga los fenómenos de la naturaleza a altísimas energías entró recientemente en una nueva era. Los instrumentos científicos que fueron contruidos para esa aventura superan, en varios órdenes de magnitud, todo lo que ya fue hecho hasta hoy, sea en términos de la tecnología empleada sea en lo que atañe a la construcción civil o aún presupuestaria: su costo pasó los 10 mil millones de francos suizos. La construcción del LHC puntúa como la mayor y más innovadora máquina de descubrimiento científico con subproductos tecnológicos inimaginables.

El LHC es un acelerador de partículas subatómicas – el mayor, el más rápido y el más sofisticado instrumento científico jamás concebido – ciertamente el experimento que reunió el mayor empeño humano desde los inicios de su civilización. Congrega más de 7.500 científicos de 500 universidades de más de 80 naciones. Imagine un enorme túnel subterráneo (a 100 metros bajo tierra) de 27 km de circunferencia por donde dos haces de partículas, viajando en sentidos opuestos, con velocidades próximas a la de la luz, se chocan en puntos escogidos donde detectores inmensos y ultra sensibles observan con ojos electrónicos las colisiones de esas partículas pequeñas.

El resultado es la formación de un *spray* de nuevas partículas reproduciendo, en el laboratorio, la energía liberada instantes después del *Big Bang*. El análisis cuidadoso de ese *spray* nos revela detalles de la estructura de la materia. El LHC fue diseñado para acelerar protones a energía de 14 Teraelectronvoltios ($\text{TeV} = 10^{12} \text{ eV}$) en el centro de masa, esto es, 7 TeV en cada haz. Esa es la idea del Gran Colisionador de Hadrones, pues protones son hadrones (partículas que sienten la fuerza nuclear fuerte). La circunferencia del túnel es un limitante para la energía que el haz puede adquirir. Otro parámetro importante es la intensidad del haz. Cuanto mayor la intensidad mayor el número de colisiones.

Como subproducto de las colisiones de los dos haces de protones mini agujeros negros pueden ser producidos. Entran en escena aquí cuestiones de diversos órdenes sobre el origen y peligro de tales mini agujeros negros. ¿Podrían desestabilizar el universo ya creado? ¿Podrían corroborar la génesis científica? Sondar nuestros orígenes de manera tan pragmática es por lo menos atemorizante y preconizar un eventual apocalipsis es más aterrador aún. Dudas sobre el peligro potencial de tales agujeros negros llevaron a algunos ciudadanos a pregonar el tema a los cuatro puntos del mundo. Ciudadanos contra el LHC es una organización sin fines de lucro establecida con el propósito de, usando acciones legales impedir la operación del LHC hasta que dispositivos de seguridad máxima sean implementados. LHCDefense.org es el sitio oficial para ciudadanos contra el LHC. En verdad, para los científicos la creación de tales agujeros negros no compromete de modo alguno la estabilidad del universo, pero podría sí confirmar, por ejemplo, que el espacio tiempo no es

tetradimensional (tres dimensiones de espacio y una de tiempo) mas hospeda dimensiones extras trayendo a tono una cuestión filosófica formidable.

La concepción del LHC surgió en el final de la década del '80 antes de su precursor el colisionador LEP – *Large Electron Positron* (gran colisionador de electrón positrón) hubiera sido completamente explorado. El LEP, instalado en la década del '80 en el mismo túnel de 27 km, aceleraba en direcciones opuestas electrones y positrones (la anti-partícula del electrón). Produjo resultados importantes de gran precisión que fueron agregados al Modelo Estándar. Producía haces con energías de Giga eV ($\text{GeV} = 10^9 \text{ eV}$). Obsoleto el LEP fue desmontado. Hoy el túnel abriga el LHC, responsable del sistema de aceleración de los haces de protones y cuatro nuevos detectores: ATLAS, CMS, ALICE y LHCb, responsables de la observación y el registro de las colisiones. Cada detector exhibe características distintas y sofisticadas bien peculiares. Fueron construidos en inmensas cavernas (la del CMS es la mayor del mundo), constituyendo una magnífica y compleja obra de ingeniería civil. El almacenamiento y el análisis computacional de esas colisiones es un problema gigantesco. Los datos llegarán a la casa de los *exabytes* (10^{18} bytes) por año. Concebida especialmente para ese fin la EDG – *European DataGrid* - conecta centenas de millares de computadores esparcidas por el mundo. Hoy la transferencia de datos entre el CERN y California es de 10 Gigabytes por segundo. Vivimos en una nueva era de tránsito mundial de datos, con bandas excepcionalmente largas. Recordamos aquí que fue en el CERN que la WWW nació dando origen a Internet con un protocolo de libre acceso.

A pesar de todas las protestas y tentativas legales de impedimento a las 10h 28 del día 10 de septiembre de 2008 el LHC entró en funcionamiento exhibiendo un éxito absoluto de la inyección de los haces de protones. Un evento histórico que registra una verdadera división de aguas en la dirección de una nueva era científica fruto de la competencia hercúlea de millares de científicos. Nueve días despues, el 19 de septiembre, tuvo que ser apagado. Una falla en las conexiones eléctricas indicó serios daños provocando un vaciamiento de helio líquido superconductor que llena el interior del acelerador, forzando así la interrupción del trabajo. Se inicia un largo proceso de apagado. A pesar de eso su inauguración oficial con derecho a banda, champán y jefes de estado

aconteció el 21 de octubre del mismo año. De octubre de 2008 a noviembre de 2009 se instala un largo período de reparación y mantenimiento.

El acelerador se tornó operacional nuevamente el día 14 de noviembre 2009 y a las 22:00 hs. del día 20 de noviembre de 2009 el haz de protones estaba de vuelta circulando los 27 km. del LHC esta vez para alcanzar una energía de 3.5 TeV, a penas la mitad de la deseada. Después de un año él vuelve más maduro y comprendido, pronto para cumplir su destino de mudar profundamente nuestra visión del universo.

Higgs Indagadores por excelencia los físicos no aceptan que las masas de las partículas sean simplemente "datos de entrada en las teorías". El desafío, entonces, es elaborar un mecanismo que pueda, de forma consistente con principios primeros de la Física, comprender como las masas pueden haber sido geradas. La idea de un Universo, máximamente simétrico en sus instantes iniciales, nos lleva a pensar que todas las partículas fundamentales que conocemos hoy, los quarks, los leptones y los bosones mediadores, eran, primariamente, entidades sin masa. Una de las propuestas más difundidas y aceptas actualmente se refiere a la existencia de un campo - el llamado campo de Higgs - al cual también corresponde una nueva partícula, probablemente también no-compuesta, llamada bosón de Higgs. Este campo se extiende por todo el espacio-tiempo y, buscando su configuración de energía mínima, esto es, de estabilidad absoluta, induce un nuevo tipo de medio - el medio dominado por el llamado vacío de Higgs, en el cual las partículas conocidas pasan a propagarse, pero ahora con masa, debido a la interacción de ellas con el medio dictado por el campo de Higgs. Una de las tareas más esperadas de la agenda de experimentos del LHC es poder identificar tal bosón de Higgs, neutro, sin orientación interna (al que, en Física, nos referimos como *sin polarización*) y con masa esperada de cerca de 1,5 masas del protón. El desafío del descubrimiento de esta nueva partícula marca una etapa decisiva para nuestra comprensión de cuál es el origen de la masa de las llamadas partículas verdaderamente elementares. Es interesante observar que el fotón, a pesar de propagarse como las demás partículas y los demás bosones mediadores en el vacío dominado por la configuración del campo de Higgs, permanece sin masa. Este resultado es bien claro en el ámbito de la llamada Teoría Electrodébil de Salam-Glashow-Weinberg, que describe como las fuerzas electro-magnéticas y nucleares débiles tienen un origen común.

Historia del LHC

El inicio oficial del proyecto fue en 1984, con un simposio organizado en Lausanne, Suiza. Grupos se formaron para proponer un proyecto que acelerase hadrones. En 1989 las primeras colaboraciones comenzaron y él se tornó el proyecto prioritario del CERN. En 1992 un encuentro en Evian, Francia marca el inicio para las propuestas de experimentos. La idea era construir un acelerador superconductor sofisticado que funcionase a bajísimas temperaturas. El 16 de diciembre de 1994 el consejo del CERN aprobó el proyecto para ser construido en dos etapas. En junio de 1995 Japón se torna observador del CERN

y su ministro de educación anuncia una contribución financiera al proyecto. En la oportunidad ofrece un Daruma al Director general del CERN, incluyendo toda la mística del símbolo. En octubre de 1996 el informe técnico con el *design* del LHC fue publicado detallando la operación y la arquitectura del futuro acelerador. En febrero, cuatro años después de las primeras propuestas técnicas, los experimentos CMS y ATLAS son aprobados oficialmente. Ambos esperan encontrar el bosón de Higgs y sondear la misteriosa materia oscura que permea el universo. Al año siguiente otros dos detectores son aprobados oficialmente: ALICE cuya tarea es estudiar el plasma quark-gluón primordial y el LHCb que se torna cuarto experimento aprobado para estudiar el fenómeno conocido como violación de CP que puede llegar a explicar la asimetría materia-antimateria existente en el universo.

Gracias a las contribuciones financieras de la India, Rusia y Canadá, que no son países miembros naturales por no ser europeos el consejo del CERN decide en 1997 construir el LHC en apenas una etapa. En diciembre los Estados Unidos firman un acuerdo de colaboración y participan del proyecto, en particular para producir los magnetos superconductores del acelerador. Cerca de 750 físicos americanos son usuarios del CERN. En 1998 el gobierno francés decreta el LHC como un proyecto de utilidad pública obteniendo luz verde para todas las construcciones civiles. Las autoridades del cantón de Suiza aprueban las obras en el territorio suizo. En las excavaciones vestigios de la época galoromana son descubiertos.

LEP – Grid – Obra civil – Unidad de Criogenia

En 2000 el LEP, el mayor acelerador del mundo en su época, precisa ser apagado. Tiene que ser desmontado para dar espacio físico al LHC. Las 40.000 toneladas de material subterráneas precisarán ser evacuadas. El desmonte completo terminó en febrero de 2002. Mientras tanto, en 2001, el proyecto EDG – *European DataGrid* es lanzado 2 años después de que la idea hubiera sido concebida en Annapolis, Estados Unidos. La *Grid* tiene la tarea de dar infraestructura para una red de computación internacional que conecta centenas de millares de computadores esparcidos en el mundo. El análisis de datos en altas energías va a llegar al nivel de exabytes (10^{18}) de datos por año.

Más de 20 millones de CD's. Hoy la *Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)* combina el poder de cálculo de más de 140 centros de computación independientes en 34 países y da soporte a los experimentos del LHC. Lidia con más de un millón de *jobs* por día con centenas de físicos involucrados en el análisis de datos que han sido transferidos con velocidades impresionantes alcanzando picos de 10 gigabytes por segundo, el equivalente a dos DVDs enteros de datos por segundo.

En términos de obra civil el LHC lidera una vez más. En 2002 se concluye la excavación de la caverna del Atlas. En apenas dos años se cavó la mayor caverna experimental del mundo con 35 m. de ancho, 55 m. de largo y 40 m. de altura. Posteriormente se da, en 2005, la inauguración de la caverna del CMS que llevó seis años para ser construida con 53 m. de largo, 27 m. de ancho y 24 de altura, coincidiendo con el fin del trabajo de ingeniería civil del LHC. Con la obra civil terminada las piezas del gran colisionador comienzan a ser colocadas en sus debidos lugares. La primera tarea es formar el anillo. El primero de los 1.232 dipolos magnéticos superconductores y bajarlo al subsuelo con gran cuidado. Midiendo 15 m. y pesando 35 toneladas cada uno, fueron descendidos a un túnel de apoyo y después transportados a sus lugares de destino por un vehículo diseñado especialmente que viaja a tres km/h. Uno después del otro forman los 27 km. de vía para los protones.

El contenido oscuro del Universo

recientes observaciones del Universo traídas por sondas espaciales o por telescopios concuerdan que la dinámica de nuestro Universo exige una cantidad inmensa de masa que no parece estar presente. Sumando todas las fuentes cósmicas obtenemos apenas 4% de la masa que debería haber. ¡Falta mucha massa! Algo del orden de 26% y hay muchas candidatas para lo que llamamos Materia Oscura. La Supersimetría, una forma muy amplia de simetría que congrega tipos de partículas muy distintas – los fermiones y bosones - prevé que haya un considerable número de nuevas partículas, las llamadas partículas supersimétricas, muy distintas de los quarks y leptons y, por tanto, de los protones y neutrones. Tales partículas también son esperadas en los detectores del LHC y, como se concibe hoy, puede formar una significativa fracción de aquello que conocemos como la materia oscura fría del Universo. El 70% que falta es la Energía Oscura. Desde 1998 sabemos que el Universo se expande aceleradamente al contrario de lo que antiguos libros de cosmología nos enseñaban. Hay un sustrato que permea el vacío cósmico e impele al Universo a una expansión acelerada y, sin embargo, nada conocemos sobre su naturaleza. El LHC puede traer pistas.

Mantener los haces de protones estables circulando en el túnel a velocidades próximas a la velocidad de la luz no es una tarea fácil. Para eso se

usa una tecnología altamente sofisticada, basada en la superconductividad. Para crear campos magnéticos intensos que pudiesen domar los haces manteniéndolos en una trayectoria curva a lo largo de los 27 km fue preciso usar ligaduras superconductoras de nióbio y titanio que conducen la electricidad sin resistencia. Coloque todo eso inmerso en un baño de gas de helio (96 toneladas) que se torna un superfluido a $-271,3^{\circ}\text{C}$ (1,9 K) y tenemos la temperatura operacional del LHC, o sea, ¡próximo al cero absoluto! En abril de 2005 la unidad de criogenia testeó esa hazaña por primera vez. Como la temperatura del Universo es $-270,5^{\circ}\text{C}$ (2.7 K), el LHC es el lugar más frío del Universo. Un dato que vale la pena citar es que durante el enfriamiento del LHC el túnel se contrae por vuelta 80 metros.

En 2006 el Centro de Control del CERN se torna operacional y pasa a gerenciar todas las salas de control incluyendo los aceleradores, el centro de criogenia y la infraestructura técnica. Para control de seguridad en el año siguiente el control biométrico con cámara de reconocimiento por Iris es instalado. Quien asistió al filme *Ángeles y Demonios* se debe acordar de haberlo visto.

La etapa más reciente: Haz de iones de plomo

Una de las tareas de 2010 del LHC era llegar a la *luminosidad* de 10^{32} partículas por centímetro cuadrado por segundo. La luminosidad da una medida de la eficiencia de un acelerador de partículas. Como esa meta fue alcanzada el 13 de octubre se pasó a la próxima etapa. Después de extraer el haz de protones final de 2010 en el inicio de noviembre, fueron necesarios apenas cuatro días para substituirlo por un haz de iones de plomo que permaneció estable. El siete de noviembre el LHC inició una nueva fase: la colisión de iones de plomo para estudiar una fase primordial de la materia – el plasma quark-gluón. El LHC termina el año 2010 mirando la dispersión de iones pesados con una energía de 287 TeV por haz, mucho mayor que el haz de protones porque el plomo contiene 82 protones. En la colisión de iones de plomo se simulan las condiciones existentes en los primeros microsegundos después del *Big Bang* donde la materia alcanza una temperatura mayor que 100.000 veces la del centro del Sol. ALICE, ATLAS y CMS son los tres detectores diseñados para

registrar datos y ese proceso de captación llega hasta el día 6 de diciembre cuando a continuación el LHC será apagado para el período de mantenimiento técnico de invierno.

Tareas

Construido en el laboratorio franco-suizo CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear), en las proximidades de Ginebra, Suiza, una vez en operación la tarea del LHC será sondear profundamente la constitución íntima de la materia y explicar algunos de los misterios que aún rondan las teorías más modernas de la física. De lo micro a lo macro restan aún preguntas sin respuesta. Un presupuesto superior a 10 mil millones de francos suizos exige resultados y muchas tareas a ser cumplidas. La principal de ellas es descubrir el Higgs, entonces llamada "*The God Particle*" por Leon M. Lederman, premio Nobel de 1988, que muy probablemente nos dará informaciones de como la masa fue generada en el principio de los tiempos. Otra tarea importante es entender la actual asimetría entre materia y antimateria dado que en el universo primordial ambas existían en cantidades iguales. Entender aún como era el Universo en sus primeros instantes y por qué hoy en día 96% de su constitución nada tiene que ver con la materia observada y sí con energía y materia oscuras que promueven una expansión acelerada del universo también son asuntos que ocupan la mente de muchos físicos en el LHC. Procurar partículas supersimétricas y escarbar el número de dimensiones del espacio-tiempo es una tarea que suena a ficción científica, pero tiene un protocolo dedicado en el LHC. Todas esas cuestiones no son respondidas por el actual Modelo Estándar, pues a pesar de haber sido este el modelo más testado de todos los tiempos está aún incompleto. El LHC permitirá buscar pistas para tales respuestas.

Visión científica: un compromiso con la vida

La investigación fundamental trae beneficios directos para la sociedad. Son los llamados *spinoffs* directos del laboratorio. En el CERN encontramos experimentos donde la antimateria puede ser usada en la lucha contra el cáncer. El ACE (*Antiproton Cell Experiment*, AD-4) investiga los efectos biológicos de


los antiprotones y su posible uso en radioterapia para el tratamiento de tumores

El haz no es continuo, circula en "paquetes". Cada paquete tiene 10^{11} protones distribuidos a lo largo de 7,5 cm de largo por 16 μm de ancho. Los paquetes son formados en un acelerador menor: el *Proton Synchrotron* (PS) a 26 GeV con el espaciamiento correcto. Ahí entonces, son inyectados en el *Super Proton Synchrotron* (SPS) a 450 GeV para finalmente entrar en el LHC, donde adquieren la energía de 7 TeV, circulando el anillo de 27 km 11.000 veces por segundo. A medida que el paquete se aproxima al punto de colisión en el interior de un detector lo encoje a 16 μm . (un hilo de cabello tiene 50 μm). De la colisión de los dos haces surgen mil millones de interacciones protón-protón por segundo.

cancerígenos. Los investigadores Michael Holzschneider y los colaboradores Niels Bassler y Helge Knudsen descubrieron que los antiprotones son cuatro veces más efectivos que los protones en la irradiación de las células.

Como los antiprotones son antimateria deben ser producidos en el laboratorio con la ayuda de un acelerador. El CERN es el único lugar en el mundo que tiene un haz de antiprotones de alta calidad con energía suficientemente baja. "Si no tuviésemos acceso al haz producido por el desacelerador de antiprotones nuestra experiencia jamás podría haber sido hecha", dice Niels Bassler. El ACE es un ejemplo fantástico de como la investigación en física de partículas puede traer una solución innovadora con gran potencial benéfico en el área médica. Sin embargo, la validación del proceso para cualquier tratamiento está demorado. Si todo va bien las primeras aplicaciones clínicas acontecerán de aquí a

algunos años.

El CERN mantiene una política de transferencia de tecnología a la sociedad, pues los descubrimientos son incorporados en la medicina (terapia de cáncer, tecnología de imágenes, instrumentos de medida, radioterapia, tomografías con emisión de positrones (PET), producción de radiofármacos, hadronterapia, antihadronterapia), en la información, en la climatología, en la computación, en la electrónica, en la producción de materiales resistentes, etc. Más allá de producir una cantidad inmensa de tecnología nueva el LHC ciertamente cambiará nuestro entendimiento sobre el Universo, un conocimiento que no tiene precio. 

Bibliografía

Libro

ABDALLA, Maria Cristina Batoni. (2006). *O Discreto Charme das Partículas Elementares*. Editora UNESP.

DVD

ABDALLA, Maria Cristina Batoni. (2010) *O Discreto Charme das Partículas Elementares* – Produzido por: TV Escola, Ministério da Educação e TV Cultura –Brasil.

Sitios

- <http://www.tvcultura.com.br/particulas>
- <http://www.cern.ch>



Maria Cristina Batoni Abdalla, graduación (1976), maestría (1978) y doctorado (1981) por el Instituto de Física de la Universidad de São Paulo, Brasil. Actualmente es libre docente de la Universidad Estatal Paulista Júlio de Mesquita Filho. Trabaja en el área de Física de Altas Energías, con énfasis en la Teoría General de Partículas y Campos, Teoría de cuerdas, Supersimetría, Dimensiones Extras, Cuerdas Cósmicas y Branas. Actúa aún en divulgación científica. Uno de sus libros – *O Discreto Charme das Partículas Elementares* (2006) – fue implementado en el proyecto "Sala de Lectura" de la Secretaría de Educación del Estado de São Paulo y transformado en filme producido para la TV Cultura (2008). En 2010 el Ministerio de Educación y la TV Escuela produjeron el filme en DVD.

Traducción al castellano del Lic. Lucas E. Misseri (UNMDP-CONICET, Argentina).