



Marina Núñez. *Sense títol*, 2001. Sèrie Ciència-ficció. Infografia i retolador sobre paper, 67 x 48 cm.

# EL DESAFIAMENT PEL CONEIXEMENT

## ÉS L'LHC SEGUR?

Susana Cabrera Urbán, Ángeles Faus Golfe, José Salt Cairols i Miguel Ángel Sanchis Lozano

### *The Quest for Knowledge. Is the LHC safe?*

Experimental Particle Physics using accelerators has currently reached an exciting moment, with the upcoming launch of the Large Hadron Collider (LHC) at the European Laboratory for Particle Physics (CERN). Nonetheless, public opinion has welcomed the news of this research tool with interest but at the same time with reservations.

La física experimental de partícules amb acceleradors es troba actualment en un moment extremadament interessant davant de la imminent posada en marxa del Gran Accelerador d'Hadrons (LHC) del Laboratori Europeu per a la Física de Partícules (CERN) prop de Ginebra (Suïssa).

El 10 de setembre del 2008, un equip de físics i enginyers liderats pel gal·lès Lyn Evans va injectar, per primera vegada, feixos de protons que van circular amb èxit al llarg de tot l'anell de l'LHC. Aquest esdeveniment va tenir enorme impacte en els mitjans de comunicació i sens dubte va contribuir a difondre entre el gran públic la física d'altres energies i va estimular interès per aquesta disciplina.

El 19 de setembre del 2008, durant les primeres proves d'injecció de corrents elèctrics elevats en els dipòls del sector 3-4 de l'LHC (precisament l'últim sector que quedava per comprovar), una connexió defectuosa entre els cables superconductors pertanyents a dos imants adjacents va propiciar la formació d'un arc elèctric que va perforar la cavitat que conté l'heli. La consegüent fuga d'aquest (súper)fluid a una temperatura de  $-271$  graus Celsius va produir la degradació del buit en les canonades per les quals circulen els dos feixos de protons, com també el desplaçament mecànic i danys en un nombre considerable d'imants. El CERN va realitzar una anàlisi molt detallada de l'incident i la va fer pública mitjançant un comunicat de premsa.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> El comunicat es pot consultar en: <http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2008/PR14.08E.html>

Com a resultat del gran impacte mediàtic d'aquests fets, l'opinió pública es pregunta: per què s'està trigant tant a reparar l'LHC? En primer lloc, per reemplaçar i reparar els 53 imants afectats del sector 3-4 és necessari escalfar aquest sector des dels  $-271$  °C fins a temperatura ambient i aquesta operació requereix almenys dos

mesos. A continuació cal pujar els imants des de 100 metres sota terra fins a la superfície, reparar-los si és possible o substituir-los, baixar-los novament, connectar-los, i finalment tornar a refredar-los. Tenint en compte que hi ha unes 10.000 connexions del mateix tipus de les que van fallar al llarg de tot l'anell de l'LHC, s'han desenvolupat sofisticades tècniques d'inspecció i diagnòstic de connexions. També s'estan instal·lant vàlvules addicionals que alliberen l'excés de pressió i reforcen l'ancoratge dels imants en el terra del túnel per tal de minimitzar els danys col·laterals en l'accele-

rador si malgrat tot un incident semblant es repetira.

### ■ ELS FORATS NEGRES

El lamentable incident amb l'heli no té res a veure amb la suposada perillositat de les col·lisions de l'LHC relacionada amb la possibilitat de la creació de forats negres que pogueren engolir el nostre planeta, possibilitat que ha provocat una reacció de por i en contra de l'LHC.

Per tal de comprendre adequadament què és un forat negre convé introduir el concepte de velocitat de fuga que caracteritza qualsevol astre de l'univers: un objecte llançat

«LA SUPOSADA  
PERILLOSITAT DE LES  
COL·LISIONS DE L'LHC  
RELACIONADA AMB  
LA POSSIBILITAT  
DE LA CREACIÓ DE FORATS  
NEGRES QUE POGUEREN  
ENGOLIR EL NOSTRE  
PLANETA HA PROVOCAT  
UNA REACCIÓ DE POR  
I EN CONTRA DE L'LHC»

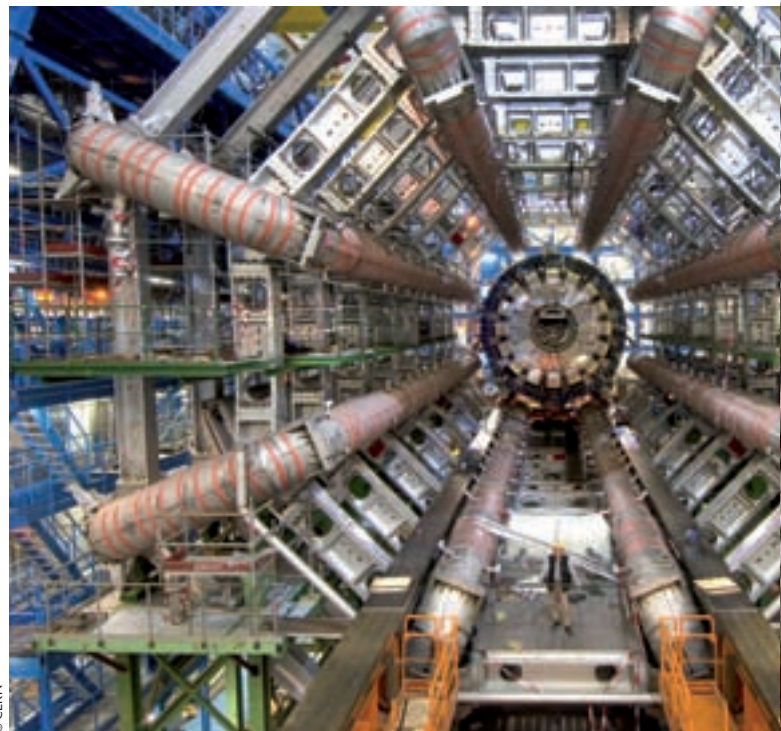


verticalment des de la superfície d'un astre cap a l'espai exterior que superara l'esmentada celeritat no retornaria mai al punt de partida. Naturalment, la velocitat de fuga depèn crucialment de la massa de l'astre en qüestió. En el cas de la Terra és d'uns 11 quilòmetres per segon. És interessant notar que –afortunadament per a la vida– aquesta velocitat de fuga és prou per conservar la nostra atmosfera, encara que hi haja molècules gasoses que, de vegades, poden assolir velocitats extraordinàriament elevades, tant que arriben a vèncer la gravetat i acaben perdent-se en l'espai exterior. La Lluna, al contrari, no ha estat capaç de retenir cap atmosfera apreciable al llarg dels anys, ja que la seua massa és considerablement inferior a la de la Terra.

Imaginem que poguérem comprimir prou matèria en un espai minúscul, de manera que la seua gravetat fóra tan intensa com perquè la velocitat de fuga igualara la velocitat de la llum. Llavors es delimitaria una regió de l'espai mitjançant el denominat «horitzó de successos», de la qual res no podria escapar, ni tan sols la llum; d'ací el nom de forat negre proposat per John Wheeler en la dècada de 1960. Certament, les densitats necessàries per a aconseguir-ho impressionen: perquè la Terra es convertira en un forat negre caldria comprimir tota la seua massa fins que ocupara el volum d'una pilota de tennis!

En la formulació moderna, el concepte de forat negre sorgeix a partir de la teoria de la gravitació d'Einstein com a resultat d'una deformació extrema del «teixit» espaciotemporal que en plegar-se sobre si mateix crearia una trampa per a qualsevol objecte. Curiosament Einstein i altres grans científics van rebutjar inicialment la possible existència real d'aquesta singularitat, considerant-la exclusivament com una solució matemàtica sense interès més enllà de l'acadèmic. No obstant això, avui dia la comunitat científica admet no sols la possibilitat d'aquests forats negres, sinó que reivindica obertament la possibilitat d'observar-los (encara que siga indirectament) en l'univers: en el centre de la nostra galàxia, la Via Làctia, se suposa que hi ha un forat negre supermassiu.

Cal destacar que la teoria de la gravetat d'Einstein forma part del cos de doctrina coneguda com a física clàssica, és a dir, no té en consideració una de les facetes de la física més sorprenent i menys intuïtiva per a la ment humana: els efectes quàntics. A hores d'ara sabem que la naturalesa és essencialment quàntica, encara que els fenòmens quàntics es manifesten en tota la seua es-



© CERN

**«NOMÉS SOTA CERTES  
HIPÒTESIS, LES COL·LISIONS  
DE PROTONS A L'LHC  
PODRIEN DONAR LLOC A  
L'APARICIÓ DE MINIFORATS  
NEGRES. ES TRACTARIA D'UN  
MINÚSCUL FORAT AMB UNA  
MASSA TAN ESCASSA QUE  
ES DESINTEGRARIA QUASI  
INSTANTÀNIAMENT.»**

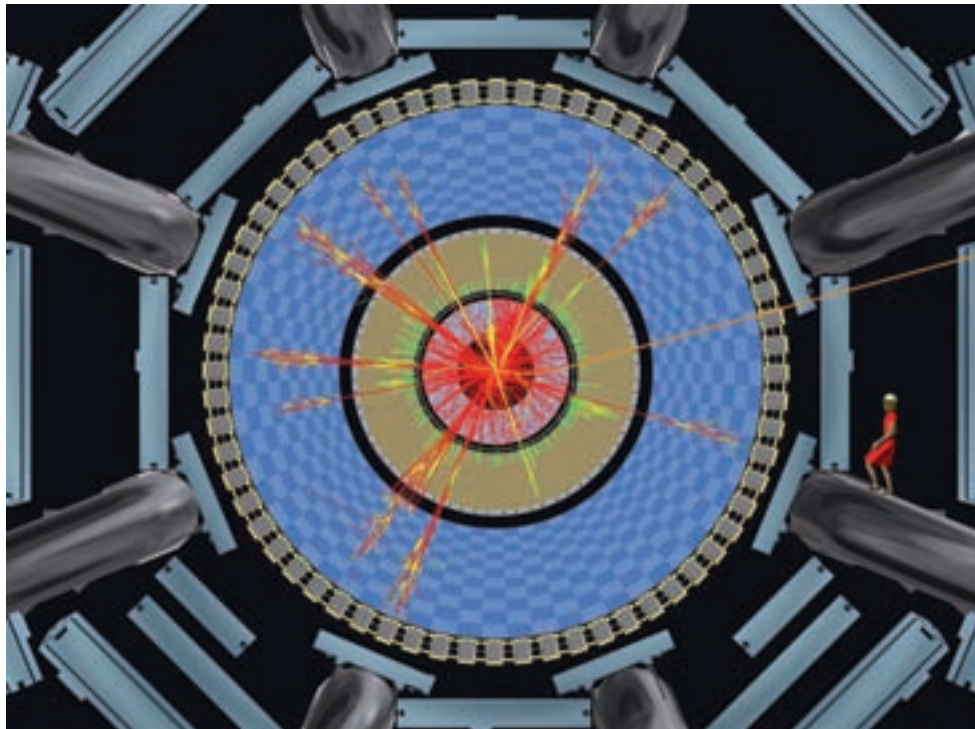
plendor en el món subatòmic. Fins i tot l'existència dels àtoms és deguda a les lleis de la física quàntica perquè altrament no podrien ser estables segons l'electromagnetisme clàssic.

Hi ha fenòmens quàntics, com ara les fluctuacions del buit, en aparent contradicció amb les lleis de la física clàssica: a partir del «no-res» es crea un parell partícula/antipartícula (matèria/antimatèria) per a aniquilar-se després d'un brevíssim espai de temps, i tot seguit es restaura, diguem-ho així, l'ortodòxia clàssica.

Aquests processos són denominats

virtuals, i no reals, perquè les partícules no són observables directament. Considerem, però, les conseqüències pràctiques: sense efectes quàntics cap dispositiu electrònic, com la ràdio o la televisió, un ordinador o l'iPod, podrien funcionar. Possiblement el nostre cervell tampoc.

El físic anglès Stephen Hawking es va adonar en els anys setanta que si aquestes fluctuacions quàntiques del buit tingueren lloc prop de l'horitzó d'un forat negre, una de les dues, partícula o antipartícula, podria ser absorbida pel forat negre, mentre que l'altra s'hauria de convertir en partícula real, perquè l'horitzó de successos separaria la parella per sempre. Per a un observador distant, el fenomen s'assemblaria a l'emissió d'una partícula real per part del forat negre, amb la consegüent disminució d'energia d'aquest.



Hi ha certes teories, encara per demostrar experimentalment, que plantegen la possibilitat de produir miniforats negres. En la imatge de dalt podem veure la simulació d'una col·lisió de feixos de protons en la qual s'ha produït un forat negre microscòpic. Aquest forat negre es desintegraria ràpidament en moltes partícules, que serien detectades i reconstruïdes per l'experiment ATLAS, un dels detectors de partícules del LHC que es pot veure en la imatge de l'esquerra.

La reiteració continuada d'aquest procés al llarg del temps (conegut com a radiació de Hawking) ha de conduir a l'«evaporació» (i a la llarga a l'eventual desaparició) del forat negre. A partir dels càlculs teòrics es dedueix que com major siga la massa del forat negre, més lent serà el procés d'evaporació, ja que la temperatura del forat negre és inversament proporcional a la seua massa. Un forat negre molt massiu necessitarà un temps fins i tot major que l'edat de l'univers per a evaporar-se totalment (i per tant no ho farà), mentre que a un de més petit li caldrà un temps menor. Aquest fet resulta fonamental a l'hora de valorar qualsevol perill associat a les singularitats espaciotemporals que es puguin formar en l'LHC, objecte d'aquest article.

Així, doncs, tornant a l'LHC, els protons col·lideixen proveïts d'una energia considerable en el món subatòmic. No obstant això, la quantitat equivalent de massa i, per tant, la densitat que s'aconsegueix en les col·lisions és moltíssim menor que la requerida per a formar un forat negre d'acord amb la teoria de la gravitació vigent. Per tant no hi hauria cap possibilitat que es forme un miniforats negre en el dit col·lisionador.

No obstant això, hi ha teories més enllà del model estàndard que predeuen que la gravitació augmenta enormement d'intensitat a distàncies molt curtes (per sota de la mil·lèsima de mil·límetre). Això prou que es podria deure a l'existència de dimensions espacials addicionals a les tres a què estem tan habituats. No podem

ni tan sols concebre-les perquè els nostres sentits, i fins i tot els instruments més precisos, no han estat capaços de percebre-les fins ara. Ara bé, a petites distàncies la presència d'aquestes dimensions significaria que el nombre de línies de força gravitatòria és realment major que allò que es pot esperar per la coneguda llei de la inversa del quadrat de la distància deguda a Newton, implicant una gravetat (no convencional) molt més intensa. Només sota aquesta hipòtesi, les col·lisions de protons en l'LHC podrien donar lloc a l'aparició de miniforats negres. No es tractaria, òbviament, d'un forat negre supermassiu que *devora* tot el que troba al seu voltant, sinó d'un de minúscul amb una massa tan escassa que es desintegraria gairebé instantàniament.

#### ■ LA POR A L'LHC

Els científics hem de ser sempre respectuosos amb les desconfiances o pors que puga produir la posada en marxa d'algun nou dispositiu o tècnica innovadora. Sens dubte és un dret democràtic expressar inquietuds, conèixer els riscos i exigir seguretat. En particular els «perills» associats a la formació de miniforats negres en l'LHC han estat considerats seriosament pel CERN, tot i saber que la gravetat convencional no permetria que se'n formaren en l'LHC; més aviat es tracta d'una especulació basada en una teoria (sobre dimensions extres) de la qual no hi ha cap evidència ara com ara. Tot i això,



el CERN ha abordat totes aquestes qüestions en exhaustius informes duts a terme per físics independents<sup>2</sup>.

És cert, però, que uns pocs científics sostenen que aquests miniforats negres podrien no desintegrar-se tan ràpidament com es pensa i convertir-se en una amenaça per a tot el planeta. És legítim pensar que els que ho afirmen tinguen raó i que la gran majoria de la comunitat científica estiga equivocada?

Posem un exemple pres d'una altra branca de la ciència. Hi ha persones sens dubte intel·ligents que posen en dubte la teoria darwinista de l'evolució de les espècies i es pronuncien a favor del creacionisme o disseny intel·ligent. I no obstant això, cap biòleg especialista que no haja perdut el seny qüestiona que l'home derive d'éssers més primitius al llarg de milions d'anys, tot i que encara hi haja «anelles perdudes» en la cadena evolutiva.

El fet que uns pocs científics hagen plantejat escenaris hipotètics i poc plausibles de formació de mini-

forats negres perillosos no pot portar a la conclusió que una teoria ben fonamentada siga falsa. De fet, tots aquests plantejaments han estat rebutats pels científics del CERN. El paradigma científic actual (gravitació i física quàntica) assegura que aquests miniforats negres, si arribaren a formar-se, no serien perillosos.

D'altra banda, i com un motiu addicional de tranquil·litat per a aquells que puguen desconfiar de les prediccions teòriques, hem de ressaltar que la mateixa naturalesa accelera partícules, sovint amb energies molt superiors a l'LHC. Es tracta dels raigs còsmics que procedeixen de molt diverses fonts: el nostre Sol, la nostra galàxia, origen extragalàctic, púlsars, etc. En arribar a les capes altes de l'atmosfera del nostre planeta, els raigs còsmics produeixen els anomenats «ruixats de partícules» que arriben amb facilitat fins a la superfície terrestre. Si la teoria de les dimensions addicionals fóra certa, ja s'haurien produït molts miniforats negres durant els milions i milions d'anys de l'existència de la Terra. Un argument semblant s'aplica a qualsevol objecte estel·lar observat mitjançant els telescopis, com el

<sup>2</sup> Vegeu per exemple LHC Safety Assessment Group (LSAG) en: <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/Safety-en.html>



© CERN

## QUÈ ÉS L'LHC?

El Gran Col·lisionador d'Hadrons (LHC) del CERN és un accelerador de partícules de tipus col·lisionador, on dos feixos de protons són accelerats fins a velocitats pròximes a la de la llum mitjançant potents imants al llarg de trajectòries circulars en sentits oposats. L'LHC utilitza un túnel de 27 km de circumferència. En les col·lisions, la suma de l'energia dels dos feixos és l'energia disponible per a crear noves partícules (denominada en física energia del centre de masses) i aconseguen ni més ni menys que 14 teraelectronvolts (TeV). Un TeV equival a  $10^{12}$  (un milió de milions) electronvolts, i un electronvolt és l'energia que adquireix un electró en presència d'una diferència de tensió d'un volt. En termes absoluts, un TeV és si fa no fa l'energia associada al moviment d'un mosquit, però els imants del LHC concentren aquesta energia en un espai un milió de milions de vegades més petit que la grandària de l'insecte.

La teoria actual que descriu les propietats de les partícules elementals i les seues interaccions es coneix com el Model Estàndard. No obstant això, aquesta teoria no explica l'origen de la massa ni descriu les interaccions fonamentals entre les partícules elementals d'una manera unificada, ni els fenòmens constatats recentment per observacions en astrofísica i cosmologia: l'absència d'antimatèria en l'univers i el fet que la matèria visible només constitueix el 4% de l'univers,



L'LHC és fins avui l'instrument més complex destinat a la investigació bàsica. Els diferents experiments que s'hi duran a terme permetran als científics conèixer més sobre el funcionament i l'origen de l'univers. En la imatge, un tram del túnel de l'LHC.

mentre que el 96% restant és matèria fosca (23%) i energia fosca (73%). En l'LHC, els científics esperen descobrir les partícules i els processos que constitueixen el costat fosc de l'univers.

S. C. U. / A. F. G. / J. S. C. / M. A. S. L.





Detall de les connexions entre dos imants de l'LHC. Una fallada en una connexió com aquesta va provocar la fuga d'heli del 19 de setembre de 2008 que ha obligat a realitzar reparacions durant més d'un any abans de tornar a posar-lo en marxa.

Sol, la Lluna, els planetes del sistema solar, els nans blancs, etc. i no s'ha observat mai l'aparició de l'Armageddon en forma de forat negre, perquè, en cas contrari, la vida sobre la Terra hauria desaparegut fa temps i òbviament vostè, amic lector, no estaria llegint aquestes ratlles.

#### ■ ELS AVENÇOS DELS ACCELERADORS DE PARTÍCULES

Una vegada discutides les possibles desconfiances cap a l'LHC, examinem tot seguit les conseqüències positives de l'accelerador per al progrés de la ciència i la tecnologia. Des dels seus orígens, que es remunten als anys trenta, els acceleradors de partícules han estat concebuts, dissenyats i utilitzats per a la investigació en física nuclear i física d'altres energies. Actualment es fan servir fins i tot en camps tan diversos com la ciència de materials, la biologia, la medicina o l'arqueologia. En el món hi ha més de 8.000 petits acceleradors de baixes energies (fins a uns pocs MeV per unitat de massa per a ions lleugers) dedicats a implantació de ions, espectroscòpia de masses, emissió de raigs X induïts per protons (PIXE), etc. Hi ha uns 250 ciclotrons dedicats a la producció d'isòtops, tant per a tractaments tumorals com per a usar-los en la tomografia per emis-

**«SI LA TEORIA DE LES  
DIMENSIONS ADDICIONALS  
FÓRA CERTA, JA S'HAURIEN  
PRODUÏT MOLTS MINIFORATS  
NEGRES DURANT ELS  
MILIONS I MILIONS D'ANYS  
D'EXISTÈNCIA  
DE LA TERRA»**

sió de positrons (PET). Majoritàriament, acceleren protons o deuteri fins a 30 MeV d'energia. Hi ha també uns 10.000 acceleradors lineals d'electrons (LINAC) que produeixen fotons d'alta energia per a radioteràpia. Existeixen prop de 30 acceleradors, entre instal·lacions d'investigació i hospitalàries, que funcionen per damunt de 60 MeV per a radioteràpia amb ions lleugers.

En el cas dels protons, les energies de tractament arriben fins als 230 MeV i en el cas dels ions de carboni, fins als 4800 MeV. Aquesta mena de tractaments permet fer una adaptació precisa al tumor de la radiació ja que maximitza el control d'aquest i redueix alhora el risc d'efectes secundaris. Tots aquests petits acceleradors han utilitzat i continuen utilitzant l'R+D sorgida de la construcció de grans acceleradors i són un exemple clar de les aplicacions de la física experimental.

No sols els avenços de la tecnologia associada al funcionament dels acceleradors de partícules tenen repercussions positives en el progrés de la ciència. Així, l'exploració de les dades de l'LHC imposa un desafiament continu per a la computació

car produeix prop de 15 petabytes de dades per any, equivalent a la informació emmagatzemada en una torre de CD de 20 km.

Davant d'aquest volum ingent de dades i de la necessitat de càlcul intensiu, s'ha optat per utilitzar un model de computació que incorpora els avenços recents en les tecnologies GRID, que permeten compartir recursos de càlcul i emmagatzemament de dades en una malla d'instituts d'investigació arreu del planeta. El GRID,

doncs, està convertint-se en un pilar fonamental en la consecució d'objectius importantíssims en altres àrees del coneixement i d'una intensa aplicació per a la societat, tant en meteorologia, com en medicina, etc. Entre els èxits de més repercussió social es troba la utilització d'aquestes tecnologies per agilitar la selecció de fàrmacs que combaten la malària, una malaltia que causa la mort a un milió de persones l'any. Es tracta, per tant, d'una aportació de gran calat procedent del context de la ciència bàsica amb repercussions semblants a les de l'adveniment de la web a finals dels vuitanta. Es pot dir en aquest sentit que l'LHC és l'instrument més ambiciós per a investigació bàsica i més complex des del punt de vista tecnològic mai construït per l'home. ☺

Susana Cabrera Urbán, Ángeles Faus Golfe, José Salt Cairols i Miguel Ángel Sanchis Lozano. Institut de Física Corpuscular (IFIC). Centre mixt CSIC-Universitat de València.

