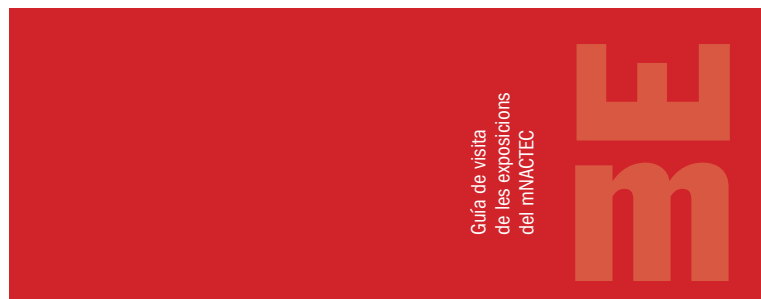
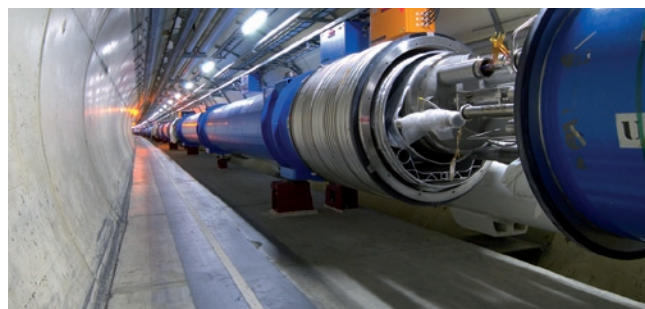
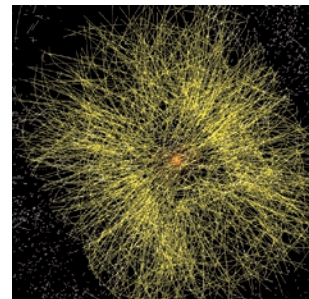
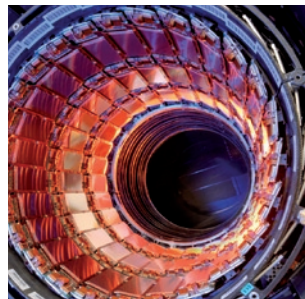


MUSEU DE LA  
CIÈNCIA I DE LA  
TÈCNICA  
DE CATALUNYA



Guia de visita  
de les exposicions  
del mNACTEC

EM



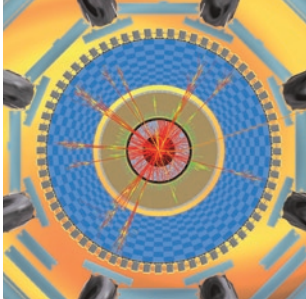
# Explorant els inicis de l'Univers

El CERN, l'LHC i la Física de Partícules



## Explorant els inicis de l'Univers

El CERN, l'LHC i la Física de Partícules



### RECURSOS EN LÍNIA

- "LHC, desvetllant els secrets de la matèria", xerrada en powerpoint on s'expliquen els conceptes bàsics de la física de partícules, tot desenvolupant-los fins arribar a l'últim projecte que s'està realitzant al CERN, l'LHC. El fitxer també inclou notes que amplien el contingut de les transparències, destinades a orientar el professor interessat en fer la xerrada a classe.

[http://www.lhc.cat/material/intro\\_lhcb\\_web.ppt](http://www.lhc.cat/material/intro_lhcb_web.ppt)

- Hands on Cern, portal educatiu adreçat a professors i estudiants de ciències de batxillerat, que permet adinsar-se una mica més en la recerca actual en física de partícules

[http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/hands-on-cern/hoc\\_v21catalan/index.html](http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/hands-on-cern/hoc_v21catalan/index.html)

### Introducció a l'exposició

No gaire lluny de Terrassa hi ha científics, milers de científics, que senten que alguna cosa grossa està a punt de passar. De fet, a banda dels científics, hi ha enginyers i tècnics, també a milers i de llocs ben diferents, que estan igual o més excitats. I encara més, en cada ciutat d'Europa, dels Estats Units i de molts altres països hi ha persones que s'estan contaminant d'aquest sentiment. I que en volen saber més. Segurament tu, que llegeixis això i que estàs a Terrassa o estàs sospesant anar-hi n'ets una, o estàs a punt de convertir-te en una.

L'exposició "Explorant els inicis de l'Univers. El CERN, l'LHC i la Física de Partícules." ens apropa a un gran projecte, que ha il·lusionat a milers de persones, que ha necessitat de la participació de centenars d'universitats i centres de recerca, d'una vuitantena de països. Científics i institucions catalanes hi han tingut i continuent jugant un paper molt important.

Es tracta de la posta en marxa del nou accelerador de partícules del CERN (<http://www.cern.ch>), l'LHC (<http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHC-en.html>). Una màquina gran i potent que ens permetrà conèixer millor com funciona el món en el que vivim, i endinsar-nos en un dels grans misteris: l'origen de l'Univers, com va començar tot.

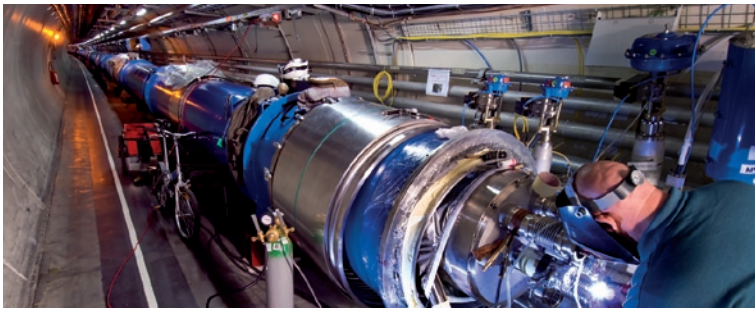
Amb aquesta exposició el mNACTEC aglutina moltes de les seves raons de ser. Mostrar el potent i fructífer lligam entre la ciència i la tecnologia; veure com aquesta impacta en la nostra societat; i mostrar com els catalans participen d'aquesta (r)evolució que ha suposat la tecnologia des dels seus inicis.

Com no podia ser d'altra manera, el mNACTEC en la seva voluntat d'articular una xarxa i esdevenir punt de trobada entre la ciència i la societat ha preparat aquesta exposició amb la participació dels científics catalans que treballen en aquest projecte, i amb la col·laboració del mateix CERN. I continua col·laborant amb ells, en el programa "El mNACTEC com aparador dels experiments del CERN", per tal que allò que passi al CERN, allò que es descobreixi amb l'LHC i els seus experiments, ens arribi a tots, de manera ràpida i sobretot entenedora.

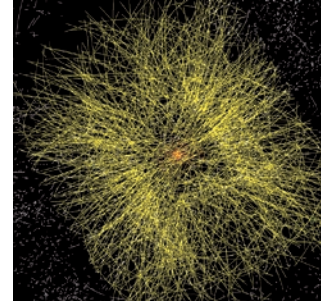
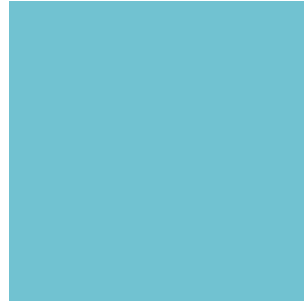
### Passejant per l'exposició

L'espai expositiu convidar a passejar-se, i a buscar el circuit que més et convingui, a tu com a visitant. Potser ja ens saps de física de partícules, però no has sentit a parlar mai del CERN. Potser saps del CERN, i potser coneixes algú que hi treballa o hi ha treballat, però mai has entès què hi passa. Potser no has sentit a parlar ni d'una cosa ni de l'altra, però sí que t'interessa el món més petit. O estàs fascinat per la cosmologia, i voldries saber més d'on venim. A tots aquests visitants, en els que segurament en part o totalment t'hi has vist retratat, s'adreça aquesta exposició.





## El CERN, un laboratori de física de partícules



Havies sentit a parlar del CERN abans de venir al Museu? Segurament sí. De fet, recentment fins i tot podríem dir que s'ha posat de moda des que es va estrenar la pel·lícula Àngels i Dimonis. Però la imatge que la pel·lícula dona del CERN no és massa acurada. La veritat és que els protagonistes cinematogràfics segurament tenen més glamour que la majoria dels científics que es passegen per les instal·lacions del CERN. Però això no el fa menys interessant, ni tampoc menys espectacular.

T'anirà bé saber que el CERN és, sobretot, un centre de recerca internacional de física de partícules, també coneguda com a física d'altres energies. La física de partícules estudia quins són els constituents més elementals de la matèria i de la radiació, i com aquests interactuen entre ells. El fet que també se l'anomeni física d'altres energies rau en què moltes d'aquestes partícules elementals no les trobem ara a la natura, però sí que poden ser creades mitjançant col·lisions de partícules a molt alta energia. Això és el que es produeix en els grans acceleradors de partícules, com els del CERN, on s'acceleren partícules comunes a la natura com electrons i protons i es fan col·lidir. De la col·lisió d'aquestes partícules a molt alta energia, com també passava en els primers instants de l'inici de l'Univers, just després del Big Bang, se'n creen de noves i tot estudiant-les volem entendre les lleis que governen la nostra natura.

### Un laboratori de recerca nascut a Europa, però ara ja mundial

El CERN és un laboratori de recerca europeu, creat ara ja fa més de 50 anys per a promoure la física a Europa, que havia perdut la seva supremacia després de la 2a guerra mundial –amb molts científics que havien mort o havien emigrat als Estats Units.

La seva seu està a Ginebra, molt a prop de l'aeroport. Però l'accelerador principal, l'LHC, està a cavall entre França i Ginebra, a uns 100 metres sota terra, en un túnel subterrani de 27 km.

Actualment hi treballen més de 10.000 persones –entre físics, enginyers i altres professionals –ja sigui en les mateixes instal·lacions o en els instituts de recerca dels països que formen part de la Comunitat CERN. En conjunt representen a més de 580 universitats o centres de recerca de 85 nacionalitats.

Aquesta comunitat està dirigida pels 20 Països Membres, tots ells europeus, però també per molts altres que hi participen en diferents graus.

Els Països Membres són: Àustria, Bèlgica, Bulgària, la República Txeca, Dinamarca, Finlàndia, França, Alemanya, Grècia, Hongria, Itàlia, els Països Baixos, Noruega, Polònia, Portugal, la República Eslovaca, Espanya, Suècia, Suïssa i el Regne Unit.

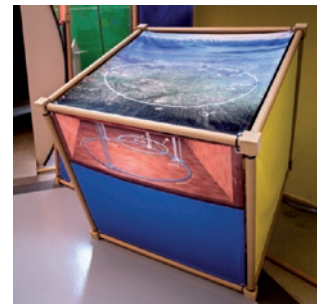
Aquests són els que fan l'aportació principal al finançament del CERN, estan representats en el Consell, i són els responsables de prendre les decisions importants sobre la Organització i les seves activitats.

El CERN són persones...  
+ 10.000 científics i enginyers  
de 85 països  
de 580 universitats i centres de recerca

El CERN són dades...  
600 milions de col·lisions de partícules cada segon  
+ 15 milions Gigabytes de dades a l'any o 1,7 milions de DVDs  
140 centres informàtics arreu del món

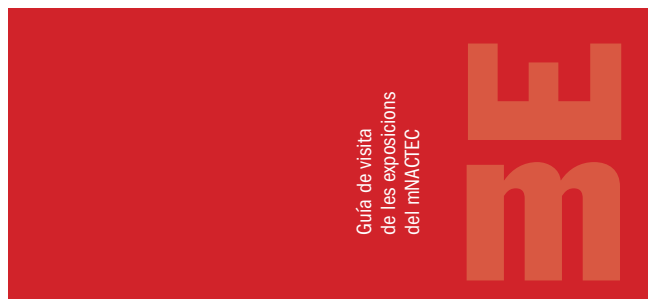
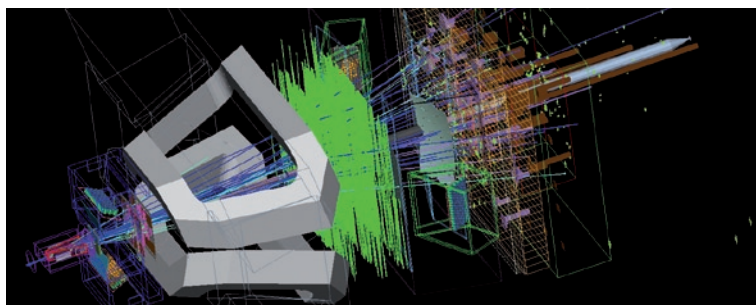
El CERN són grans instal·lacions...  
27 km de túnel subterrani  
9.300 imants i 10.080 tones de nitrogen líquid  
35.000 tones de detectors amb 150 milions de sensors

El CERN són condicions extremes...  
L'LHC accelera els protons fins a un 99,9999991% de la velocitat de la llum  
-271,3°C és la temperatura de l'accelerador LHC, + fred que a l'espai exterior  
10-13 atmosferes és la pressió a l'interior de l'LHC  
Els protons xoquen a la mateixa energia que ho feien partícules a l'Univers primitiu, tot just una mil·lionèsima de segon després del Big Bang: 14 TeV



## Explorant els inicis de l'Univers

El CERN, l'LHC i la Física de Partícules



### RECURSOS EN LÍNIA

- El CERN ha creat una pàgina (en anglès) on explica la visió del CERN a la pel·lícula Àngels i Dimonis, i també clarifica la ciència que hi ha darrera aquesta història.  
<http://public.web.cern.ch/Public/en/Spotlight/SpotlightA-andD-en.html>  
<http://angelsanddemons.cern.ch/>
  - El fulletó de presentació del CERN  
<http://cdsweb.cern.ch/record/1107572/files/CERN-Brochure-2008-002-Cat.pdf>
  - El documental "Catedrales de la Ciencia", en castellà, preparat per la celebració del cinquantè aniversari del CERN el 2004.  
<http://cdsweb.cern.ch/record/808033>
  - El CERN en 3 minuts  
<http://cdsweb.cern.ch/record/986165>
  - L'ILH en 10 minuts  
<http://cdsweb.cern.ch/record/1129494>
- Se'n poden trobar més a:  
<http://multimedia-gallery.web.cern.ch/multimedia-gallery/Videos.aspx>

Hi ha altres països o institucions que són Observadors, que participen en les reunions del Consell, malgrat que no participen en la presa de decisions. Aquests són: la Comissió Europea, la Índia, Israel, Japó, la Federació Russa, Turquia, la UNESCO i els Estats Units.

Finalment hi ha els Països no-membres que participen en un o més programes del CERN. Actualment són: Algèria, Argentina, Armènia, Austràlia, Azerbaidjan, Bielorússia, Brasil, Canadà, Xile, Xina, Colòmbia, Croàcia, Cuba, Xipre, Estònia, Geòrgia, Islàndia, Iran, Irlanda, Lituània, Mèxic, Montenegro, Marroc, Nova Zelanda, Pakistan, Perú, Romania, Sèrbia, Eslovènia, Sud-àfrica, Corea del Sud, Taiwan, Tailàndia, Ucraïna i Vietnam.

Actualment la Comunitat CERN engloba a la meitat de la comunitat internacional de física de partícules. I amb la fi dels grans experiments de física de partícules als Estats Units segurament el pes de la Comunitat CERN i de la recerca que s'hi fa continuarà creixent.

L'accelerador Tevatron de Fermilab a Chicago té previst tancar el 2010; PEP-II de SLAC a la Universitat de Stanford ho va fer durant el 2008; i l'accelerador SSC –el que havia de ser el gran competidor de l'LHC– va ser cancel·lat el 1993 després que ja havia començat la seva construcció a Texas.

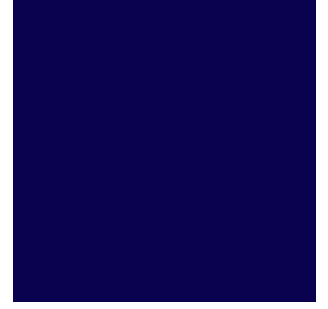
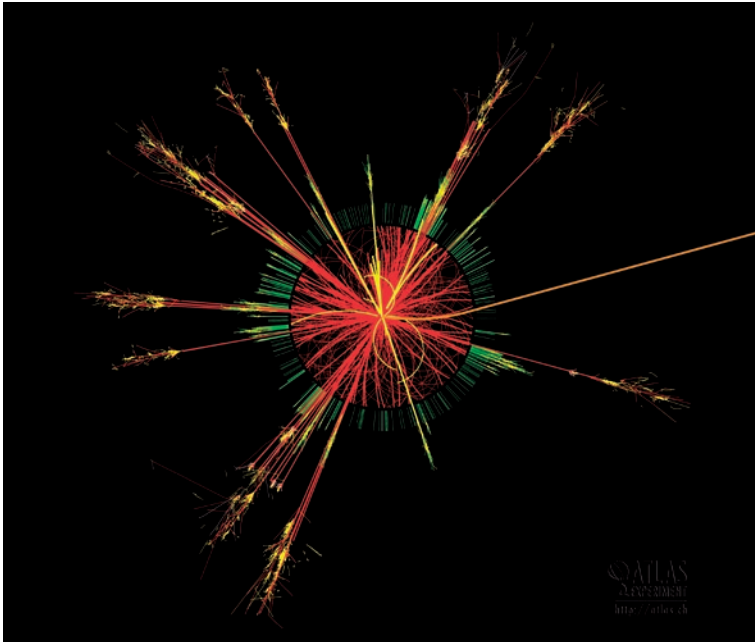
### Espanya, el cinquè país contribuent al CERN

I segurament et preguntaràs quin paper hi juga Espanya, i més concretament Catalunya. Doncs mira, durant el 2008, l'aportació espanyola al CERN va ser de 55 milions d'euros. Aquesta aportació representa un 8,3% de les contribucions dels 20 Estats membre, que en total aporten 670 milions d'euros, i que es calculen en funció del PIB nacional. A aquests, hi hauríem d'afegir els 20 milions de finançament als instituts de recerca i universitats espanyoles que participen en els diferents experiments del nou accelerador LHC.

### Els instituts i universitats espanyols estan distribuïts per tota la geografia.

A Catalunya, l'Institut de Física d'Altes Energies (IFAE) i el Port d'Informació Científica (PIC) al campus de la Universitat Autònoma de Barcelona participen en l'experiment ATLAS i en la infraestructura GRID d'anàlisi de dades dels quatre experiments, respectivament; l'Institut de Ciències del Cosmos de la Universitat de Barcelona (ICCUB) i la Universitat Ramon Llull que participen en l'experiment LHCb; així com també el Centre Nacional de Microelectrònica i l'Institut de Microelectrònica de Barcelona que han participat en la construcció d'uns mòduls d'ATLAS.

A la resta de l'Estat, l'Institut de Física Corpuscular (IFIC), un centre mixt del CSIC i la Universitat de València i la Universitat Autònoma de Madrid també participen en l'experiment ATLAS; el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológica (CIEMAT), l'Institut de Física de Cantàbria (IFCA) i la Universitat de Oviedo col·laboren en l'experiment

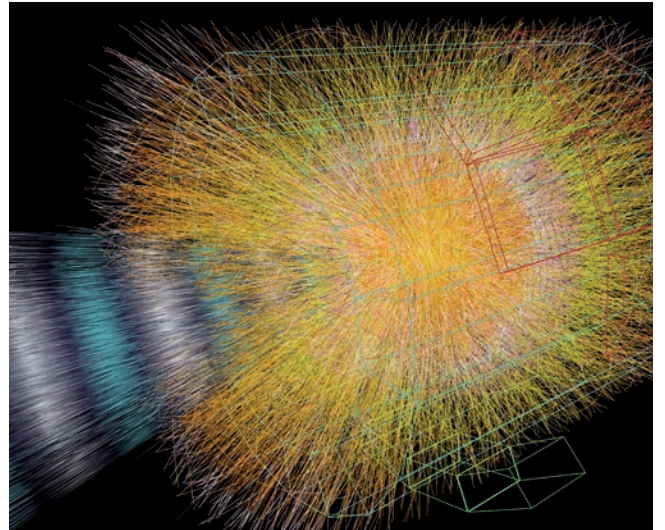


CMS; la Universitat de Santiago de Compostela i l'Institut Galleg de Física d'Altes Energies (IGFAE) participen a l'experiment ALICE, juntament amb el CIEMAT que ho fa en temes de computació.

El 2007, 98 científics espanyols treballaven directament al CERN i uns altres 256 ho feien a través de les institucions que acabem de mencionar, això suposava un 3,8% i un 4,7% respectivament del total. I, a més a més, el Professor Enrique Fernández de l'IFAE és el director del Comitè de Política Científica del CERN.

Llegint això, no et venen ganes d'involucrar-t'hi en aquest projecte? Potser –si encara hi ets a temps- podries estudiar física, o alguna enginyeria. Com ho veus?

I sinó ets tan jove, hauries de saber que els que participen i es beneficien de l'activitat del CERN no són només els científics, sinó també les empreses. Des de 1995 i fins a mitjans de l'any passat, el retorn industrial en contractes de subministrament i per serveis ha estat de 117 milions d'euros (6,5% del total), sense comptar les contractacions fetes pels instituts de recerca i universitats espanyols.



## Que és una partícula?



La teva passejada per l'exposició bé podria començar per aquest àmbit. I és que sentiràs a parlar de partícules, d'electrons, de quarks, fins i tot de fotons, o del bosó de Higgs. Partícules i més partícules. Quarks que circulen per l'interior de l'accelerador. Leptons i hadrons que resulten de les col·lisions. Com et deia, partícules i més partícules. Però, saps què és una partícula?

La resposta no és complicada. Les partícules són els constituents de la matèria i de la radiació. I s'anomenen elementals quan no poden dividir-se en partícules més petites.

Fins aquí tot molt fàcil. Has de saber, però, que es coneixen una vintena de partícules elementals. Tres d'aquestes, els electrons i dos quarks (l'up i el down), són les que formen la matèria de la que està fet tot el que ens envolta. A banda d'aquestos, al nostre voltant, creuant els nostres cossos i la terra sencera, hi ha també neutrins. Milions de neutrins.

Els neutrins són partícules tan difícils de detectar que hi ha experiments gegants i sorprenents que es dediquen a caçar-los.





## Explorant els inicis de l'Univers

El CERN, l'LHC i la Física de Partícules



**Matter particles**  
All ordinary particles belong to this group

**Force particles**  
These particles transmit the four fundamental forces of nature although gravitons have so far not been discovered

LEPTONS		QUARKS	
<b>FIRST FAMILY</b>	<b>Electron</b> Responsible for electricity and chemical reactions; it has a charge of -1	<b>Electron neutrino</b> Particle with no electric charge, and possibly no mass; billions fly through your body every second	<b>Up</b> Has an electric charge of plus two-thirds; protons contain two, neutrons contain one
<b>SECOND FAMILY</b>	<b>Muon</b> A heavier relative of the electron; it lives for two-millionths of a second	<b>Muon neutrino</b> Created along with muons when some particles decay	<b>Down</b> Has an electric charge of minus one-third; protons contain one, neutrons contain two
<b>THIRD FAMILY</b>	<b>Tau</b> Heavier still, it is extremely unstable. It was discovered in 1975	<b>Tau neutrino</b> Not yet discovered but believed to exist	<b>Charm</b> A heavier relative of the up; found in 1974
			<b>Strange</b> A heavier relative of the down; found in 1964
			<b>Top</b> Heavier still
			<b>Bottom</b> Heavier still; measuring bottom quarks is an important test of electroweak theory

**Gluons**  
Carriers of the strong force between quarks  
Felt by: quarks  
The explosive release of nuclear energy is the result of the **strong force**

**Photons**  
Particles that make up light; they carry the electromagnetic force  
Felt by: quarks and charged leptons  
Electricity, magnetism and chemistry are all the results of **electro-magnetic force**

**Intermediate vector bosons**  
Carriers of the weak force  
Felt by: quarks and leptons  
Some forms of radio-activity are the result of the **weak force**

**Gravitons**  
Carriers of gravity  
Felt by: all particles with mass  
All the weight we experience is the result of the **gravitational force**

Els quarks són, de fet, els constituents d'una família de partícules compostes que anomenem hadrons. Els protons i els neutrons són hadrons. Els protons estan formats de 2 quarks up i 1 down. Els neutrons estan formats de 1 quark up i 2 quarks down. L'àtom de l'element químic més senzill, l'hidrogen, està format per un protó i un electró.

El dibuix de dalt és una mica enganyós. Saps per què? Doncs perquè juga amb les escales, i sembla que tot sigui de la mateixa mida. Però has pensat en quants àtoms hi ha en un trosset de matèria d'un centímetre cúbic? Doncs mira, malgrat que depèn de la densitat del sòlid, per posar-te un exemple, en un centímetre cúbic de diamant –que és carboni pur- hi ha 175 642 000 000 000 000 000 000 000 àtoms.

Podem fer un càlcul senzill.

Suposem que tenim un centímetre cúbic de diamant, que ja hem dit que és carboni pur. El carboni té un pes atòmic de 12. Per tant, sabem que en 12 grams de carboni hi ha  $6,022 \times 10^{23}$  àtoms (el nombre d'Avogadro). I com que la densitat del diamant és de 3,5 grams per centímetre cúbic, tenim que  $1 \text{ cm}^3 \text{ de diamant} = 3,5/12 * 6,023 \times 10^{23}$  àtoms = 175 642 000 000 000 000 000 000 000 àtoms

## RECURSOS EN LÍNIA

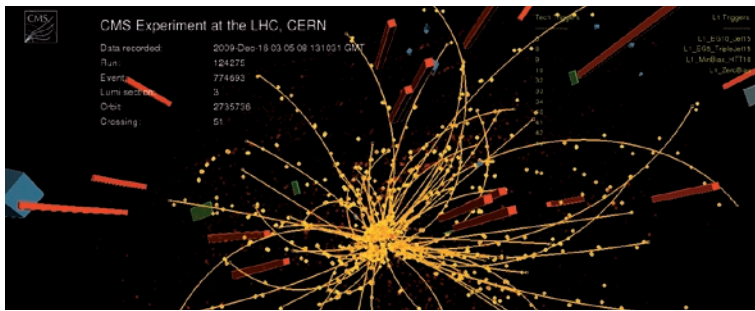
- Els neutrins són partícules molt difícils de detectar. En aquesta pàgina pots trobar-ne més informació.  
[http://www.recercaenaccio.cat/agaur\\_reac/AppJava/ca/projecte/071120-neutrins-.jsp](http://www.recercaenaccio.cat/agaur_reac/AppJava/ca/projecte/071120-neutrins-.jsp)
- L'experiment de Rutherford demostra que efectivament l'àtom és buit perquè la càrrega positiva està concentrada en el nucli.  
[http://www.lhc.cat/material/intro\\_lhcb\\_web.ppt](http://www.lhc.cat/material/intro_lhcb_web.ppt)

> El radi d'un d'aquests àtoms és d'uns 70 picòmetres (pm), o el que és el mateix  $7 \times 10^{-11}$  metres. I si tenim en compte que la mida d'un nucli atòmic és de l'ordre del  $10^{-15}$  metres, ens adonem que entre els electrons i el nucli hi ha el no res. O dit d'una altra manera, la matèria és gairebé buida!

Fent una analogia que segurament t'ajudarà a entendre-ho. Si penses que el radi de la Terra és d'uns 6.300 km, això vol dir que si t'imagines una esfera d'un quilòmetre al centre, com si fos un nucli atòmic, els electrons haurien de trobar-se a la superfície terrestre.

En el fons, com veus, parlar de partícules no és més que parlar de matèria. I intentar entendre quines són les partícules elementals i com aquestes partícules interactuen entre elles, no és més que respondre a una pregunta que els humans ens fem des que tenim consciència. Què és la matèria? Per què les coses que ens rodegen són com són i no d'una altra manera? Per què cau una cosa quan la deixem anar? Per què xoco contra la porta si l'intento creuar quan està tancada?

I és endinant-nos en aquestes preguntes i entenent cada cop més coses, que se'ns obren preguntes noves, més difícils de respondre. I per això treballarem amb grans acceleradors de partícules com els del CERN, per intentar respondre aquestes preguntes que encara ens queden per respondre. De tot plegat en pots aprendre més en la resta d'aquesta exposició.



## Què hi passa ara, al CERN?



Ho vols saber oi? Per què tantes persones treballen al CERN? Costa d'imaginar-se què pot fer que milers i milers de persones treballin de forma coordinada durant tant de temps. Què busquen? Què fan?

El que hi fan és prou simple: fan col·lidir protons a molt alta energia. El que busquen potser és una mica més complicat: respostes a preguntes obertes sobre el nostre univers. I, tal vegada, preguntes noves. Perquè com més descobrim del nostre univers i del que ens envolta, més ganes tenim de saber-ne més.

Gràcies a més de mig segle de física de partícules el nostre coneixement sobre com funciona l'Univers ha millorat molt. Hem descobert una vintena de partícules elementals i entenem força bé el funcionament de les 4 forces que han modelat el nostre univers. El Model Estàndard de Partícules i Forces en resumeix la nostra comprensió.

De les partícules ja n'hem parlat abans, potser ara és un bon moment de parlar una mica de les forces. Parlem de 4 forces, no tant perquè no n'hi hagin d'altres, sinó perquè totes les que coneixem les podem explicar a partir d'aquestes quatre.

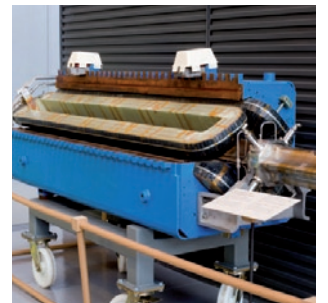
La primera, segurament tu també has pensat en aquesta és la gravitació. És la que fa que dos cossos amb massa s'atreugin. Per sort, és una força molt feble i cal cossos amb masses molt i molt grans –com els astres– per sentir-ne els seus efectes. Però de fet, nosaltres ens mantenim drets sobre la Terra, gràcies a aquesta força. I que la Terra doni voltes al Sol, i la Lluna a la Terra, també s'explica amb aquesta força. Aquesta és la força que fa fer famosa Newton i la seva poma, al segle XVII.

La segona, l'electromagnetisme, la coneixem també des de fa temps. Maxwell, al segle XIX, és qui la formula com a teoria. Aquesta força és la que fa que dues càrregues del mateix signe es repel·lin, i en canvi s'atreugin si són de signe contrari. És gràcies a aquesta força que els àtoms són neutres. I també és gràcies a aquesta força que podem caminar, o posar un líquid dins d'un recipient. Els àtoms són neutres perquè els electrons –de càrrega negativa– i els protons –de càrrega positiva– d'un àtom s'atreuen. Però els electrons d'àtoms diferents es repel·len, i per això que quan intento creuar una paret, la paret m'atura. De fet són els seus àtoms que repel·len els meus, i no em deixen passar.

La tercera, la força nuclear forta, s'anomena així senzillament perquè és més forta que la força electromagnètica, de fet unes 100 vegades més. Aquesta força fa que els protons –tots de càrrega positiva– estiguin junts formant nuclis atòmics, malgrat que la força electromagnètica a priori els faria separar-se. També és la causant que els quarks es mantinguin units formant protons i neutrons.

Finalment, coneixem una quarta força, anomenada força nuclear feble per contraposició amb l'anterior –malgrat que és més potent que la gravitació– que és la responsable de fenòmens com la radiació. És més difícil d'explicar, però tan important per les nostres vides que sense ella el Sol no brillaria i, per tant, la Terra seria una planeta fred i sense vida.

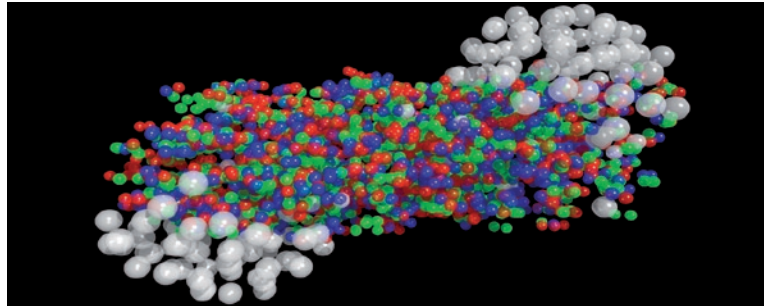
Però malgrat que hem avançat molt, i que som capaços d'explicar a grans trets com funciona el nostre univers tant a escales molt petites, com demos-





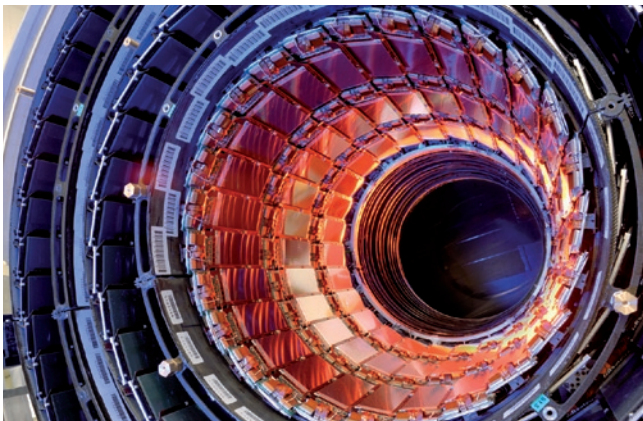
## Explorant els inicis de l'Univers

El CERN, l'LHC i la Física de Partícules



Guia de visita  
de les exposicions  
del MNACTEC

# EM



tren les noves aplicacions de la nanociència, com a escales molt grans, com demostren les nostres exploracions de l'espai, encara hi ha preguntes per les que no hem trobat la resposta.

El nostre repte d'entendre les lleis de la natura a l'escala més petita –les partícules i les forces elementals- i a partir d'aquí construir les lleis de la ciència a escales més grans - com ara la cosmologia, però també la química i la biologia- encara continua.

Al CERN, l'accelerador LHC accelera protons i els fa xocar a una energia fins ara mai aconseguida en un laboratori, tot reproduint les condicions de l'univers primigeni, només uns instants després del Big Bang.

Els xocs es produeixen en quatre punts del LHC, on se situen els detectors dissenyats per mesurar diferents característiques de les partícules que resulten de les col·lisions. Milers de científics d'arreu del món estudiaran les dades obtingudes i tractaran de donar resposta a preguntes com:

### D'on ve la massa de les partícules?

No sabem explicar l'origen de la massa, ni tampoc perquè hi ha partícules que són molt pesades mentre que d'altres no tenen massa. La resposta podria passar pel que es coneix com a mecanisme de Higgs. Segons això, l'espai està ple d'unes partícules anomenades bosons de Higgs, i és interactuant amb aquestes que les partícules adquireixen les seves masses. Segons aquesta teoria la massa de cada partícula ens parla de com d'intensa és la interacció amb el bosó de Higgs. Ara bé, hores d'ara mai hem aconseguit veure aquesta nova partícula que prediu la teoria. Si aquesta existeix, la podem detectar a l'LHC.

### Què és la matèria fosca?

Tot el que veiem al nostre voltant, des de les formigues a les galàxies, està format de matèria ordinària. Però el conjunt d'aquesta matèria només constitueix el 4% de l'Univers. La resta es creu que és matèria fosca, en un 23%, i energia fosca, en un 73%. Aquesta matèria fosca podria estar formada de partícules neutres supersimètriques, encara per observar. Una vegada més, aquestes podrien detectar-se per primera vegada a l'LHC. De l'energia fosca, de moment, en sabem ben poc.

### Què és l'antimatèria?

Malgrat que l'Univers en el que vivim està format només de matèria, pensem que en el Big Bang la matèria i l'antimatèria es van produir en quantitats iguals. L'antimatèria és com una versió bessona de la matèria, amb càrrega oposada. On ha anat a parar aquella antimatèria inicial?

### Són les 4 forces de la natura diferents manifestacions d'una única força?

Segons el nostre coneixement actual podem explicar unificadament 3 de les 4 forces que existeixen a la natura: la força electromagnètica, la força forta i la força feble. La quarta, la gravetat, roman com una força diferent. És possible construir una única teoria que expliqui alhora les 4 forces?

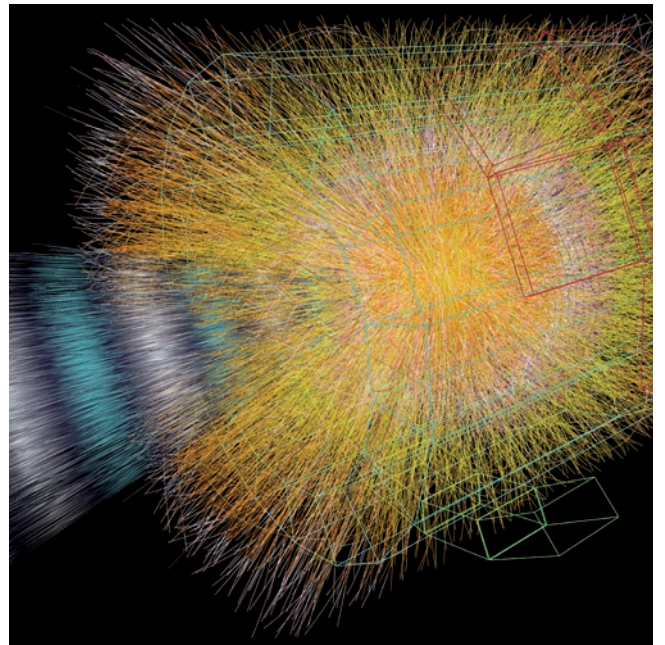
## RECURSOS EN LÍNIA

- Per a saber més del mecanisme de Higgs  
[http://www.pparc.ac.uk/ps/bbs/bbs\\_mass\\_hm.asp](http://www.pparc.ac.uk/ps/bbs/bbs_mass_hm.asp)  
<http://www.hep.ucl.ac.uk/~djm/higgsa.html>
- El CERN ha creat una pàgina (en anglès) on explica la visió del CERN a la pel·lícula Àngels i Dimonis, i també clarifica la ciència que hi ha darrera aquesta història.  
<http://public.web.cern.ch/Public/en/Spotlight/SpotlightA-andD-en.html>  
<http://angelsanddemons.cern.ch/>





## L'HHC (Gran Col·lisionador d'Hadrons) i els seus detectors



L'HHC, aquest és el nou accelerador del CERN. Una màquina molt i molt potent, que no té sentit sense els quatre detectors –ATLAS, CMS, LHCb i ALICE–, amb els que podrem observar què passa a les col·lisions.

A l'exposició en podràs veure una imatge espectacular, a mida natural, que et farà sentir ben bé a l'interior de l'accelerador. La veritat és que és un privilegi, perquè mentre l'HHC estarà en funcionament serà molt difícil gaudir d'aquetes vistes!

Però anem a pams.

### Què és l'HHC?

L'HHC, el Large Hadron Collider o Gran Col·lisionador d'Hadrons en català, és l'accelerador de partícules més gran i potent del món. Està instal·lat en una anella de 27 km de circumferència a una profunditat d'entre 50 i 150 metres en la frontera franco-suïssa –entre les muntanyes del Jura, a França, i el llac de Ginebra, a Suïssa.

### Com funciona l'HHC?

Accelera i fa xocar protons mitjançant camps elèctromagnètics molt potents generats per imants superconductors. Els protons arriben al 99,9999991% de la velocitat de la llum aconseguint una energia en el punt de col·lisió 7 vegades més gran que la de l'accelerador més potent fins aquest moment. A aquesta velocitat les partícules donen 11.245 voltes a l'anella cada segon.

Bàsicament, l'HHC és una estructura en forma d'anella de 27 km d'imants superconductors que tenen intercalats uns aparells –anomenats cavitats de radiofreqüència– que acceleren les partícules cada cop que passen pel seu interior.

Per aconseguir accelerar les partícules a aquestes velocitats tant grans es necessiten dues coses:

Que les partícules es moguin gairebé en el buit, perquè sinó col·lidirien amb l'aire a l'interior del tub pel que viatgen.

Que les partícules, tot viatjant a l'interior d'aquest tub, es vagin accelerant seguint la direcció de l'anella amb una gran precisió –sinó, acabarien xocant amb les parets del tub– i assolint energies més grans del que mai s'han aconseguit en un accelerador.

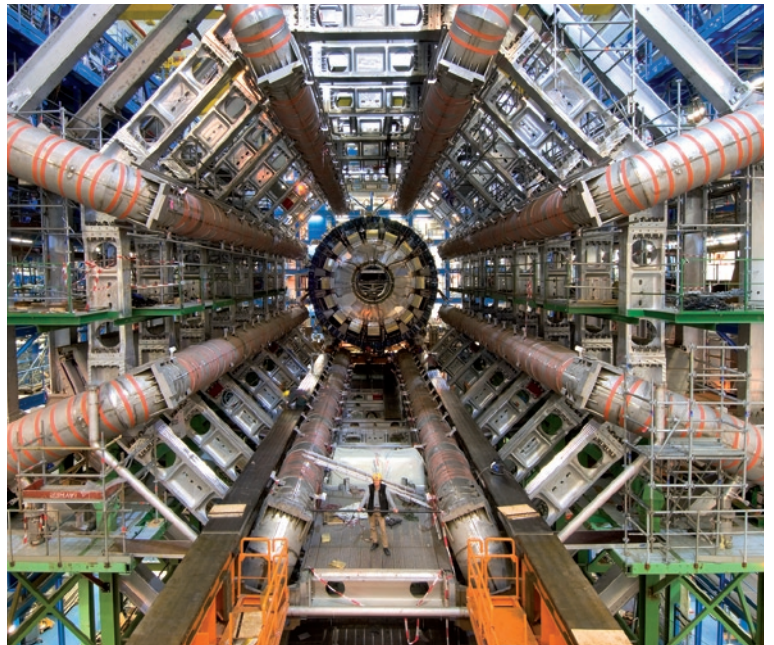
Així doncs, els dos feixos de partícules viatgen a velocitats properes de la llum, cada feix en una direcció i en tubs separats. En aquests tubs s'hi ha fet el buit, i les partícules segueixen la trajectòria amb precisió gràcies al fort camp magnètic creat pels electroimants superconductors. Aquests electroimants estan construïts amb bobines de cable elèctric superconductor que funcionen a temperatures molt baixes, d'uns  $-271^{\circ}\text{C}$ , i que permeten conduir l'electricitat sense resistència i així aconseguir camps magnètics molt potents –de 8 Tesla en el cas de l'HHC.

Són milers els imants –de mides i tipus diferents– que es requereixen per mantenir la trajectòria dels feixos al voltant de l'HHC. Perquè et facis una idea, hi ha 1232 dipòls magnètics que corben els feixos, i 392 quadrupòls magnètics que col·limen (enfoquen) els feixos. Finalment, just abans dels



## Explorant els inicis de l'Univers

El CERN, l'LHC i la Física de Partícules



Per entendre la complexitat del sistema, cal pensar que les partícules són tan petites que la precisió que necessitem seria l'equivalent a alinear dues agulles, situades a una distància de 10 km, per tal que després es trobin a mig camí.

### Per què l'LHC accelera i fa col·lidir protons?

Mitjançant la col·lisió de partícules a altes energies podem recrear les condicions de l'Univers primitiu. A l'LHC els protons col·lidiran a una energia per feix de 7 TeV, o el que és el mateix una energia de col·lisió de 14 TeV. Aquesta energia permet la creació de partícules exòtiques que ja no existeixen, però que són indispensables per entendre l'Univers actual.

La veritat és que l'LHC és una màquina increïble. Única. I de la que segurament en vols saber moltes més coses. Ja hem explicat la importància del buit i de la precisió en l'acceleració per tal que els protons puguin arribar a velocitats de gairebé la velocitat de la llum sense col·lidir amb altres partícules i sense sortir-se de l'accelerador. Però potser et fas encara dues preguntes més. Per què l'LHC és circular? I per què és tan gran?

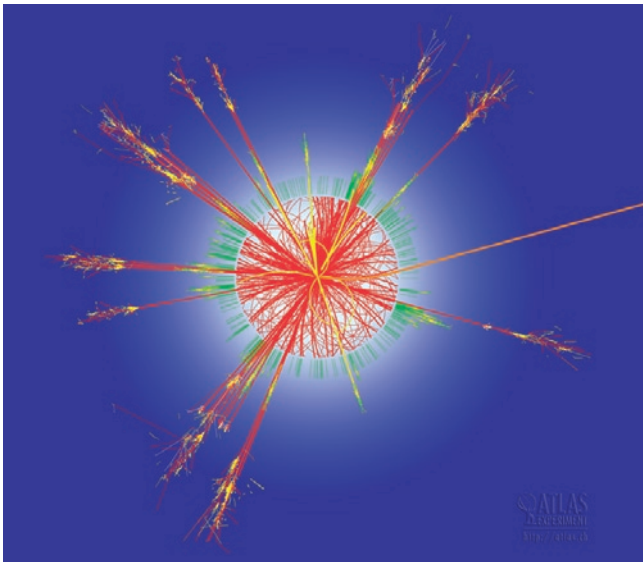
Doncs mira, per entendre perquè és circular només cal que rumiïs una mica en què passaria si intentessis accelerar un cotxe –suposant que el motor no s'hagués de cremar– de 0 a 1.000 km/h. Quants metres necessaries abans d'assolir aquesta velocitat? I si enlloc de 1.000 km/h, l'has d'accelerar a 1.000.000 km/h? Ho comences a entendre, no? Gràcies al fet que l'LHC és circular els protons continuen accelerant-se a cada volta que fan a l'accelerador, perquè sinó necessitariem construir una màquina de quilòmetres i quilòmetres de longitud.

Però en funció de com de gran sigui la circumferència, la velocitat que podrem assolir serà més alta. Se t'ocorre per què? Segurament no, perquè encara no n'hem parlat. El motiu és una propietat de les partícules carregades: quan viatgen en una trajectòria curvada emeten energia, i aquesta energia emesa és més gran com més ràpid va la partícula però també com més curvada és la trajectòria.

És a dir, que gràcies a que l'accelerador és circular podem aconseguir energies més grans. Però també pel fet que l'accelerador és circular, les partícules que accelerarem perden una part de la seva energia en cada volta. I es clar, es tracta de trobar un equilibri entre l'energia que guanyen i la que perden en cada volta.

Però has de saber que el fet que l'LHC tingui aquests 27 km de longitud, no te tant a veure amb el propi LHC com amb un altre accelerador: el LEP. El LEP va ser l'antic accelerador del CERN, que accelerava electrons i positrons a energies d'uns 100 GeV i que va estar en funcionament entre els anys 1989 i 2000. El túnel en el que està construït l'LHC és el que es va dissenyar i construir pel LEP. Segurament, si aquest no hagués existit, les dimensions de l'LHC serien diferents.

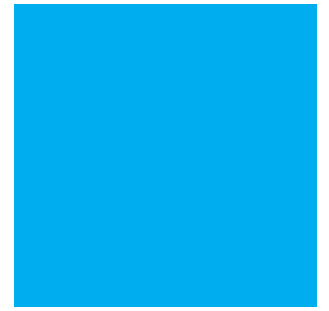
De fet, durant els anys 80 del segle passat es va dissenyar i es va començar a construir el que havia de ser l'accelerador més gran i potent del món –més que l'actual LHC. El SSC, Superconducting Super Collider o Super Col·lisionador



### RECURSOS EN LÍNIA

- Com s'acceleren els protons  
<http://cdsweb.cern.ch/record/1125472>
- Sobre l'Atlas  
<http://www.atlas.ch>  
<http://www.atlas.ch/multimedia/html-nc/videoclip-virtual.html>





Superconductor, s'havia de construir a Texas en una anella de 87 km de perímetre, i amb una energia per feix 3 vegades més gran que l'LHC. Però el cost era tant i tant gran, que el projecte es va cancel·lar el 1993.

I com bé dèiem, l'LHC tot sol no té sentit. Les col·lisions es produeixen en quatre punts de l'LHC, on es troben instal·lats els detectors ATLAS, CMS, LHCb i ALICE.

ATLAS i CMS són els detectors més grans i volen donar resposta a totes les preguntes que resten obertes, des de l'existència del bosó de Higgs al misteri de la matèria fosca. LHCb és un detector dissenyat especialment per a entendre per què l'univers està fet de matèria i no d'antimatèria. I, finalment, ALICE és un detector especialitzat en l'estudi d'un dels estats inicials de la matèria: el plasma de quarks i gluons, clau per entendre la formació de partícules més complexes –com ara els protons i neutrons- a partir de partícules elementals.

Però com ja hem fet pels detectors, és bo tenir quatre idees clares de què és un detector.

### Què és un detector?

De fet, un detector no és més que una màquina dissenyada per a enregistrar i visualitzar les partícules resultants de les col·lisions que es produeixen en l'LHC per tal que els físics puguin estudiar-les.

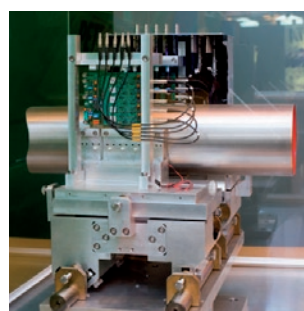
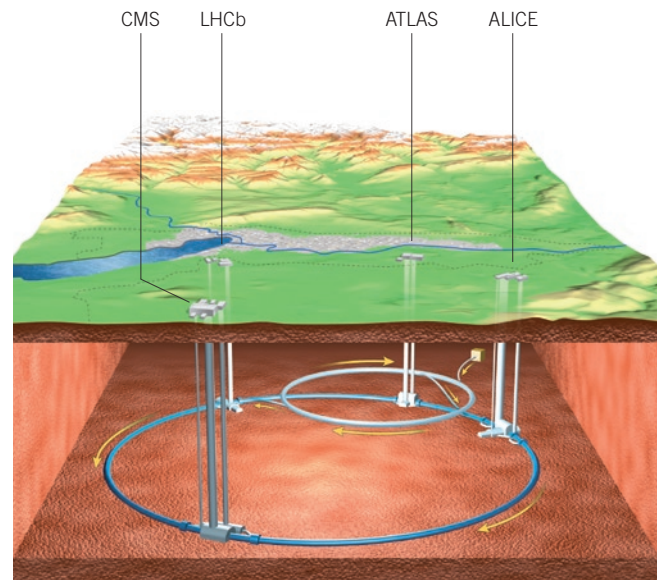
### Com funciona un detector?

Tot i com que com veuràs a l'exposició els detectors poden semblar molt diferents, en el fons tots s'assemblen. De fet, tots es construeixen a partir de tres tipus de sub-detectors, cadascun especialitzat en un tipus de partícula o propietat, amb els que es vol identificar i caracteritzar totes les partícules produïdes en les col·lisions. A banda d'aquests subdetectors, els detectors disposen també de camps magnètics que fan que la trajectòria de les partícules carregades es cobri en sentits diferents segons el signe de la seva càrrega. Així, el conjunt del detector ens permet saber de cada partícula la seva massa, velocitat (o energia) i càrrega elèctrica.

I) Els detectors de traces, que ens mostren la trajectòria seguida per les partícules carregades. Contenen substàncies que s'ionitzen al pas de les partícules carregades, deixant una traça que podem imaginar-nos com la que de vegades deixen els avions a l'atmosfera. A causa del camp magnètic però la trajectòria de les partícules és una corba que ens dona informació sobre la càrrega (sentit de la curvatura) i la seva massa i velocitat (radi de curvatura).

Antigament, aquestes traces es fotografiaven i s'analitzaven visualment. Actualment els detectors de traces estan dissenyats per a detectar els senyals elèctrics de la ionització que s'enregistren digitalment.

II) Els Calorímetres, que aturen, absorbeixen i, per tant, mesuren l'energia d'algunes partícules. Aquest tipus de detectors consisteixen en la interposició de dos tipus de material, un actiu i un passiu. El passiu, o absorbent, és de gran densitat –com el plom- i té com a objectiu frenar les partícules que



## Explorant els inicis de l'Univers

El CERN, l'LHC i la Física de Partícules

Guía de visita de las exposiciones del MINACITEC

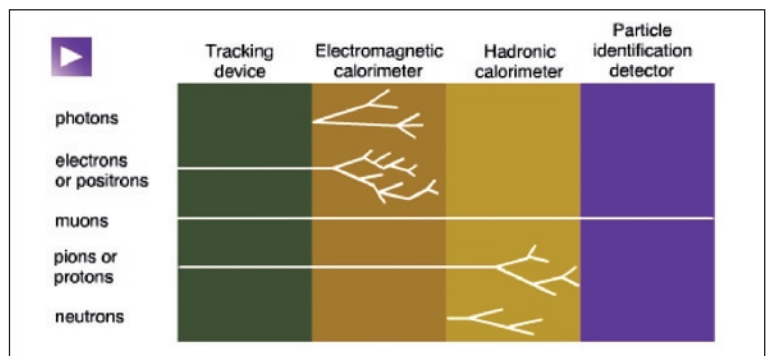
EM

el creuen tot provocant la seva interacció amb els àtoms d'aquest material, creant així una cascada de partícules secundàries. El material actiu és sensible al pas de les partícules i ens permet mesurar-ne l'energia.

Segons el tipus de partícules que detecten els calorímetres s'anomenen electromagnètics –que mesuren l'energia de partícules lleugeres com els electrons i el fotons- o hadrònics –que mesuren l'energia de partícules més pesades, formades per quarks, que s'anomenen hadrons com és el cas dels protons.

Els calorímetres estan dissenyats per aturar totes les partícules conegudes amb l'excepció dels muons i neutrins.

III) Els detectors d'identificació de partícules, dissenyats per a identificar partícules concretes. Mitjançant certs tipus de radiació emesa per les partícules carregades es pot arribar a mesurar amb precisió la massa que juntament amb el coneixement del signe de la seva càrrega –que hem obtingut amb els detectors de traces- ens permet identificar la partícula en concret.



Els quatre detectors de l'LHC estan formats de sub-detectors dels tres tipus. Els disseny i disposició concrets varia en cadascun en funció de la nova física que volen explorar.

Amb tota aquesta informació pots entendre dues propietats bàsiques dels detectors de física de partícules. La primera és que són molt grans, malgrat que volen detectar partícules molt petites. El motiu és que per saber què ha passat en el moment de la col·lisió el que fem és atrapar les partícules resultants. I com que són a molta energia, necessitem molta massa per aturar-les.

La segona és que totes tenen una estructura de "ceba", amb capes de sub-detectors, perquè hem d'atrapar les partícules resultants de forma ordenada, per tal de poder identificar les diferents partícules que es van generant i així entendre la col·lisió.

Ja ho veus, una vegada més, malgrat que estem treballant amb màquines molt complexes, de fet les podem entendre a partir de quatre idees ben simples.

## RECURSOS EN LÍNIA

- Díptic "LHC: El Gran Col·lisionador d'Hadrons".  
[http://www.lhc.cat/material/LHC\\_catala.pdf](http://www.lhc.cat/material/LHC_catala.pdf)
- LHC: Arracan el mayor experimento científico de la historia  
<http://lacomunidad.elpais.com/apuntes-cientificos-desde-el-mit/2008/9/1/lhc-arranca-mayor-experimento-cientifico-la-historia>



## El GRID: una infraestructura global per l'anàlisi de les dades de l'LHC

I et preguntaràs com passem de les col·lisions als detectors, a una anàlisi de física de partícules. És a dir, a fer servir les dades que es recullen en aquests detectors per alguna cosa.

Doncs mira, una vegada més, ens trobem davant d'un repte. Cal enregistrar i analitzar una quantitat de dades enorme. Fem-ne un petit càlcul:

1 col·lisió = 1 Megabyte d'informació

A l'LHC es produeixen 600 milions de col·lisions per segon = 600.000 Gigabytes per segon

Però en una tria a peu de detector, es fa una criba a 200 col·lisions per segon de cada detector = 15 milions de Gigabytes a l'any = 15 petabytes

O en unes unitat que pots entendre millor:

L'LHC genera l'equivalent uns 1.700.000 DVDs d'alta capacitat de dades a l'any, que és una pila de 2km.

Ens enfrontem a una quantitat gegantina de dades, que a més a més haurà de ser analitzades simultàniament per milers de científics a tot el món. Preservar aquestes dades i fer-les accessibles a una comunitat científica suposa un gran repte tecnològic. Per donar resposta a aquest repte, el CERN i els seus centres col·laboradors han creat el GRID de Computació de l'LHC: una infraestructura que uneix milers d'ordinadors distribuïts en centenars de centres, en desenes de països del món.

En funció de les tasques que desenvolupen els centres poden ser de tres tipus:

Tier0, és el centre principal: el CERN. Emmagatzema una còpia de les dades i envia una còpia de seguretat distribuïda en 11 centres: els Tier 1

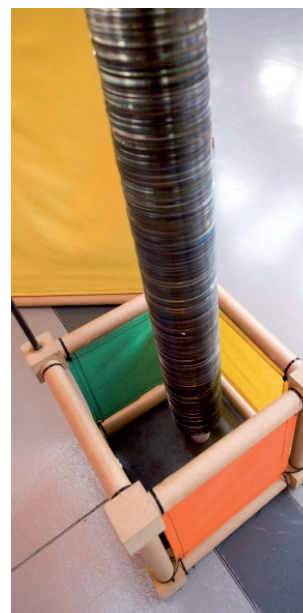
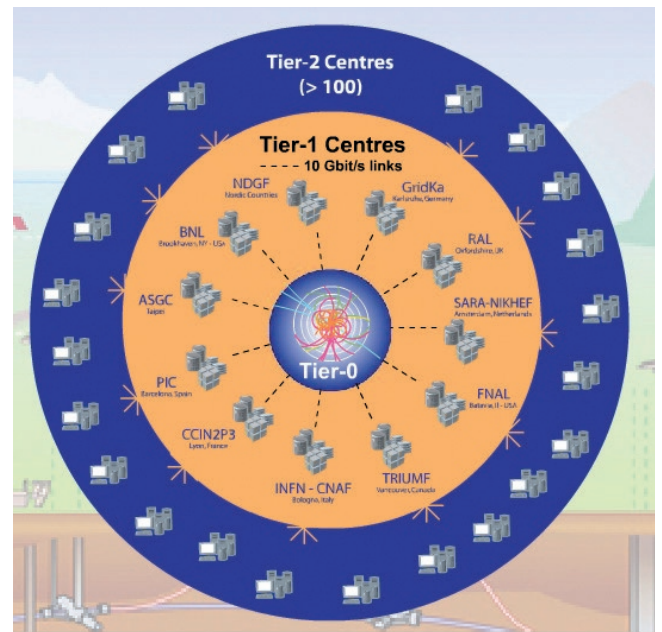
Tier1, són 11 grans centres de càlcul que han de preservar la segona còpia de les dades i alhora s'especialitzen en el processament massiu d'aquestes dades per a preparar-les per els estudis finals.

Tier 2, són uns 140 centres de càlcul a través dels quals els científics realitzen les seves anàlisis: llegeixen les dades dels Tier1 corresponents i generen dades simulades per ordinador –que es comparen amb les reals-, i executen els programes d'anàlisi que fan ús d'aquests dos conjunts de dades per a comprovar si les prediccions teòriques s'ajusten a la realitat.

Per a copsar la complexitat d'aquesta infraestructura cal tenir en compte que totes les activitats anteriors han de poder-se executar en paral·lel: és a dir, que mentre els detectors generen dades que han de distribuir-se per tot el món, hi ha científics en qualsevol punt del planeta que volen accedir a qualsevol conjunt d'aquestes dades.

### El Tier1 del Vallès

Molt a prop de Terrassa, a la Universitat Autònoma de Barcelona, en un centre que s'anomena Port d'Informació Científica (PIC), trobem un dels 11 Tier1 del GRID de Computació de l'LHC.





Els resultats de les col·lisions que s'enregistren en els quatre detectors de l'LHC han de ser emmagatzemats per a ser analitzats a posteriori per la comunitat científica internacional. Cal doncs guardar les dades dels milions de sensors que distribuïts en cada detector recullen les senyals de les traces i energies dipositades per les partícules durant el seu recorregut en els diferents subdetectors.

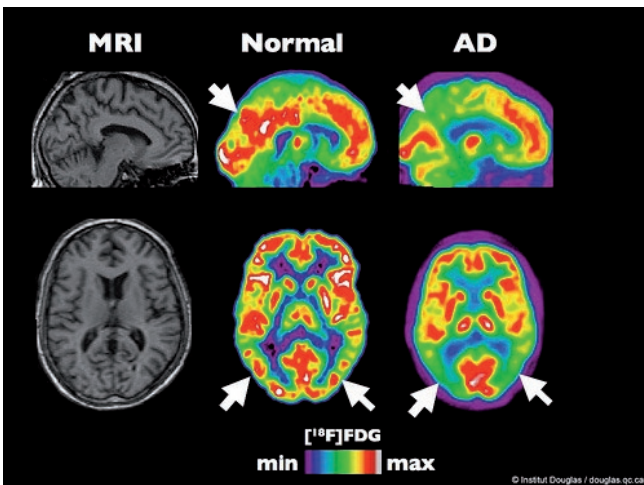
Al PIC hi treballen una vintena de físics i enginyers, i es dona servei a tres dels experiments de l'LHC (ATLAS, CMS i LHCb). L'any 2009, quan l'LHC es posa en marxa, el PIC disposa de 1 petabyte (1.000.000 de Gigabytes) d'emmagatzemament en disc, i 2 petabytes d'emmagatzemament en cinta magnètica.

Amb aquests recursos està previst emmagatzemar i processar aproximadament un 5% de les dades generades pels experiments. A més a més, pel processament de les dades es necessària una gran potència de càlcul que proporciona una granja d'uns 1.500 nuclis –equivalent a uns 750 ordinadors personals com el que pots tenir a casa.

Com que les dades es reben en temps real, el PIC disposa d'una xarxa d'alta velocitat només dedicada a l'LHC amb una capacitat de 10 Gigabits per segon –mil vegades més que una connexió ADSL d'alta velocitat, com les que actualment es promocionen al mercat. Amb una xarxa com la del PIC es pot descarregar una pel·lícula de DVD en menys de 4 segons.



## 6. Gràcies al CERN!



Si visites l'exposició seguint l'ordre dissenyat estàs ja a punt d'acabar la passejada. I després de tot el que has vist –i potser après- sobre física de partícules, no voldríem que marxessis sense copsar un element clau de la ciència bàsica. I és que malgrat que no es planteja en termes d'aplicació immediata, finalment acaba tenint repercussions que mai haguéssim pogut imaginar.

Se t'ocorre per què? Doncs perquè la ciència bàsica és un dels principals motors d'innovació. En el cas del CERN, la recerca en física de partícules sovint demana d'instruments i tecnologies que encara no existien. Per això s'ha convertit en impulsora de molts desenvolupaments que han acabat repercutint a les nostres vides.

Per què et facis una idea, basat en l'experiència adquirida en laboratoris com el CERN:

Més de 50.000 pacients han rebut hadroteràpia pel tractament de tumors profunds.

Cada dia es fan milers de tomografies per emissió de positrons (PET) pel diagnosi de diverses malalties.

Després de la invenció del World Wide Web al CERN l'any 1990, actualment





existeixen uns 200 milions de pàgines web. El WWW ha revolucionat la nostra manera de comunicar-nos i de treballar.

### La Medicina

Detectors d'altres prestacions, acceleradors i tecnologies de feixos de partícules són algunes de les tecnologies que han trobat una aplicació en la medicina. Aquests desenvolupaments poden usar-se per a la millora de les eines de diagnosi o per a proveir de tractaments de radiació a mida per cada pacient.

L'hadroteràpia, per exemple, no és més que una radioteràpia que usa protons i ions de carboni, que han resultat ser partícules molt més eficients per al tractament de tumors profunds. Els primers estudis en aquesta direcció es van fer al CERN en els anys 1960. Actualment més de 50.000 pacients ja s'han beneficiat d'aquest tractament al món, i aquesta xifra no para de créixer.

Isòtops. Molts isòtops van ser descoberts i descrits durant els primers anys de física nuclear. Actualment s'usen en el tractament o diagnosi de milions de pacients cada any. Malgrat que la majoria d'aquests isòtops es produeixen en reactors nuclears, també s'estan fent estudis per a produir-los amb acceleradors de partícules. Els avantatges són que la producció és més barata, que s'obtenen productes de més qualitat i que les infraestructures poden ser construïdes i gestionades amb més facilitat.

Detecció i imatge mèdica. Les col·lisions entre electrons i positrons a energies més baixes que les que s'han fet servir al CERN també han resultat d'una gran importància en la medicina. El 1977 el CERN va realitzar la primera imatge presa amb una càmera de tomografia per emissió de positrons (PET). Actualment és una de les eines habituals per a la diagnosi i el tractament en òrgans com el cervell o en altres teixits.

### Les TIC

Els requeriments extrems en la presa, gestió i anàlisi de les dades dels experiments del CERN han provocat grans desenvolupaments en les tecnologies electròniques i de xarxes.

El World Wide Web és potser l'exemple més flagrant de com una tecnologia nascuda al CERN pot arribar a canviar el nostre dia a dia. Aquesta interfície tecnològica va ser inventada al CERN l'any 1990 per permetre als físics intercanviar-se dades en diferents formats. En pocs anys existeixen més de 100 milions de webs al món, i els desenvolupaments posteriors han revolucionat la nostra manera de comunicar-nos, de fer negoci, de treballar i d'estudiar.

La infraestructura GRID actualment en desenvolupament per l'LHC, que uneix a desenes de milers d'ordinadors al planeta per a donar conjuntament serveis de càlcul i d'emmagatzemament de dades, podrà usar-se també en altres disciplines. El projecte EGEE parteix del que ja s'ha fet al CERN per a crear una infraestructura GRID Europea al servei de recerques multidisciplinars en camps com la bioinformàtica, la genòmica, l'astrofísica, l'epidemiologia, la farmacologia, les ciències biomèdiques i la recerca del medi ambient.

### 2009: el CERN celebra els 20 anys de la proposta del World Wide Web

Resulta que el 2009, quan es posarà en marxa l'LHC, se celebra el 20è aniversari de la proposta que Tim Berners Lee va fer al seu cap, Mike Sendall, mentre era una informàtic del CERN, per donar resposta al repte que suposaria la gestió de la informació de l'LHC i els seus experiments, en aquell moment encara un projecte molt llunyà.

Mike Sendall digué a Tim Berners Lee que el seu projecte era una mica vague, però prou excitant. Amb això li donava llum verda per continuar treballant en aquesta proposta. Només un any més tard neixia el World Wide Web (WWW).

Malgrat que els primers servidors web estaven només a Europa, en només uns mesos també als EEUU, al centre de recerca de física de partícules SLAC a Stanford, tenien el seu primer servidor web. I a partir d'aquí, tot va començar a créixer i a colonitzar les nostres vides. El 1993 ja hi havia més de 500 servidors web, malgrat que només suposaven un 1% del trànsit a internet.

Però a finals de 1994, hi havia uns 10.000 servidors, dels quals més de 2.000 eren comercials, i amb més de 10 milions d'usuaris. El trànsit generat a internet era l'equivalent a transmetre tota l'obra de Shakespeare cada segon.

Però el moment clau, que realment va permetre que el WWW revolucionés el món, va produir-se el 1995, quan a petició del CERN i amb la marxa de Tim Berners Lee al MIT (Institut de Tecnologia de Massachusetts) es posa en marxa el Consorci Internacional WWW (W3C) que assegurava que el WWW seria accessible per a tothom sense cost.

I, a partir d'aquí, la història ja la coneixes.

### RECURSOS EN LÍNIA

La veritat és que aquestes són només algunes de les aplicacions i innovacions que han sorgit del CERN. N'hi moltes altres. L'abast és tal que hi ha un programa especial per a promoure i donar a conèixer totes aquestes transferències de coneixement i de tecnologia. En pots trobar més informació, en anglès, a la pàgina del CERN

<http://technologytransfer.web.cern.ch/TechnologyTransfer/Welcome.html>

## Explorant els inicis de l'Univers

El CERN, l'LHC i la Física  
de Partícules

